

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

Çok Geç Olmadan

Bernard L. Cohen



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <https://rantey.org>

5. Basım

Çok Geç Olmadan

Bernard L. Cohen



İçindekiler

1. BÖLÜM

Toplumun Konuyu Anlayışı ve Sorunlar	1

2. BÖLÜM

Nükleer Enerji Ne Kadar Tehlikelidir?	12

Miliremle Tanışalım	14
Risk Hesaplamaları İçin Bilimsel Temeller	18
Basın ve Radyasyon	20
Radyasyonun Genetik Etkileri	30
Radyasyonun Sağlığa Diğer Etkileri	35
Toplumsal Çılgınlık	38
İlaveler	41

3. BÖLÜM

Korkunç Reaktör Erimesi Kazası	53

Three Mile Island Felakete Yakın mıydı?	53
Kor Erimesine Giden Yollar	57
Koruma Kabuğu Ne Kadar Güvenlidir?	63
Olasılıklar	68
Olası En Kötü Kaza	74
Toprağın Kirlenmesi	76
Halk Neden Yanlış Anlıyor?	78
Güvenlik Dışındaki Konular	79
Basınçlı Termal Şok	80
Zorlama Aşınması Sonucu Boruların Kırılması	82
Buhar Üretici Borusundaki Kaçaklar	84
İlaveler	86

4. BÖLÜM

Riski Anlama	92

Bir Riskler Kataloğu	94
Nükleer Enerjinin Riskleri - Gerçek Yüzüyle	102
Nükleer Gücün Risklerinin Kabul Edilebilirliği	104
Termik Santrallerin Yarattığı Hava Kirliliğinin Riskleri	107
Diğer Enerji Teknolojilerinin Riskleri	112
Riskleri Azaltmak İçin Harcama Yapmak	115
İlaveler	125

5. BÖLÜM

Yüksek Seviyeli Radyoaktif Atığın	127

Tehlikeleri - Büyük Masal	127

İlk Bakış Açısı	127

<i>Yüksek Seviyeli Radyoaktif Atık - Tehlikeleri ve Koruyucu Önlemler</i>	131
<i>Yüksek Seviyeli Radyoaktif Atık İçin Nicel Risk Değerlendirmesi</i>	140
<i>Kimyasal Kanserojenlerin Yol Açtığı Uzun Vadeli Atık Sorunları</i>	146
<i>Milyonlarca Yıllık Bir Süreç İçin Söz Konusu Etkileri Hesaba Katmalı mıyız Halk Neden Korkuyor?</i>	149
<i>İlaveler</i>	153
6. BÖLÜM	156
<i>Radyoaktif Atıklar Konusunda Dahası</i>	160
<i>Radon Sorunları</i>	160
<i>Rutin Radyoaktivite Yayılımları</i>	165
<i>Düşük Seviyeli Atık</i>	166
<i>Transuranik Atık</i>	171
<i>Sonuçların Özeti</i>	172
<i>Gerçek Atık Sorunu</i>	174
<i>West Valley-Büyük Atık Sorunu</i>	175
<i>Sızıntı Yapan Atık Depoları</i>	181
<i>Atığın Nakliyesi - Radyoaktivitenin Toplum İçine Çıkması</i>	183
<i>Sovyetler Birliği'nde Bir Radyoaktif Atık Kazası</i>	186
<i>Özet</i>	189
<i>İlaveler</i>	189
7. BÖLÜM	
<i>Plutonyum ve Bomba</i>	192
<i>Geleceğin Yakıtı</i>	192
<i>Nükleer Silahların Çoğaltılması</i>	199
<i>Yayılmayı Önleme Konusundaki Politika</i>	204
<i>Teröristler İçin Bir Araç mı?</i>	210
<i>Plutonyumun Zehirliliği</i>	219
<i>İlaveler</i>	232
8. BÖLÜM	
<i>Nükleer Gücün Maliyeti - Aşıl'ın Topuğu</i>	235
<i>Gilç Santrali İnşaat Masraflarının Anlaşılması</i>	237
<i>Yönetmelikleri Sıkılaştırma</i>	240
<i>Nükleer Güç Santrallerinin Gerçek Maliyetleri - Yönetmelik Kargaşası</i>	244
<i>Gerçek Fiyatlar</i>	247
<i>Diğer Ülkelerdeki Durum</i>	249
<i>Politik Savaş Kaybedildi</i>	250
<i>Kılışat Saat Başına Maliyet</i>	254
<i>Nükleer Maliyetlerine Karşılık Kömür Maliyetleri</i>	256
9. BÖLÜM	
<i>Güneş Rüyası</i>	261
<i>Maliyet Sorunları</i>	262
<i>İhtiyacımız Varken Bulunabiliyor mu?</i>	266

<i>Neden Güneş Kaynaklı Elektrik?</i>	268
<i>Çevresel Sorunlar, Basın ve Politika</i>	270
<i>Biraz Daha Politika</i>	273
10. BÖLÜM	
<i>Anketlerden Çıkan Sonuçlar</i>	276
<i>Rothman - Lichter Anketleri</i>	276
<i>Battelle ve Basın Enstitüsü Çalışmaları</i>	278
<i>Radyasyon Sağlığı Uzmanı Bilim Adamlarına</i>	
<i>Yapılan Bir Anket</i>	279
<i>Özet</i>	288
11. BÖLÜM	
<i>Dinleyicilerden Gelen Sorular</i>	289
<i>Radyoaktivite ve Radyasyon</i>	289
<i>Güven ve İnanç</i>	294
<i>Reaktör Kazaları ve Güvenlik</i>	298
<i>Radyoaktif Atık</i>	300
<i>Çeşitli Diğer Konular</i>	302
12. BÖLÜM	
<i>Bir Yardım Çağrısı</i>	305
<i>Dipnotlar</i>	314
<i>Kaynaklar</i>	320

Çok Geç Olmadan Üzerine...

Bernard L. Cohen'in kitabı yayınlandıktan hemen sonra bir dergide eleştirisini okudum ve üniversite kütüphanesine satın alınmasını önerdim. 1984 yazında kitabı okuduğumda çok etkilendim. Yazarın ileri bir teknolojiyi bu denli açık, rahat ve tarafsız olarak anlatmış olması, bu kitabı öğrencilerime hararetle salık vermeme neden oldu. Nükleer santrallerin nasıl tasarlandığını, çalıştığını ve çevresel etkilerinin neler olduğunu anlayabilmek için en az dört yıllık çok ciddi ve zor bir mühendislik eğitimi gerekir. Bu konuda eğitimsiz birine sabırla nükleer teknolojinin nimetlerini anlatmanın zorluklarını da takdirlerinize bırakıyorum. Dr. Cohen'in bu kitabı, nükleer mühendislerin halk ile iletişim kurmasında bir basamak teşkil etmektedir.

Kitabın yayınlanmasından birkaç yıl sonra nükleer teknolojinin gördüğü ve görebileceği en kötü kaza olan Çernobil kazası gerçekleşti. Bu kaza ile ilgili herhangi bir bilginin bu kitapta bulunması düşünülemez. Dr. Cohen daha sonra, 1990 yılında, "Nükleer Enerji Seçenekleri: 90'lar İçin Bir Alternatif" adlı bir kitap daha yayınlamış ve bu kitabın bir bölümünü Çernobil kazası ve etkilerine ayırmıştır.

Nükleer teknoloji konusunda bilgi almak ya da nükleer santral kurulmasının iyi veya kötü yönlerini öğrenmek, araştırmak isteyen kimselerin başvurabilecekleri Türkçe bir kaynağın yokluğu, yıllardır bizleri rahatsız etmekteydi. Dr. Cohen'in bu ilginç kitabının dilimize çevrilmesinin yararlı olacağı düşüncesiyle, gençlerin bitmeyen enerjilerinden, öğrenme ve deneme yeteneklerinden yararlanmayı düşünerek bir çalışma başlattık. Elinizdeki kitap, işte bu çalışmanın ürünüdür. Bu çalışmada gençleri teşvik etme

ve birarada çalışma mutluluğuna ermenin dışında hiçbir katkı olmamasına karşın, projede payımın olmasından övünç duyuyorum. Umarım, "çok geç olmadan" Türkiye nükleer teknolojinin nimetlerinden yararlanır ve ülkemizin güvendiği ve övünebileceği bir yerli nükleer teknolojinin tohumları en kısa zamanda atılır.

Osman Kemal Kadiroğlu
H.Ü. Nükleer Enerji Mühendisliği

Önsöz

Geçen birkaç yıl içinde nükleer enerji ile ilgili bir iki kitap yazıldı. Öyleyse ben neden bir tane daha yazıyorum?

Nükleer güç, büyük ölçüde politik bir sorun olarak ele alınmış olmasına karşın, aslında adil politik yargılara varılmadan önce anlaşılması gereken, geniş bilimsel ve teknik içeriği olan bir konudur. Kitapların çoğu bilimsel ve teknik alanda hiçbir eğitimi olmayan gazeteciler ya da profesyonel yazarlar tarafından yazılmıştır. Her ne kadar bir bilim adamının görevi, bilgi toplamak için araştırma yapmak; gazetecinin görevi de ondan aldığı bilgiyi anlaşılır kavramlar olarak halka sunmak olsa da, bu durumun yanlış bir tarafı yoktur. Bu sistem, örneğin, uzayın keşfi ve son birkaç on yıl içinde tıp alanında görülen harika gelişim için oldukça iyi işlemiştir. Bilimin oldukça zorlu bir disiplin olması, bilim adamlarının da genelde ayrıntılara fazlaca gömülmüş olmaları nedeniyle etkin bir sistemdir. Halka yönelik yazılar yazma konusunda pek yetenekli ya da hevesli oldukları da söylenemez. Çünkü bu amaç için gerekli becerileri geliştirmek ve uygulamak için çok az zamanları ve fırsatları vardır. Öyleyse neden bilgilerini, halka sunmaları için, yeterli beceriye sahip profesyonel yazarlara vermesinler?

Her nedense bu sistem, nükleer güç söz konusu olunca çöktü; hem de berbat bir şekilde. Gazeteciler verilen bilgiyi iletmediler. Bilim adamları, bilimin basında yayınlanması alanında baş gösteren yanlışlıklara, yetersizliğe ve yersiz vurgulara alıştılar. Ancak bu alanda bilgi iletilmesi konusundaki başarısızlık, daha da büyük boyutlardadır. Verilen bilgi öyle bir şekilde elenmiştir ki; iletilen bilginin özü düpedüz yanlıştır. Kitapta bunu kanıtlayacak örnekler sık sık verilecektir.

Bilimsel çevreden gelen bilginin gazeteciler aracılığıyla halka iletilmesi konusundaki bu başarısızlığın nedenlerini anlamak güçtür. Birkaç kez temel noktaları bile bilmeyen gazeteciler ve profesyonel yazarlar, benimle röportaj yaptılar. İvır zıvır noktalardan bahsedilirken bol bol not almalarına karşılık, önemli konular anlatılırken kıllarını bile kıpırdatmadıklarını da belirtmeliyim. Sonuç olarak, onların halkı korkutacak şeylerin peşinde oldukları izlenimini edindim. Tek istedikleri, büyük ve karmaşık nicel analizlerin sonuçlarını çarpıtarak, insanların ilgisini çekecek hikâyeler elde etmektir. Ne yazık ki analizler bilimin alanına girer; oysa hikâyelerin bilimsel değeri yoktur. Böyle hikâyeler izleyici çekmeye yarayabilir, ancak onları kullanarak gerçek sonuçlar elde edilemez.

Halkın, nükleer güç hakkında zekice düşünülmüş politik kararlar verebilmesi için kendisine gerekli bilimsel ve teknik bilgi, gazeteciler ve profesyonel yazarlar tarafından her ne sebeple olursa olsun iletilmemektedir. Üstelik iletilen bilgi de oldukça yanıltıcıdır ve temelde yanıltır.

Birkaç bilim adamı, nükleer güç konusuyla ilgili popüler kitaplar yazdı; ancak bunlar genellikle kendi bilimsel kariyerlerine zarar veren “süprüntü niteliğinde” kitaplardır. Zamanlarının çoğunu, bilim çevresiyle ters düşen bakış açıları üzerine konuşmak ve yazmakla harcadılar. Onların gerekçeleri üzerinde tahmin yürütmek konusunda tereddütlüyüm; çünkü benim bu konudaki görüşlerim tenkit edicidir. Fakat önemli olan nokta, bilimsel çevrenin sahip olduğu görüşün özünü temsil etmiyor olmalarıdır. Ne var ki, çarpıtılmış mesajlarını gazetelere iletmeyi başardılar ve basın da bu çarpıklıkları iyice abartarak halka ilettiler.

Durum böyle iken, bilim çevresinin konu hakkındaki görüşü de duyulmadı. Daha da kötüsü, iftiraya uğradı ve güvenilirliği sorgulandı. Biz nükleer enerji alanında çalışan bilim adamları olarak dışlandık ve kendimizi saldırı altında hissetmek durumunda bırakıldık. Halktan gelen saldırılara alışık değiliz ve bunlara karşılık verebilecek bir yapıya da sa-

hip değiliz; ancak ben bu kitabı, bu savaşa girmemiz gerektiği şeklindeki görüşümü ileterek noktalamdım.

Eğer demokrasimiz işleyecekse ve halk önemli bilimsel içeriği olan konular hakkında karar alacaksa, bilimsel çevreden bilgi almak zorundadır; çünkü nükleer güç hakkında bilgi almak için basına başvurduğunda, tamamen yanlış yönlendirilmektedir. Başka yaklaşımlar da göz önüne alınmalıdır. Sonuçta nükleer güç, halkın trilyonlarca dolarlık parasının söz konusu olduğu hayati ulusal bir sorundur ve ulusumuzun 21. yüzyıla refah içinde mi yoksa yoksulluk içinde mi gireceğini belirleyecektir.

İşte bu kitabı yazmaya karar vermemin nedeni budur - halka karşı bilimsel çevrenin temel görüşünü savunmak. 35 yıldır haftada 60 saat laboratuvarında çalışıyor olmamın da, bu görevi gerçekleştirmemde yardımcı oldu. Okuyucunun, iletişim konusundaki yetersizliklerimi hoş göreceğini umuyorum. Editörüm Linda Regan da sonsuz yardımları ile bu bağlamda yararlı oldu. Bana masterları bölmemeyi, ortaqları uzatmamayı ve uzayıp giden cümleler kurmamayı öğretti. Ayrıca içerikle ilgili birçok önemli öneri getirdi. Kitabın taslaklarını büyük bir sabırla okuması, gerçekten takdire değer bir davranıştır.

Bana ülkenin her yanından bilgi sağlayan, öneriler getiren ve çabalarımı destekleyen meslektaşlarıma da müteşekkirim. Hepsinin isimlerini burada saymam mümkün değil; fakat ortak katkıları sonsuzdu. Son olarak da sekreterim Mary Gromicko'ya, yazdıklarımı defalarca kez daktilo ettiği, yazım yanlışlarını düzelttiği ve birçok diğer işin başarılması için sabırla çabaladığından dolayı sonsuz teşekkür borçluyum. Umuyorum ki hepimizin harcadığı bu çabalar okuyucuya, yani sizlere nükleer güç konusunda hayati kararlar alma sürecine katılabilmeniz için ihtiyaç duyduğunuz bilgi ve anlayışı sağlayacaktır.

Bernard L. Cohen

Sunuş

Bana, bu kitaba sunuş yazmam için bir öneri yapılmamıştı. Yoğun programımı bilen Dr. Cohen, bunun benim için bir yük olacağını düşünmüş olabilir. Düşük seviyeli iyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkileri hakkında halk ve bilim çevrelerini bilgilendirmeye yöneldiğim sırada, referans malzemeleri konusunda sadık bir kaynak teşkil ettiği için kendisine, kısmen de olsa şükranlarımı sunmak amacıyla, bu iş için gönüllü oldum. Bununla birlikte, bu görevi istememin asıl nedeni, basının, bazı etkinci grupların da işbirliğiyle, halk arasında radyasyon konusunda neredeyse fobik derecede bir korku yarattığı bir zamanda, halkın eğitimi için böyle bir kitabın önemine dikkat çekmektir.

"Her doz bir yüksek dozdur." diyen bir Nobel ödülü sahibinin, George Wald'ın bu sözlerine karşı çıkıyorum [1]. Bu öğreti; meme kanserinin erken tedavi edilebilir aşamada teşhisi için en duyarlı yöntem olmasına ve günümüzde meme kanserinin, kadınlar arasında kanserden ölüm vakalarının başta gelen nedeni olmasına karşın kadınların, kanser tetkikinde mamagrafiyi reddetmesine neden oldu. Aynı zamanda bir New York, Westchester bölgesi hükümet yetkilisinin New York Times'a, "kanunların tüm radyoaktiviteyi eyalet yollarına çıkmaktan men edeceği" şeklinde bir demeç vermesine de yol açtı. Aslında bu, seçimle işbaşına getirilmiş yetkililerin, yaşayan tüm varlıkların ve hatta yol inşaat malzemelerinin de radyoaktif olduğunu bilemeyecek kadar cahil olduğunu gösteren, trajik bir tablodur. Kanun yürürlüğe girseydi, yollara hiç ihtiyaç olmayacaktı; çünkü kimse onları kullanamayacaktı! Hayatımıza mistisizm yerine bilim hükmedecek olsaydı; düşünülebilir zararlı etkilerin önemsiz sayılacağı kadar düşük bir radyoaktivite miktarı ya da radyas-

yon dozu olan "de minimus" kavramının çok iyi düzeyde anlaşılması kaçınılmaz olurdu.

Bu kitapta Dr. Cohen, okuyucuyu radyasyonla ilgili risklerin günlük hayattaki diğer risklerle karşılaştırılması konusuna yakınlaştırmaya çalışmıştır. Kendisi, konservatizm lehine, benzer etkilerin düşük dozlar ve doz oranlarında olabilirliğini tahmin etmek için, yüksek doz oranlarında incelenen zararlı etkilere göre extrapolasyon yapılabileceğini kabul eden "doğrusal ekstrapolasyon hipotezini" kullanır. Hipotezin, düşük dozlar ve doz oranlarına bağlı etkiler konusunda abartılı sonuçlara dayandırılmış olduğunun, bu kitapta yeterince vurgulanamadığına inanıyorum. Belirli bir kümülatif doza göre, kanser başlangıçlarının doz oranıyla ilgili olduğunu gösteren birçok belge vardır [2]. Dr. Cohen'in konservatizme yaklaşımını anlatan bir örneği, kitabından alıntı yaparak aktarmak istiyorum: Radon sorunuyla ilgili 6. Bölüm'de Dr. Cohen, uranyum madencileri için yapılmış istatistikleri kullanır, doğrusal ekstrapolasyon hipotezini uygular ve bugün çevre kaynaklı radon etkileniminin Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl 10,000 ölümcül akciğer kanserine yol açtığını varsayar. Erkeklerde (2.6/100,000) ve kadınlarda (1.6/100,000) görülen akciğer kanseri için, yaşa göre hesaplanmış kanserden ölüm oranlarını (1940 A.B.D. nüfus sayımı yaş dağılımını esas alarak) kullanırsak ve 1976 yılı için de 1930'da aynı şekilde yaşa göre hesaplanan sonuçları (53/100,000 ve 16/100,000) göz önüne alırsak erkeklerde 3,600, kadınlarda ise 2,500 akciğer kanserinden ölüm vakası olduğu görülecektir [3]. Şöyle ki; sigara kullanımı dikkate alınmamış olsaydı, 1979 yılı için varsayılan 100,000 vaka yerine sadece 6,000 akciğer kanserinden ölüm vakası olmuş olacaktı. Bunun gibi 1930'daki akciğer kanserinden ölüm oranları da, o sıralarda bile bir kısım vakaların sigara kullanımına ya da kirlilik yapan diğer kanserojen maddelere bağlı olmasından ve bazılarının da dış etkenlerden bağımsız, doğal vakalar olmasından dolayı, tamamen radona bağlı değildi. Yani 10,000 kanser görüleceği yolundaki tahmin, faz-

lasıyla konzervatiftir. Aslında Dr. Cohen tarafından anlatılan cüzi radyasyon etkileri de, rahatlıkla sıfır olarak kabul edilebilecek gerçek değerlerinden çok daha yüksektir.

Bu kitap önemli bir eserdir. Ne yazık ki buna en çok ihtiyacı olan nükleer karşıtı etkinsiler ya da fobik derecede radyasyon korkusu taşıyanlar tarafından okunacağından şüpheliyim. Bizim milletimiz Salem'de cadı tecrübelerini yaşadı. Benim gibi bilim disiplini içinde yetişmiş birinin, histerinin 300 yıl öncesi için makul olan, esrarengiz algılarına benzer bir inançtan türemiş gibi görünen nükleer bir fobiyi anlaması zordur. Amerikan halkı olarak, hayat standartlarımızdan ve dünyada en kötü koşullarda yaşayan insanlara yardım etme yetisinden dolayı duyduğumuz gururu taşımaya devam etmek istiyorsak; halk içinde bilimsel bir bilinç oluşturmamız şarttır. Yasalarımızı belirleyenler, seçmenlerden gelen baskılara maruz kalmaktadırlar. Baskıların bilgili bir seçmen kesiminden gelmesi de önemli bir noktadır. Bu kitap, doğru yönde atılmış bir adımdır.

Rosalyn S. Yalow

KAYNAKÇA

1. E. Sternglass, Secret Fallout: Radiation from Hiroshima to Three Mile Island (Gizli saçılım: Hiroshima'dan Three Mile Island'a radyasyon) (McGraw-Hill New York,1981).
2. National Council on Radiation Protection and Measurements(NCRP), "Influence of dose and its distribution in time on dose-response relationships for low level radiations" (Düşük seviyeli radyasyon için doza bağlı tepki ilişkilerinde dozun etkisi ve zamana göre dağılımı), NCRP Report No.64 (1980).
3. L. Garfinkel and E.Silverberg, Cancer Statistics, 1979 (Kanser istatistikleri, 1979) (American Cancer Society, New York, 1979)

1. BÖLÜM

Toplumun Konuyu Anlayışı ve Sorunlar

Amerikan halkı nükleer gücün tehlikelerini ne kadar iyi anlıyor? Yapılan bir anket, radyasyon sağlığı ile ilgilenen bilim adamlarının %82'sinin, halkın radyasyon korkusunun "ciddi olarak" ya da "fazlasıyla" abartıldığını düşündüğünü gösteriyor. Bir başka ankete göreyse, tüm bilim adamlarının %89'u ve enerjiyle ilgili alanlarda çalışan tüm bilim adamlarının %95'i, nükleer gücün geliştirilmesinden yana; oysa halk içinde sadece küçük bir kesim bu görüşü paylaşıyor.

Kısa zamanda önce Oregon'da yapılan bir çalışmada, kolej öğrencileri ve League of Women Voters (Kadın Seçmenler Derneği) üyelerinden, Amerikan halkı için ölüm riski taşıyan 30 teknoloji ve etkinliği sıralamaları istenmişti[1]. Her iki grup da nükleer gücü, her yıl 50,000 Amerikalı'yı öldüren motorlu taşıtların, 150,000 kişiyi öldüren sigara kullanımının ve 1,000'den fazla insanı öldüren onbir etmenin önüne, 1. sıraya yerleştirdiler. Kaza riski, radyoaktif atık ve hakkında çok şey duyduğumuz tüm diğer tehlikeler de dahil olmak üzere yılda kaç kişinin nükleer güç üretimi yüzünden öldüğü düşünülebilir? Hükümet destekli araştırma programlarının verilerine göre, yılda 10 kişi[2]. Eğer "Hükümet"e güvenmiyorsanız, ABD'de en başta gelen nükleer karşıt etkinci örgüte, Union of Concerned Scientists'e (UCS, Duyarlı Bilim Adamları Birliği) güvenmek zorundasınız. Bu örgüt, nükleer güç yüzünden yılda 120 kişinin öldüğünü kabul eder[3]. Her iki durumda da nükleer güç zeka, eğitim ve halk sorunları konusunda sahip oldukları bilinç düzeyi bakımından ortalamanın çok üzerinde olan kolej öğrencileri ve Kadın Seçmenler Derneği üyeleri tarafından bile, öldüğünden binlerce kat daha tehlikeli olarak algılanmaktadır. Açık-

MAKMA ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE GÖRÜMLER BÖLÜMÜ

çası Amerikan halkı, nükleer enerjinin tehlikeleri konusunda çok yanlış bilgilere sahiptir.

Opinion Research Corporation (ORC, Görüş Araştırma Şirketi)'nin yaptığı bir anket,[4] Amerikan halkının %80'inin, nükleer güçten elektrik elde etmenin, aynı işi kömür kullanarak yapmaktan çok daha tehlikeli olduğunu düşündüğünü ortaya çıkardı. Termik santraller ve nükleer enerji ile elektrik üretiminin görece tehlikeleri, temelde bilimsel bir sorundur; bu konuda yapılmış birçok bilimsel araştırma vardır. Halkın görüşüne karşıt olarak, hepsi de kömürün daha tehlikeli olduğunu gösterir [5]. Bu, National Academy of Sciences (ABD Bilimler Milli Akademisi), The American Medical Association (Amerikan Tıp Derneği), United Kingdom Health and Safety Executive (Birleşik Krallık Sağlık ve Güvenlik İdaresi), Norveç Petrol ve Enerji Bakanlığı, Maryland ve Michigan Eyalet Meclisleri ve diğer birçok kuruluş tarafından desteklenmiş çalışmaların sonucudur. Bu durum, nükleer karşıtı etkili UCS[3]; başkanı Henry Kendall[6] ve hatta Bay Nükleer-Karşıtı Ralph Nader [7] tarafından bile itiraf edilmiştir. Karşıt bir sonuca, yani nükleer enerji üretiminin kömürden daha zararlı olduğu sonucuna varan bir çalışma bilmiyorum. 1981 yılında bir makalede[8], bana böyle bir çalışmayı ortaya çıkarmak için yol gösterecek nitelikte bilgi verecek kimseye 50 dolar ödül önerdim; ancak geçen süre içinde ödüle talip olacak biri çıkmadı. Açıkcası kömür kullanımının nükleer enerjiden daha güvenli olduğuna inanan Amerikan halkının %80'i, *fena halde yanlış bilgilendirilmiştir*. Bu çoğunluğa, tesadüfe bakın, 1979 yılında bir naklen yayında "nükleer enerji çok tehlikelidir, onun yerine kömüre dönmeliyiz" diyen Walter Cronkite da dahil görünmektedir.

Yakınlarda yapılan bir anket[9], Amerikan halkının %56'sının kendi toplumları içinde bir nükleer güç santraline karşı çıktığını gösterir. Öte yandan bir başka anket ise[10] bu görüşün tüm bilim adamlarının yalnız %31'i, enerjiyle ilgili alanlarda uzmanlaşmış tüm bilim adamlarının %20'si,

radasyon ve nükleer bilim dallarında uzman bilim adamlarının yalnız %2'si tarafından paylaşıldığı sonucunu vermiştir. Nükleer gücün tehlikelerinin, bilim alanında uzman kişiler ve halk tarafından algılanışı arasında neden bu kadar büyük fark var? Temel neden, bunların değişik kökenlerden kaynaklanmasıdır. Halkın vardığı sonuç, yazılı basın kaynaklıdır; oysa bu konuyla ilgili bilim adamlarının görüşleri, *bilimsel yazına* dayanır.

Bilimsel yazının, her biri belirli bir bilim dalının karşılığı yüzlerce yayını vardır. Bu yayınlarda bilim adamları, meslektaşlarına, bütünüyle anlaşılabilir kontrol edilebilmesi için yeterli nicel ayrıntıyla birlikte araştırma sonuçlarını sunarlar. Yayınlanan bu dergilerin sadece küçük bir bölümü eleştiri ortamı yaratacak kadar ihtilaflı olsa da bunlar, kullanılan yöntemlere karşı çıkabilecek araştırmacıların eleştirilerini de içerir ve bu eleştirilere yazarın kendisi tarafından karşılık verilir. Bu sistem, bilgi alışverişini artırmak ve gerçeklerin tamamen ortaya çıkarılmasını sağlamak için kurulmuştur. Öte yandan çoğu kimse, bilimsel yazını okumak için yeterince ilginç bulmayacaktır. Bu yazılar, araştırmacılar ve aynı dalda çalışan diğer bilim adamları tarafından okunmak üzere genellikle becerikli olmayan yazarlarca yazılmıştır ve okuyucunun ilgisini ayakta tutmak için gereken tekniklere az yer verir; ancak matematik ve özelleşmiş terminolojinin yaygın kullanımını sağlarlar. Bilim adamları mesleki alanda bilgi edinmeye gereksinim duyduklarından bu şekilde bir yöntem izlenir.

Öte yandan yazılı basında yer alan bilimsel konular, bilim alanında çok az bilgisi olan kişiler tarafından hazırlanır. Orta öğrenim düzeyindeki bir kitleye hitap ederler ve asıl amaçları, dikkati ayakta tutmaktır. Bu sınırlamalar ve halkın ihtiyaçları doğrultusunda basın, konuyu, daima okumayı daha ilginç kılan politik ve insanların etkilendiği duygusal açılardan ele almaktadır. Nicel bilimsel analizlerden genellikle kaçınırlar; çünkü bunlar çoğu okuyucu, hatta yazarların kendileri için bile yeterince ilginç ve anlaşılır değildir.

Konuyla ilgili bilim adamları ile genel olarak halkın bilgi edinmek için kullandığı kaynaklar arasındaki büyük farklılıklar dikkate alındığında, nasıl bu kadar değişik görüşlere sahip olduklarını anlamak pek zor değildir. Şüphesiz bunu tartışmaya bile gerek yoktur; çünkü bilim adamlarının görüşleri daha güvenilirlerdir. Fakat bizim kararlarımızı olduğu kadar, demokrasinin karar mekanizmasını da kontrol eden kamuoyudur.

Kamuoyu gücünün önüne geçmek zordur. Birkaç yıl önce, bir vatandaşın hayatını kurtarabilmek için hükümetin kaç para harcamak niyetinde olduğu; daha doğrusu olmadığı konusunda bir çalışma yaptım[12]. Kurtarılacak her hayat için 100,000 dolardan daha az bir miktar söz konusuydu; kanseri önleme ya da tıbbi müdahale programları gibi, otoyol güvenlik donanımlarının kullanımıyla her yıl binlerce Amerikalı'nın hayatının kurtarılabilmesini sağlayacak birçok öneri getirdim. Madalyonun öbür yüzüne bakıldığında hükümet, halkı nükleer atıklardan koruma programları için kişi başına 100 milyon dolardan fazla harcamaktadır. Aslında, bu para tıp ya da otoyol güvenliği programlarına harcansaydı hem halk daha iyi korunmuş olacak hem de milyarlarca dolar tasarruf edilmiş olacaktı. Bu mantık dışı durum nasıl ortaya çıktı? Bir gerekçe bulmak için, bu kararları alan hükümet yetkililerini sorgulamalısınız. Cevap çok basit: Hükümetimiz, halkın ilgi alanlarına karşı duyarlı olmaya öncelik tanıyor. Eğer halk radyasyon konusuyla ilgileniyorsa, hükümetimiz onu radyasyondan korumak için korkunç meblağlar harcayacaktır; fakat halk otoyol güvenliğiyle özel olarak ilgilenmiyorsa, bu alana harcama yapmak israf olacaktır. Gerekli harcamalar yapılmadığı için her yıl binlerce hayatın boşu boşuna kaybedildiği gerçeği ise ikincil bir öneme sahiptir.

Bunların dayanılmaz şeyler olduğuna inanan varsa, halkın ilgi alanına karşı duyarlı olmayı reddeden bir hükümet yetkilisinin sonunun ne olacağını düşünmesi yeterlidir. Görevinde ne kadar kalacaktır? Halkın ilgi alanına karşı duyarlı olmak, demokrasinin mutlak bir parçasıdır ve başka

türlü olmasını da istemeyiz. Sorun, hükümetin işleyişinde değil; kamuoyunun yanlış yönlendirilmiş olmasındadır.

Halkın fazlaca abartılmış nükleer güç korkusu yüzünden, boş yere sayısız hayatın yitirildiği birçok başka alan da vardır. Bu korku, kuruluşları, nükleer güç yerine kömür kullanan santraller kurmaya yöneltmektedir. Böyle bir olayın her tekrarında -tipik olarak yılda 10 kez- yüzlerce vatandaş boşu boşuna erken bir ölüme mahkum edilmektedir. Bu sonucun, nükleer karşıtı etkinsiler tarafından önerilen veriler esas alındığında da geçerli olduğu, 4. Bölüm'de gösterilecektir.

Ancak belki daha da önemlisi, bunun bütçeye getirdiği yüküdür. 4. Bölüm'de servetin sağlık standardını yükselttiği; buna karşın bu korkunun servetimizin boşuna kullanılması-na ve her yıl binlerce insanın ölümüne neden olduğu da gösterilecektir. Bu yüksek, gereksiz ölüm rakamlarıyla hikâyemiz, korkunç bir trajedi gibi görünmeye başladı; ancak dahası da var.

Sağlık sorunlarının ötesinde, karşılaştığımız çevresel sorunlardan en önemli ikisi, hava kirliliği ve asit yağmurudur. Hava kirliliği, her yıl, pislik, çirkinlik yayarak ve kadın çorabından granit heykellere kadar geniş bir servet alanını tahrip ederek milyarlarca dolarlık zarara sebebiyet vermektedir. Asit yağmuru, gölleri cansızlaştırmakta, ormancılık ve balıkçılık endüstrisine zarar vermekte, ABD-Kanada arasında gerginliklere neden olmaktadır. Hava kirliliği ve asit yağmuru sorunları, nükleer gücün geniş ölçekli kullanımıyla yok edilmelidir. Bu arada yanlış anlama trajedisi de büyümektedir.

Geleceğe doğru ilerlerken trajediler çoğalmaktadır. Kömür, petrol ve gazın yanması, yeryüzünü sarsan ve sonuçta Orta Batı ağaçlık bölgelerimizi çöle dönüştürebilecek; sahil kentlerimizi -New York, Miami, New Orleans, Houston, Los Angeles ve daha bir çoğu- su içinde bırakabilecek iklimsel değişimlere neden olmaktadır. Bu konudaki yanlış anlamalar yok edilebilseydi, nükleer güç tüm bunları önleyebilirdi.

Gelecek kuşakların en büyük sorunu, şu an bizim madencilikle elde ettiğimiz maddelerin eksikliği olacaktır. Bugün dünyanın kıt mineral kaynaklarını doymak bilmeyen bir iştahla tüketiyoruz. Aslında çağımıza “madencilik çağı” deniyor; ancak bir yüzyıldan daha kısa bir zaman içinde madenlerde çok az şey kalmış olacak -bakır, kalay, kurşun, cıva, çinko gibi madenlerin hepsi tükenecek. Bunların yerini tutacak madenlerin umutsuz arayışında en verimli kaynak, plastik ve organik kimyasal maddeler olacaktır. Ancak bunlar, her gün milyonlarca tonluk miktarlarda yakıp yok ettiğimiz kömür, petrol ve gazdan elde edilir. Bunun yerine başka hiçbir önemli kullanım alanı olmayan uranyumu yakıp; kömür petrol ve gazı gelecek kuşaklara, şiddetle ihtiyaç duyacakları maddelere kaynak oluşturmak üzere bıraksak çok daha iyi olmaz mıydı? Bunu engelleyen tek şey, halkın nükleer gücün tehlikelerini yanlış algılıyor olmasıdır.

Nükleer gücün, gelecek kuşaklara insanlığın ihtiyaç duyacağı tüm enerjiyi, yakıt kıtlığına bağlı olarak ortaya çıkacak fiyat artışlarından etkilenmeksizin sağlayabileceği gibi yararlarından kolaylıkla söz edebiliriz. Umarım bu yanlış anlamalar, gelecekte ortaya çıkacak trajediden kaçınabilmek için düzeltilecektir.

Günümüze döndüğümüzde, bu yanlış anlamalara bağlı trajedilerin belki en büyüğü, ulusumuzun enerji konusunda bağımsız olma fırsatını kaçırmış olmasıdır. Nükleer güç programımız askıya alınmamış olsaydı, bu yüzyılın sonundan çok önce enerji bakımından bağımsız olabilirdik. Ekonomik faydaları çok fazla olabilirdi; ancak belki de en büyük faydası, dünyaya getireceği barış olacaktı. Eğer büyük bir nükleer savaşa neden olacak bir senaryo aranırsa, listenin en başında Ortadoğu petrolü veya dünyanın başka yerlerindeki petrol ve gaz yüzünden çıkacak çatışmalar olacaktır. Bu tehlikeden, nükleer güç programımızı belirleyerek kaçınabiliriz. Makul sayıda üretilecek elektrikli otomobiller ve binaları ısıtmak için kullanılacak ısı pompalarıyla petrol, dünya politikalarındaki önemini yitirecektir.

Tüm bu sorunlar, Amerikan tarihinin en büyük trajedisini oluşturur. Hepsi, sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır; fakat bizim asıl işimiz, bu trajediye neden olan yanlış algılara açıklık getirmektir. Gördüğüm kadarıyla halkın nükleer gücü algılamasındaki en önemli sorunlar şunlardır:

1. Çok abartılı bir radyasyon korkusu,
2. Bir reaktör kazasının fazlaca çarpıtılmış tablosu,
3. Riski anlama ve niteleme konularında başarısızlık,
4. Radyoaktif atıkların temizlenmesi konusunda son derece haksız korkular, .
5. Nükleer güç ve nükleer silahlar arasında kurulan yanlış bağlantılar,

6. Güneş enerjisiyle üretilecek elektriğin, nükleer enerji ya da kömürün yerini alabileceği ya da alması gerektiği konusundaki hayaller.

Sonraki bölümlerde derinlemesine el alınacak olan bu konulara girmeden önce, sunulacak bilginin kaynağından bahsetmek yararlı olur sanırım. Bunlar, bilim çevresinde genellikle kabul gören kaynaklardır. Basın, sık sık bilim çevrelerinde, üzerinde anlaşmazlık olan önemli ve büyük alanlar olduğu izlenimini verdiği için, bazı okuyucular için bu konularla ilgili gerçeklerin hemen hepsinin kabul ediliyor olması, görüş farklılıkları halkın ilgisini çekmeyecek kadar küçük olduğundan, şaşırtıcı olabilir.

Bilimsel yazının, araştırma sonuçlarını eleştiriye açmaya yarayan bir mekanizma olduğundan az önce bahsetmiştik. Bundan başka, her alandan uzman kişiler, meslektaşlarının önünde anlaşmazlıkları açığa çıkarmak için fırsatın bol olduğu toplantılarda bir araya gelirler. Bu tartışmalardan sonra katılımcılar ve üçüncü kişiler, ölçüm ve hesaplamalarına devam etmek için genellikle laboratuvarlarına dönerler. Çoğu durumlarda tartışmalar, aylarca sürecek sorunlara dönüşür ve katılanların %90'ının onayladığı uzlaşmalarla sonuçlanır. Bilimsel sorunların halk politikası üzerinde etkisi olduğundan, başka bir mekanizma devreye girer. Bilimler

Milli Akademisi (National Academy of Sciences) ve benzeri ulusal ve uluslararası organlar, bu alandan seçkin bilim adamlarının uzlaşma sağlayıp, belgeler sunacağı komiteler toplarlar. Bu komitelerden çok ender olarak azınlığı temsil eden bir rapor çıkar ve zaten o da çok küçük bir azınlığı ifade eder. Komite sonuçları, genellikle dünyanın her yerindeki bilim adamları ve hükümet organları tarafından kabul edilir. Bunun açık bir göstergesi, 10. Bölüm'de verilmiştir. Tartışma, insan ilişkilerinde istisnai olmaktan çok, zorunludur ve bu bağlamda bilimin, çok farklı olduğuna inanmak da birçokları için zordur. Bunun nedeni, bilimin çoğunlukla ölçülebilir ve hesaplanabilir nicel değerlerle ilgileniyor olmasıdır; ölçüm ve hesaplamalar, bu konuda şüphesi olanlar tarafından tekrarlanabilir ve kontrol edilebilir. Zaten hatalı sonuçlar sunacak olan birine, ağır mesleki cezalar uygulanır. Tartışmayı hızla çözümleyebilme yetisi, bilimin başarısındaki en önemli etmenlerden biridir ve bu başarı, 20. yüzyıl içinde ortalama ömrümüzü 20 yıl uzatmış, hayat standardımızı sınırsız ölçüde yükseltmiştir.

Bilim adamları, sundukları gerçekleri çarpıtmadan, yalnızca sunacakları gerçekleri seçerek halka yanlış izlenim verebilirler. Ben bunu yapmayacağıma dair söz veriyorum. Yalnızca doğru bilgi vermekle kalmayıp; onu doğru izlenim ve perspektif verecek şekilde sunabilmek için elimden geleni yapacağım. Ancak bu söze güvenip güvenmemeniz yazar hakkında bildiklerinize bağlı olduğundan, bazı kişisel bilgiler sunmak istiyorum. Ben 58 yaşında, nükleer sanayi ile hiçbir ilgisi olmayan kıdemli bir üniversite fizik profesörüyüm. Mesleki yeterliliğimi geliştirip muhafaza etmem şart olduğundan, bu konuda danışmanlık yaparak elde ettiğim geliri (üniversiteden aldığım maaşın küçük bir yüzdesi), bilgi edinmek ve bilimsel toplantılara yapacağım yolculukları finanse etmek için kullanma konusunda titiz davranırım (Son söylediğim şüphe uyandırıcı olduğu için belirtmek isterim ki, istediğimden daha fazla yolculuk yapıyorum). İş güvenliğim ve maaşım, hiçbir şekilde nükleer sanayinin ayak-

ta kalmasına bağılı değildir. Gelişiminde rol almadığım için, nükleer enerjiyle geçmişe dayanan duygusal bağlarım yok; araştırma kariyerimin çoğu, nükleer güç gelişim programının ben çalışmaya başlamadan önce üzerinde durduğu, temel nükleer yapı fiziğı üzerinedir. 1973 petrol ambargosu, beni ulusal enerji sorunlarımızla ilgilenmeye yönelttiğinde nükleer enerjiye olan mesleki ilgim başladı. Dört çocuğum ve üç torunum var; hayattaki en büyük amacım, onların ve tüm genç insanların barışçıl bir dünyada sağlıklı ve rahat yaşayabilmeleri için olanakları artırmaktır.

Kitaptaki konu seçimini ve konuları ele alışımı sorgulayacak olanlara, bu soruları tartışmak üzere kişisel görüşme ve telefonlaşma öneriyorum. Böylece makul bir kişiyi, ifade edilen bakış açılarının doğru, uygun izlenim ve perspektif verecek şekilde, tam ve yeterli olduğu konusunda ikna edebilirim.

Diğer bilim adamları, kısa zaman önce nükleer enerji konusunda benimkinden çok farklı tablolar çizen kitaplar yazdılar. Ernest Sternglass[11], John Gofman[12] ve Helen Caldicott[13], aşına olduğum isimlerdir. Öne sürdükleri basitçe, radyasyonun, bilim "Otoritesi"nin bizi inandırmaya çalıştığı tahminlerdekinden çok daha tehlikeli olduğudur. Bu, 2. Bölümde ayrıntılı olarak incelenecek bilimsel bir sorundur, ancak en sağlıklı yargıya, radyasyon sağlığıyla ilgilenen bilim adamlarından kurulu topluluk tarafından varılabilir. Topluluğa yapılan bir anket (bkz. 10. Bölüm), bu üç kişinin bilimsel çalışmalarının çok az inanılrlığı olduğunu göstermiştir. Onların radyasyonun tehlikeleri ile ilgili görüşleri, bu sorunlar üzerinde bilimsel yargılara varmak üzere toplanmış, seçkin bilim adamlarından kurulu birçok komite tarafından oy birliğiyle reddedilmiştir. Bu komiteler radyasyon sağlığı biliminin "Otorite"si sayılabilecek konumu temsil ederler; anket, bu komitelerin, konuya dahil topluluk içinde çok yüksek güvenilirlikleri olduğunu göstermiştir. Gizli bir oylamada, yüzde birden azı "Otorite" gruplarını 0-100 ölçeğinde 50'nin altında bir oranda güvenilir saymıştır. Oysa yüzde

83'ü, yukarıda bahsedilen üç yazarı, bu düşük dilime dahil etmiştir. Otorite gruplarının ortalama inanılrlığı %84 iken, yanıt verenlerin %3'ünden azı, söz konusu üç yazara bu derece yüksek bir inanılrlık oyu vermiştir.

Bu kitapta sunulan değerler, "Otorite"ye aittir. Kitabı Sternglass, Gofman ve Caldicott'un yapıtlarıyla karşılaştırırken bunu, benim bu yazarların sözlerine değil, ilgili bilimsel topluluğa ortak olarak yapılmış bir ankete dayanarak, onların "Otorite"ye karşı olan konumlarına karşı çıkışım olarak düşünmelisiniz.

Bu kitapla onların yapıtlarının karşılaştırılmasına ilişkin başka bir yaklaşım da, yazarların bilimsel araştırmalara ne ölçüde etkin olarak katıldıklarını göz önüne almayı gerektirir. Merkezi Philadelphia'da bulunan Bilimsel Enformasyon Enstitüsü (The Institute of Scientific Information), çıkan tüm bilimsel yayının kaydını tutar ve periyodik olarak Bilimsel Alıntı Index-Kaynaklar Kitabı'nda listeler yayınlar. Her yıl, ben de dahil çeşitli yazarlar için listeledikleri yayın sayısı şöyledir:²

<u>Yazar</u>	<u>1975-79</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>1982 (Ocak-Haziran)</u>
H. Caldicott	3	0	0	1
J.W. Gofman	2	1	2	0
E.J. Sternglass	5	1	1	0
B.L. Cohen	65	11	14	8

Asıl önemlisi, Gofman'ın yayınlarının çoğunun, eserlerinin eleştirisine verdiği cevaplar olmasıdır. Sternglass'a ait yazıların çoğu da, uzlaşmaya varılamayan toplantılardan çıkan sonuçlar üzerinedir (diğerleri nükleer güçle ilgisi olmayan konulardadır). Benim yazılarımin sadece çok küçük bir kısmı bu kategorilere dahildir.

Şüphesiz nükleer güç üzerine profesyonel yazarlar ve bilim adamı olmayanlar tarafından yazılmış birçok kitap vardır. Hepsı de, nükleer gücü korkunç gösterecek hikâyelerle doludur. Ancak bunlar, yalnızca okuyucunun ilgisini ayakta

tutmak için yararlıdır -hiçbir şey kanıtlamaya çalışmazlar. Nükleer gücün tehlikeleri konusunda bir yargıya varmak için, neden olacağı düşünülen ölümlerin sayısı verilmeli ve bunlar diğer teknolojilerin benzer hesaplamalarıyla karşılaştırılmalıdır. Bu, bilim adamı olmayanlar tarafından yazılmış kitaplarda asla yapılmayan bir şeydir. Onlar bazen “ne olabileceğini” hesaplarlar, ancak bunun gerçekleşme olasılığını asla hesaba katmazlar. Herhangi bir teknoloji için, onların nükleer güçle ilgili hikâyelerinden çok daha fazla hasar ve ölümle sonuçlanacak senaryolar kurabilirim.

Bu tip bir kitap, sık sık bilimsel ayrıntılarla ilgili tartışmalara girmek zorundadır. Onları okunabilir kılmak için her türlü çaba harcanmıştır. Daha teknik ayrıntılar, bölüm sonlarındaki ilaveler kısımlarında bulunabilir ve ayrıntılara daha az ilgi duyan okuyucular tarafından göz ardı edilebilir. İlgilenen okuyuculara, daha sonrası için başlangıç noktası oluşturacak nitelikte sayısız kaynak sunulmuştur.

Her bölüm kendi içinde kısımlara ayrılmıştır. Okuyucu belli bir kısmın konusuyla ilgilenmiyorsa ya da çok teknik buluyorsa; bütünlükten bir şey kaybetmeksizin bu kısımları atlayabilir.

Bu ön hazırlıktan sonra, en önemli yanlışların kaynağını, halkın fazla abartılı radyasyon korkusunu tartışmaya başlayabiliriz.

2. BÖLÜM

Nükleer Enerji Ne Kadar Tehlikelidir?

Halkın nükleer gücü anlayışındaki en büyük yanlış, radyasyonun tehlikeleri kavramında yatar. Radyasyon nedir ve ne kadar tehlikelidir?

Radyasyon gama ışınları, nötronlar, elektronlar ve benzerleri gibi uzayda saniyede 200,000 km gibi çok yüksek hızlarda hareket eden, birkaç tip atom-altı parçacık içerir. Bunlar, kolaylıkla insan vücuduna nüfuz edebilir ve vücudu oluşturan biyolojik hücrelere hasar verebilir. Bu hasar, ölümcül bir kanserin ortaya çıkmasına neden olabilir ya da üreme hücreleri içinde yer alırsa; gelecek kuşakları etkileyecek genetik bozukluklara yol açabilir. Bu açıdan yorumlandığında radyasyonun tehlikeleri, çok büyük; bir radyasyon parçacığının bir insana çarpması olayı da fazlasıyla ciddi görünüyor. Nükleer karşıtı hareketin, olasılıkla en etkin kitâbindan alınan aşağıdaki tanımlamada da durum böyle anlatılıyor[1]:

Bu parçacık ya da ışınlardan biri madde içinde hızla yol alırken, karşısına çıkan atom ya da moleküllerle çok şiddetli bir şekilde çarpışır... Bu ani bozulma, hücrenin hassas bir dengeye sahip yapısı için felaket olabilir. Hücre ölebilir ya da iyileşebilir. Eğer iyileşirse... haftalar, aylar, yıllar sonra kanser dediğimiz kontrol edilemeyen büyüme içinde üremeye başlar.

Bir radyasyon parçacığının çarptığı bu zavallı adam için gözyaşı dökmeden önce; herkese, hayatının her saniyesinde 15,000 radyasyon parçacığının çarptığı dikkate alınmalıdır [2]. Bu, yaşamış ve yaşayacak olan her insan için geçerlidir. Yıllık toplamı 500 milyarı, tüm ömür boyu sayıları ise 40 trilyonu bulan bu parçacıklar, doğal kaynaklardan gelir; ancak teknolojimiz yeni radyasyon kaynakları üretmiştir. Hep-

sinin ötesinde bunların en önemlisi, röntgen ışınlarıdır -tipik bir röntgen ışını bizi trilyonlarca parçacıklık bir bombardımana tutar [2].

Tüm bu radyasyon etkilenimine karşın, nasıl hepimiz de kanserden ölmüyoruz? Bu sorunun cevabı, parçacıkların kansere yol açabilmesi için büyük miktarlarda olması gerektiği değildir. Bildiğimiz kadarıyla bu parçacıkların her biri o potansiyele sahiptir ve hep söylendiği gibi “hiçbir radyasyon seviyesi tamamen güvenli değildir”. Bizi kurtaran, aslında, bu parçacıklardan birinin kansere yol açma olasılığının çok düşük olmasıdır [2]: 50 katrilyonda bir (50 milyon milyar ya da 50,000,000,000,000,000)! Sürekli olarak bir radyasyon parçacığı bize çarpıyor ve biz, bu olasılıklara sahip ölümcül bir oyuna dahil oluyoruz. Şüphesiz bu durum yalnızca radyasyona özgü değildir; her çeşit insan hastalığına yol açabilecek kimyasal, fiziksel, biyolojik süreçlere sahip sayısız benzer oyuna da dahiliz ve radyasyonla ilgili bir oyun, bizim için çoğundan daha hayırlıdır. Kanserlerin sadece yüzde birinin yarısı³, bize hayatımız boyunca çarpan radyasyon parçacıklarından kaynaklanır[2].

Şüphesiz bize çarpan her ekstra radyasyon parçacığı, kanser riskini arttırır; birçok insan, radyasyondan korunmak için çok uzun yol katetmesi gerektiğini düşünür. Sizin tavrınız da buysa yapabileceğiniz çok şey vardır. Tuğla ya da beton yerine ahşap bir evde oturarak bu oranı yüzde 10 azaltabilirsiniz [3], çünkü tuğla ya da betonda, uranyum ve potasyum gibi maddeler daha çok bulunur. Uyurken size çarpacak miktarları azaltmak için yatağınızın çevresine kurşun bir kalkan koyarak bu olasılığı yüzde 20 düşürebilirsiniz ya da dişçilerin röntgene girerken üstlerine sardığı örtüler gibi bir kurşun tabakası olan giysiler giyerek bunu yarıya indirebilirsiniz.

Birçok insan bunları yapmak yerine, hayatın risklerle dolu olduğunu hatırlamayı tercih eder. Yiyecekten aldığınız her lokma, kansere neden olabilecek bir kimyasal içerebilir, ama insanlar yine de yemeye, hatta çoğunlukla gereğinden

fazla yemeye devam ederler. Yola her çıkışımız, her adımımız ölümcül bir kazayla sonuçlanabilir, ama bu bizi yola çıkmaktan ya da yürümekten alıkoymaz. Bunun gibi, çoğumuzun tavrı bir parça ekstra radyasyon için endişe duymamaktır, zaten 50 katrilyonda 1 olasılık da oldukça küçüktür!

Bu kısımdan, radyasyonun tehlikelerinin niceliksel olarak ele alınması gerektiği sonucunu çıkarabiliriz. Sadece niteliksel yargılara bağlı kalındığında, nükleer gücü kötü bir şey olarak göstermek kolaydır -çünkü kansere neden olan radyasyon etkilenimine yol açar. Öte yandan niteliksel bir yargılamayla, yaptığımız herhangi başka bir şey benzer şekilde zararlı gösterilebilir: kömür ve petrolün yanması insanların ölmesine neden olan hava kirliliğine yol açar, öyleyse kömür ve petrolü yakmak kötüdür; doğal gaz insanları öldüren patlamalara yol açar, öyleyse gaz yakmak kötüdür, vb. Radyasyondan gelebilecek tehlikelerle ilgili bir tartışma nicel olmalıdır; aksi halde, bir radyasyon parçacığı tarafından çarpılma trajedisıyla ilgili yukarıdaki alıntı gibi tamamen aldatıcı olabilir. Ancak yazılı basında çıkan radyasyonla ilgili hikâyelerin kaç sayıları içeriyor? Bu hikâyelerde sürekli olarak sayısal gösterimler arıyorum; ancak pek bulamıyorum.

Miliremle Tanışalım

Radyasyon etkilenimini niceliksel olarak tartışabilmek için, radyasyonun ölçüldüğü birimi, miliremi⁴ -mrem olarak kısaltılır- tanıyalım. Bir milireme maruz kalmak, yedi milyon radyasyon parçacığı tarafından çarpılmak demektir [2], ancak parçacık tipi ve insanın ebatlarını içeren, sağlıkla ilgili risk çeşitlemeleri de işin içine girer. Örneğin bir radyasyon alanında yan yana duran bir yetişkinle küçük bir çocuk için kabaca aynı oranda kanser riski söz konusu olur; dolayısıyla miliremle ölçüldüğünde aynı dozu almış olurlar. Oysa yetişkine, daha geniş bir hedef oluşturduğu için daha çok radyasyon parçacığı çarpacaktır. Yaklaşık tüm tartışmalarımızda “düşük seviyeli radyasyon” demek olan 10,000 mremin altındaki dozları dikkate alacağız.

Yazılı basın, halkın radyasyona maruz kaldığı kaza hikâyelerinden sık sık bahseder; bir kamyonun dökülen radyoaktif malzeme, bir tanktan ya da atıkların gömüldüğü alandan sızan zehirli su, geçici olarak yanlış yere yerleştirilmiş radyoaktif kaynak; nükleer güç santrallerinde, radyoaktivitenin açığa çıkmasına neden olan hatalı işlemler ve daha birçok. Geçen 35 yılda bu hikâyelerin 100 tanesi, televizyon ve basında yayınlandı. Hikâyelerde aradığım şey, miliremlerle ifade edilmiş radyasyon etkilenimidir; ancak böyle bir şeye çok ender rastlayabiliyorum. Sonuç olarak sayılara, bir teknik dergide ya da sağlık bürolarında yaptığım görüşmelerde rastlarım. Doz, çok az durumda 5-10 mrem civarına ulaşmıştır; ancak çoğunlukla 1 mremden az olarak ölçülmüştür. Three Mile Island kazasında, çevrede ölçülen [5] ortalama doz 1.2 mremdi -bu da Boston gazetesinde yayınlanan tek sözcüklük manşete neden oldu: **“Radyasyon!”**. Morhead ve Kentucky yakınlarında düşük seviyeli atıkların gömülü olduğu alanlardan kaynaklandığı sanılan sızıntılarda, 0.1 mremden yüksek bir etkilenim ölçülemedi; ancak Philadelphia gazetesindeki “Tüm A.B.D.’ye Saçılıyor”, “Nükleer Mezar Kentucky’yi Lanetliyor” ve “Saklanacak Hiçbir Yer Yok” başlıklarını taşıyan 3 bölümlük bir diziye konu oldu. 1982’de Rochester, New York’da halka çok fazla abartılarak sunulan sızıntı olayında, hiç kimse 0.3 mremden yüksek bir miktara maruz kalmamıştı [8]. Ancak bu da gazete ve TV’de 24 saatten fazla bir süre için baş haber olmuştu.

Anlattıklarımızın amacı doğrultusunda, fazlasıyla abartılı olarak duyurulan tipik etkilenim dozuna 1 mrem diyelim. Bu kazalar gerçekten tüm bu propagandaya değer mi? 1 mrem radyasyon ne kadar tehlikelidir?

Belki de bunu anlamanın en iyi yolu, doğal radyasyon ile yani hayatımızın her saniyesi boyunca bize çarpan doğal kaynaklı 15,000 parçacık ile karşılaştırmaktır. Uzaydan dünyaya yağın kozmik ışınlardan gelen parçacıklar, sürekli olarak üzerimize düşer ve bize yılda 30 mrem radyasyon verirler. Yeryüzündeki uranyum, potasyum, ve toryum gibi

radioaktif maddelerden ise yılda 20 mrem; tuğla, beton ve sıva topraktan inşa edilen binalarımızın her yanından 10 mrem, vücudumuzda bulunan ve radyoaktif olan herşeyden (özellikle potasyum) yılda ortalama 85 mrem ya da 4 günde 1 mrem'lik bir doz alıyoruz. Ortalama bir Amerikalı'nın fazla abartılan bu radyasyon etkileniminden aldığı radyasyon miktarı, her dört günde bir doğal kaynaklardan aldığından daha fazla değildir.

Ekstra radyasyon, endişe duymamız gereken bir şeydir diyebilirsiniz. Doğal radyasyon konusunda yapılabilecek hiçbir şey olmadığını düşünürseniz, yanılırsınız. Yukarıda verilen rakamlar, ulusal ortalamalardır; ancak büyük çeşitlemeler mevcuttur [3]. Uranyum miktarının çok fazla olduğu ve yüksek irtifanın insanları koruyan bir kalkan oluşturan hava miktarını düşürdüğü Colorado ve diğer Rocky Mountain eyaletlerinde (Wyoming, New Mexico, Utah) doğal radyasyon, A.B.D. ortalamasının iki katıdır. Öte yandan irtifanın minimum düzeyde olduğu ve toprağın radyoaktif maddeler bakımından fakir olduğu Florida'da ise doğal radyasyon A.B.D. ortalamasının yüzde 15 altındadır. Ancak abartılarak yayınlanan kaza haberlerinde belirtilen radyasyon etkilenimi, Colorado'da 5 gün geçirerek alacağınız ekstra radyasyon miktarına eşit gibidir. Şüphesiz milyonlarca insan tüm hayatını Colorado'da geçirmekte ve bu, Colorado'daki kanser oranının [9], Amerikan kanser ortalamasının yüzde 35 daha ALTINDA olmasıyla sonuçlanmaktadır. Radyasyonla en fazla ilintili kanser türü olan lösemi, Colorado'da Amerikan ortalamasının sadece yüzde 86'sı oranında görülür; diğer yüksek radyasyon alanı olan Rocky Mountain'daki eyaletlerde ise bu oranın yüzde 61'i kadardır. Radyasyonun ölümcül kanserlerin sadece 0.5'inden sorumlu olduğu sonucunu veren hesaplamamızı hatırlayarak, "bu durum, radyasyonun kanserin en önemli etmenlerinden biri olmadığını gösterir," diyebiliriz.

Teşhise yönelik röntgen ışınları, 2. en büyük radyasyon kaynağımızdır. Bir göğüs ya da dış röntgeni bize 10 mrem ka-

dar radyasyon verir; ancak diğer röntgenlerin hemen hepsi daha fazla etkilenime yol açar [10]. Kalça kemiği çevresi, 90 mrem; karın, 150 mrem; omurga, 400 mrem; baryum eneması, 800 mrem, vs. Genelde bir dizi röntgen çekilir ve bu da toplam olarak birkaç bin mrem'e maruz kalmak demektir. Ortalama bir Amerikalı, bu kaynaklardan, bir yılda abartılarak yayınlanan kazalardan aldığından 80 kat daha fazla, yani 80 mrem radyasyon alır [11]. Yine de bu teşhise yönelik röntgenler kaçınılmaz değildir -tıbbi etkinliklerinden hiçbir şey feda etmeksizin, bunları önemli ölçüde azaltmak için çok şey yapılabilir. Öte yandan sadece doktorları ve hastaneleri sorumluluktan kurtarmak için çok fazla röntgen çekilmektedir.

1 mrem kadar radyasyon veren birkaç önemsiz kaynak vardır [12]: televizyon seyrederek, televizyonun görüntü tüpünün verdiği röntgen ışınlarından; fosfor, radyoaktif maddelerden elde edildiği için fosforlu saatlerden ve yüksek irtifa kozmik ışınlardan etkilenimi artırdığı için uçak yolculuklarından radyasyon alırız.

1 mrem radyasyon ne kadar tehlikelidir? Buna nicel kavramlarla yanıt verilebilir: alınan her 1 mrem radyasyon kanserden ölme riskini 8 milyonda 1 oranında artırır. Bu, ABD Bilimler Milli Akademisi, İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri Komitesi'nin (U.S. National Academy of Sciences Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation, BEIR) [13] ve Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'nin (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) [11] vardığı bağımsız sonuçtur. Uluslararası Radyolojik Korunma Kurulu (International Commission on Radiological Protection, ICRP) da yaklaşık olarak aynı sonucu verir: 10 milyonda bir [14].

Bu risk, ortalama ömrümüzün 1.2 dakika kısalması anlamına gelir [15]. Ortalama ömrümüzü aynı ölçüde kısaltan diğer etkinliklerse şöyledir:

- Sokakta 3 kez karşıdan karşıya geçmek (karşıdan karşıya geçerken ortalama ölüm olasılığına dayanarak)

- Bir sigaradan yaklaşık 3 nefes almak (her sigara ortalama ömrü 10 dakika kısaltır.)
- Kilolu birinin fazladan 10 kalori alması (örneğin tereyağı ekmekten ısırılan bir parça.)
- 4.5 km fazla otomobil kullanmak

Bu örnekler, 1 mremlik radyasyonun karşılaştırılabileceği uygun etkinlikleri göstermektedir. 4. Bölüm’de daha birçok örnek verilecektir.

Yıllardır zaman zaman, nükleer güç santralleri hakkında, küçük işleyiş hatalarını ve hatta çevreye az miktarlarda radyasyon sızmasına sebep olan rutin işleyişleri konu alan yayınlar yapılmaktadır. Sonuç olarak bir santralin yakınında yaşayan insanlar, yılda 1 mrem kadar ekstra radyasyon almaktadırlar. Yukarıdaki örnekten, “yılda 4.5 km fazla araba kullanmaktansa (günde 13.71 metre) ya da 4 ayda bir kez fazladan karşıdan karşıya geçmektense nükleer güç santrali yakınlarında yaşamak, en azından rutin radyasyon etkilenimi açısından daha güvenilirdir”, sonucu çıkar.

Risk Hesaplamaları İçin Bilimsel Temeller

Düşük seviyeli radyasyonun kanser riskinin, her milirem için 8 milyonda 1 olduğu sonucuna nasıl varırız? İnsanların maruz kaldığı ve çok yüksek oranlarda kanser vakasıyla sonuçlanan çeşitli durumlardan yüksek seviyeli radyasyon, (100,000 mrem’in üstünde) hakkında çok şey biliyoruz [13]. En iyi bilinen örnek, atom bombası sonrası hayatta kalan ve çok iyi izlenen 80,000 kişilik Japon gruptur. İçlerinden 8.500’ü 100,000 - 600,000 mremlik doza maruz kalmış ve 1974’e kadar aralarında beklenenden 200 tane fazla kanserden ölüm vakası görülmüştür. 1935-1954 arası İngiliz tıp çevrelerinde “ankylosing spondylitis” denen omurga hastalığına, 300,000 mrem civarında ağır dozlarda röntgen tedavisi uygulanması yaygındı ve 1970’e kadar, bu şekilde tedavi gören 14,000 hastada beklenenden 80 tane fazla kanser vakası görüldü. Almanya’da bu hastalık ve omurga kökenli tüberküloz, kemiğe 900,000 mrem radyasyon veren radyum en-

jeksiyonlarıyla tedavi ediliyordu; 1952'den önce tedavi gören 900 hasta üzerinde yapılan bir çalışmada, 1978'e kadar beklenenden 54 tane fazla kanser vakası görüldüğü ortaya çıktı. Almanya, Danimarka ve Portekiz'de 1928 ve 1955 arasında, bazı belirli tür röntgen teşhislerini elde etmek için hastalara, karaciğere birkaç milyon mrem radyasyon veren toryum (doğal olarak radyoaktif olan bir element) enjekte edildi; 3,000 hasta arasında 1977'ye kadar beklenenden 300 fazla karaciğer kanseri görüldü. 1915 ve 1935 arasında, fosforlu saatler üzerindeki figürler, New Jersey'de radyumlu boya kullanan bir tesiste elle yapılıyor ve fırçanın ucuna dille şekil veriliyordu. Bu yolla da vücuda radyum giriyordu; burada çalışan 775 Amerikalı kadın için kemiğe zarar veren ortalama doz 1.7 milyon miliremdi ve beklenenden 48 tane fazla kemik kanseri vakası görüldü. 1920-1968 arası havalandırması çok yetersiz madenlerde çalışan, radon gazına (doğal olarak radyoaktif bir madde) maruz kalmış ve bu yolla bronş yüzeyleri, ortalama olarak 6 milyon milirem radyasyon almış olan 4,100 Amerikalı madenci arasında 1974'e kadar, beklenenden 134 fazla kanser vakası görülmüştür. Radona maruz kalan diğer grup madenciler, jinekolojik tedavi için röntgene giren İngiliz kadınlar, bir Nova Scotia tüberküloz sanatoryumunda sürekli röntgen perdesi incelemesine tabi tutulan kadınlar, meme iltihabı için lokal X ışını tedavisi gören kadınlar, timus bezinin büyütülmesi ve diğer sorunlar için Amerikalı çocuklara uygulanan X ışını tedavisi, saçkıran için röntgeni çekilen İsrailli çocuklar, bir nükleer bomba denemesi yüzünden radyasyona maruz kalan Marshall Adası yerlileri ve daha birçoğu hakkında da veriler mevcuttur.

Tüm bu verilerden, yüksek seviyeli radyasyon (100,000 mrem'in üzerinde) hakkında yeterli bilgi elde edilmiştir. Sorun, bunun düşük seviyeli radyasyon için kullanılabilmesidir (10,000 mrem'in altı). En basit düşünce, riskin, bu doza oranlı olduğunu farzetmektir -1 mrem'in riski 100,000 mrem'in riskinin 1/100,000'i kadardır, 10 mrem'in riski 1 mrem'in

riskinden 10 kat fazladır, gibi. Buna “doğrusal hipotez” denir ve göreli, basit bir uygulamayla düşük seviyeli radyasyonun etkilerini hesaplamak için kullanılan yöntemdir. Kullanılan yöntemlerin doğruluğunun kanıtlanması, bunların basında çok fazla yayınlanan eleştirileri ve bu eleştirilere verilen cevaplar, İlaveler bölümünde ele alınmıştır. Bu yöntemlerle elde edilen risk hesabı sonuçları, hemen hemen evrensel düzeyde kabul görür ve bilimsel yazında, tüm ülkelerin hükümet belgelerinde, nükleer işletmelerin lisanslama çalışmalarında ve düşük seviyeli radyasyonun sağlıksal etkileyle ilgili tüm diğer durumlarda kullanılır.

Basın ve Radyasyon

Şimdi halkın radyasyondan *neden* bu kadar korktuğu sorusuna dönelim. Muhtemelen en önemli sebep, radyasyon hikâyelerinin basında çok fazla yer almasıdır. Haberler doğru olsa da, sürekli radyasyonun tehlikeli birşey olduğu ile ilgili hikâyeler duymak, insanlarda bunun endişe duyulacak birşey olduğu yolunda, bilinç altına yönelik bir izlenim bırakır. Bu yayınları belgelendirmeye çalışırken, New York Times Bilgi Bankası’ndan çeşitli kazalarla ilgili olarak çıkan yazıların sayısını buldum ve bunları her yıl ABD’de ölüme neden olan kazaların sayısı ile karşılaştırdım. Bu araştırmayı 1974-1978 arası yaptığımdan, normalden çok fazla hikâye üretilmesine neden olan Three Mile Island kazasını kapsamıyor. Ortalama olarak yılda 50,000 insanın ölümüne neden olan motorlu taşıt kazalarıyla ilgili yılda 120; 12,000 kişiyi öldüren sanayi kazalarıyla ilgili yılda 50; havasızlık sonucu 4,500 kişiyi öldüren kazalarla ilgili yılda 20 yazı yayınlanmıştır ve dikkatinizi çektiyse, gazetede basılan yazıları gösteren bu rakamlar, ölüm sayılarıyla kabaca orantılıdır. Ancak 15 yılda bu yüzden bir tek kişi ölmemiş olmasına karşın radyasyon kazalarıyla ilgili yılda 200 yazı basılmıştır.

Bu bölümün başında bahsedilen (Three Mile Island hariç), yüzlerce abartılı kaza yayınının hepsi için, toplam 10,000 mremden fazla radyasyon söz konusu değildir. Her 8 milyon

mrem radyasyondan dolayı bir kanserden ölüm vakası beklenmesi nedeniyle, bu kazaların tümü ele alındığında, tek bir ölüm görülmesi olasılığı bile yüzde 1'den azdır. (Three Mile Island kazasında halkın maruz kaldığı toplam doz miktarı 2 milyon miliremdi, yani bu kazadan dolayı bir ölüm görülmesi olasılığı dörtte birdi.) Ortalama olarak, abartılarak yayınlanmış kazalardan her biri, 10,000'de birden daha küçük oranda bir tehlike içerir; ancak nedense her gün yaklaşık 300 Amerikalı'yı öldürüp; bu rakamın 10 katı kadar ciddi yaralanmalara yol açan diğer kazaların yerine bunlar manşet yapılır. Bu durumda şüphesiz, radyasyonla ilgili olarak çıkan yayınlar, tehlikenin gerçek boyutuyla orantılı değildir.

Basınla ilgili diğer bir sorun da, kullanılan kışkırtıcı dildir. Sık sık "Ölümcül radyasyon" ve "öldürücü radyoaktivite" hakkında okuduğumuz yazılar, 15 yıldır tek bir ölüme yol açmamış olan ve Amerikan tarihinde 10'dan az ölüme neden olmuş bir tehlikeden bahsetmektedir [17]. Ancak her yıl 1,200 Amerikalıyı öldüren "öldürücü elektrik", ya da yılda 500 kişiyi oksijensizlikten öldüren "öldürücü doğal gaz" hakkında hiçbir şey okumayız.

Radyasyonla ilgili basın hikâyeleri konusunda daha ciddi bir sorunsal, riski asla incelememeleridir. Dozları miliremle vermemelerini -okur için çok teknik olacağından- anlayabiliyorum; ancak etkilenimi rahatlıkla doğal radyasyon ya da röntgenle karşılaştırabilirler. 1982'de gazetelerde iki gün boyunca baş haber olan Rochester güç santrali kazasında, hiç kimşenin kazadan dolayı her gün doğal kaynaklardan aldığından daha çok radyasyon almadığını anlatmak yararlı olmaz mıydı? Bu yeni bir öneri değildir; benzer karşılaştırmalar bilim adamlarınca bilgi kitapçıklarında, magazin makalelerinde ve röportajlarda yapılır; ancak basın bunu çok ender olarak kullanır. Rochester kazasında, bu bölgede yaşayan insanların sayısının açık bir ifadeyle radyasyona maruz kalanların sayısı kadar olduğu şeklinde ifadelerle, bir tehlikenin söz konusu olduğu izlenimini yaratabilmek için her şeyi yaptılar. Bir sözcünün ya da hükümet yetkilisinin halk için teh-

likenin söz konusu olmadığı gibi yararlı ifadelerine de nadi-ren yer verdiler. Açıkçası bu insanların, gerçeği söyledikleri takdirde kaybedecek bir şeyleri olduğu izlenimini vermeye çalıştılar. Bunun da ötesinde halkı, henüz ortada bir şey ol-masa da gelecekte görülecek bir zararın doğmuş olduğu kuş-kusuyla başbaşa bıraktılar.

Halkın radyasyonu yanlış anlamasına yol açan bir diğer neden ise, basının onu çok yeni ve esrarengiz bir şey olarak tasvir etmesidir. Radyasyonla ilgili yeni bir şey yoktur; çün-kü insanı, nükleer güç sanayiinden alabileceğinin yüzlerce katı radyasyon bombardımanına tutan doğal radyoaktivite, yeryüzünde her zaman mevcuttu. “Esrar” etiketi de aynı de-recede haksızdır. Radyasyonun etkileri bilim adamları tara-fından hava kirliliği, gıda katkı maddeleri, sudaki kimyasal kirleticilerin etkilerinden ya da çevreyle ilgili diğer konu-lardan çok daha iyi anlaşılmıştır. Bunun birkaç nedeni var-dır. Basit ve iyi anlaşılmış olan maddeyle etkileşim meka-nizmaları bakımından radyasyon, temelde çok daha basit bir olaydır; oysa hava kirliliği ve diğer etmenlerin çok zor anlaşılır ve karmaşık şekillerde etkileşim yapan; düzineler, hatta yüzlerce önemli unsuru olabilmektedir. Radyasyonun, yüksek derecede duyarlı ve kesin veri sağlayan, nisbeten ucuz ve güvenilir aletlerle ölçülmesi kolayken; diğer çevre-sel maddeleri ölçmeye yarayan aletler pahalı, istikrarsız, duyarsızdır ve sonuçları kesin değildir. Son olarak da rad-yasyonun sağlığa etkileri hakkındaki bilgilerimiz, nükleer güç programı altında, 2 milyar dolarlık araştırma faaliyet-lerinden elde edilmektedir; oysa bu miktarın küçük bir kıs-mı kadarı, diğer kirleticilerin sağlık üzerine etkilerinin in-celenmesi için ayrılmıştır. Toplam para miktarından daha da önemlisi, radyasyonun sağlığa olan etkilerini araştırma fonunun 40 yıllık bir istikrara sahip olması ve dolayısıyla iyi bilim adamlarının bu alana çekilmesine, mezun öğrenci-lerden oluşan peşpeşe birkaç kuşağın eğitilmesine ve labo-ratuvar olanaklarının mükemmel bir şekilde geliştirilmesi-ne olanak sağlamasıdır.

Radyasyonu esrarengiz gösterme yolunda verdiği çabanın yanı sıra basın, radyasyonun daha tehlikeli görünmesine yol açacak herhangi bir bilim adamına ya da bilimsel çalışmaya geniş yer vermektedir. İlaveler bölümünde anlatılan Mancuso incelemeleri, böyle çalışmaların en bilinenidir. Bu inceleme hemen tüm dünyada bilimsel topluluklar tarafından reddedilmiş olsa da, basında sık sık yer almaktadır. New York Times Bilgi Bankası'nda Mancuso Çalışması'yla ilgili 11; bununla ilgili olarak bilimsel yazında yer alan 20'den fazla eleştiriyile ilgili ise tek bir yazı vardır.

Bu tek yazı, Houston'da Mancuso ve onu eleştirenlerden birinin söz aldığı bir toplantı haberi idi. Mancuso'nun eleştirmene verdiği yanıt, eleştirmenin asıl itirazına karşılık, bir analizi yeni tamamladığı şeklindeydi. (asıl raporunda verdiği etkilerin çoğunu da kasten hesaba katmıyordu -basında çıkan haber bu noktayı belirtmemektedir.) Bundan sadece bir defa bahsedildiğinden dolayı, eleştirmen bu yeni analizi görmedi şüphesiz. Yani onu eleştiremedi. Basında yer alan haber, eleştirmene cevap verdiği ve etkiyi onaylayan yeni bir analiz yaptığı gerekçesiyle, Mancuso lehine çevrilmişti. Mancuso, raporu uygun hale getirdiğinde bile eleştirilecek çok yönü vardı. US General Accounting Office[21] (ABD Genel Saymanlık Bürosu) destekli, çoğunluğu Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology, MIT) İstatistik Bölümü tarafından yapılan bir çalışmada, buna özellikle dikkat çekilmişti. Önemli bilim adamları tarafından oluşturulan resmi kurullar, Mancuso Çalışması'nı kesin olarak reddettiler ya da dikkate almadılar. Radyasyon üzerine çalışan ve Mancuso incelemelerine katılmayan hiçbir bilim adamının, onun bu çalışmasına güveni olduğunu görmedim¹⁰. Radyasyon sağlığı ile ilgili bilim adamlarına yapılan bir anketin sonucuna göre, Mancuso'ya güvenilirlik oranı özellikle düşüktü (bkz 10. Bölüm). Oysa radyasyonla ilgili bilgileri haber basınından alan insanlara, Mancuso Çalışması'nın bilim çevrelerince kabul görmediğini söylediğinde, bunu şaşkınlıkla karşıyorlar.

Bu tek yönlü haberler, bilimsel toplantı salonlarının da ötesine gider. Ne zaman bir düzine nükleer karşıtıdan oluşan bir grup, bir nükleer güç santralının önünde protesto yapacaklarını haber verse; TV kameraları, onların nükleer santrale girme girişimlerini ve sonrasında tutuklanışlarını çekmek için oraya koşarlar. Buna karşın yüzlerce insanın, ABD senatörlerinin, önemli ulusal şahsiyetlerin konuşmacı olarak katıldıkları nükleer taraftarı birkaç toplantı biliyorum -biri Colorado'da 5,000 kişinin katılımıyla gerçekleşmişti- ancak bunlarla ilgili hiçbir televizyon ya da dergi yayını görmedim. Yalnızca bu tür yayının kamuoyu üzerinde etkisi olabileceğinden; taraflı yayın, nükleer karşıtı protestoları cesaretlendiren güçlü bir etkiye sahiptir.

Mancuso Çalışması'na döndüğümüzde, burada konunun ciddi olarak bilimsel bir sorun olduğunu hatırlatmak önemlidir -Bir milyon miliremin riski nedir? En zoru da, politik ve bilimsel olmayan yaklaşımların bu soruyla ne gibi bir ilgisi olabileceğini anlamaktır. Yine de basın bunu sürekli, politik bir sorun olarak ele almaktadır.

Yakın zamanlarda, bilimsel yazında, bu riskin, resmi kurullar tarafından hesaplanmış 8 milyonda 1 olasılık şeklindeki sonuçtan 10 kat daha fazla olduğu yolunda kanıt öne süren bir rapor yayınlanmıştı. Bross ve grubu [24] tarafından çıkarılan bu yayının hemen ardından, bilimsel bir makalede yayınlanan ve Milli Kanseri Enstitüsü'nün (National Cancer Institute) iki değerli bilim adamı tarafından yapılan ezici eleştiri geldi [25]. Bross raporuna, New York Times ve ülkenin hemen her yerinden diğer gazeteler tarafından geniş yer verildi; ancak eleştiriyle ilgili tek bir söz yer almadı -bu, görünüşe göre "baskıya uygun haberler" listesine dahil değildi. Yine Bross raporu Bilimler Milli Akademisi Kurulu BEIR tarafından değerlendirilmiş ve kesin olarak reddedilmişti. Diğer resmi kurullar tarafından da dikkate alınmamıştı. Ancak tabii ki bu itirazlar basında yer almadı.

Şüphesiz bilimsel yazında, düşük seviyeli radyasyonun resmi kurulların verdiği sonuçlara göre daha az tehlikeli¹¹

olduğu yolunda kanıtlar sunan raporlar da vardır. Hatta bazıları nükleer güçle yakın ilişkide olma sonucu alınan düşük seviyelerin insan sağlığına yararlı olduğunu öne sürerler. Ancak bunlar basında asla yayınlanmaz.

Mancuso ve ben aynı üniversitede olduğumuzdan, bir “sistem testi” yapmayı denedim. Yukarıda da belirtildiği gibi raporunun çok fazla ilgi görmesinden sonra aynı dergide [27], radyasyonun kabul edilenden daha az tehlikeli olduğuna dair bir raporum yayınlandı. Raporum hakkında son derece coşkun bir basın bülteni yazdım ve Mancuso’nun raporunu da ele almış olan Üniversite Halkla İlişkiler Bürosuna sundum; ancak basından bir telefon ya da çağrı almadım. Basın mensuplarının, Mancuso’nun ve benim raporlarımızın basın bültenleri arasında görebilecekleri tek fark, Mancuso’nun, radyasyonun daha tehlikeli olduğunu söylemesine karşın, benim “daha az tehlikelidir” demiş olmamdı.

Basının nükleer enerji sorularını ele alırken yaptığı en rahatsız edici şey, son derece ciddi bilimsel konularda etkin olarak yargıya varmasıdır. Bunun nasıl olduğunu anlamak için, rengi siyahtan grinin çeşitli tonlarına, beyaza kadar farklı görünümsergileyen bir cismin ve ancak karmaşık bilimsel incelemeler sonucu belirlenebilir, iki yönlü bir algı durumunun söz konusu olduğunu düşünün. Diyelim ki bin tane bilim adamı konu üzerinde birkaç yıl çalıştı, raporlar yayınladı ve bunu toplantılarda tartıştı. Sonuç olarak da 10’u cismin siyah, 20’si grinin koyu bir tonu, 70’i grinin açık bir tonu, geriye kalan 900’ü ise beyaz olduğunu belirtti. Tabii ki söz konusu bilimsel topluluğun vardığı sonuç, rengin beyaz ya da ona yakın olduğudur. Fakat politik önyargılardan dolayı bir TV yapımcısı, cismin siyah olduğuna inanır ve konuyla ilgili bir yapım gerçekleştirmeye karar verir. Cismin siyah olduğunu söyleyen on bilim adamından beşiyse; araştırmayı yöneten ve sonucunun beyaz olduğunu söyleyen beş hükümet yetkilisiyle röportaj yapar. Yapımcının, her birinden ikişer dakikalık birer bölüm seçip; bu bölümleri amaçlarına uygun olarak birleştireceğı röportajlar, genelde

iki saat ya da daha fazla sürer. Hükümet yetkililerinin, birçok insan için inandırıcılığı azdır. Yapım için yüz ifadele-
rinin duyarsız, aptal, bürokratik veya insanları olumsuz et-
kileyen bir düzine diğer şekilde görüldüğü bölümleri kolay-
lıkla seçer. Rengin siyah olduğunu belirten beş bilim adamı
için de, onları zeki, insani ve fazlasıyla bilimsel gösteren bö-
lümle seçer -imaj oluşturmaya ya da yıkmaya TV yapımcıları-
nın işinin bir parçasıdır. Programın sonunda da bir televiz-
yon sunucusu, bilimsel topluluğun bu konuda kendi içinde
ayrıldığını ve hangisinin doğru olduğuna halkın karar ver-
mesinin gerektiği şeklinde bir özet sunar. Bu ayrımın 900'e
karşı 10 olduğu hakkında hiçbir şey belirtilmez ve halk
programda verilen tüm kanıtlardan 50'ye 50 bir ayrım oldu-
ğu izlenimine kapılır. Hükümet yetkilileri birçok kereler bu-
nun 900'e karşı 10 olduğunu tekrarlamışlardır; ancak bu kı-
sımlar asla yayına dahil edilmez.

TV yapımcısı, konu hakkında her iki tarafa da eşit zaman
tanındığını söyler ve bu doğrudur. Kendisinin sadece bilgi
sunduğunu ve kararı halka bıraktığını iddia eder. Ancak
halktan nasıl davranması beklenebilir ki? Çoğu insan da hü-
kümet yetkililerini suçlar -"Bu hergeleler bizi aldatmaya ça-
lışıyor"- ve onlara karşı direnen bilim adamlarını takdir
eder: "Tabii ki cisim siyahtır." Böylece, son derece ciddi olan
bilimsel bir konuda, bilimsel topluluk, nesnenin beyaz oldu-
ğu sonucuna varırken, halk onun siyah olduğuna ikna ol-
muştur. Halkın kabul edeceği sonucun hangisi olacağına bi-
limsel topluluktan çok TV yapımcısı karar vermiştir.

Bu hikâye oldukça varsayımsal ve abartılı gözükabilir,
ancak radyasyonun tehlikeleri konusunda olan budur. "Be-
yaz renk" BEIR, UNSCEAR, ICRP ve NCRP gibi değerli bi-
lim adamlarından oluşan resmi komitelerin konumuna denk
gelirken; "siyah renk" de Mancuso, Sternglass ve Gofman gi-
bi birkaç nükleer karşıtı bilim adamının konumunu temsil
etmektedir. Sayılar her iki taraf için de 10. Bölüm'de göste-
rildiği gibi oldukça gerçekçidir. TV programı da, geçen bir-
kaç yılda yayınlanan bir düzine programdan ya da TV ha-

berleri veya TV magazin programlarından birine karşılık gelmektedir.

Böylece oldukça ciddi bilimsel bir soru olan, bir milirem radyasyonun yol açacağı kanser riski konusu halkın gözünde, Bilimler Milli Akademisi Komitesi'nin, Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi'nin ya da Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu'nun çözümleyeceği bir sorun değil de; hiçbir bilimsel eğitimi ya da deneyimi olmayan; hatta politik önyargılardan fazlaca etkilenmiş olan televizyon muhabirlerinin çözümleyeceği bir sorun haline gelmiştir. Bana, Bilimler Milli Akademisi'nin ya da benzeri hiçbir organın umrunda olmadığını söyleyen televizyon muhabirini hiç unutmayacağım -bu adam Mancuso'yla konuşmuştu ve onun söylediği şeylerin doğru olduğu konusunda ikna olmuştu.

Öyle sanıyorum ki basın mensupları, uzmanlardan kurulu resmi kurulları nükleer endüstrinin aletleri olarak algılıyorlar. Bu tavrı anlamak benim için oldukça zordur. Bilimler Milli Akademisi 1863'te ABD senatosu tarafından, hükümeti bilgilendirmek ve tavsiyelerde bulunmak üzere kurulmuş, kâr amacı gütmeyen bir kuruluştur. Bu organ, bilimin her dalından gelen, milletimizin en seçkin yaklaşık bin kadar araştırmacısından kuruludur. İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri Kurulu'nun (BEIR) çalışmalarını yönlendirir ve değerlendirir. BEIR kurulunun kendisi de, bilim çevrelerinde radyasyon biyolojisi konusundaki uzmanlıklarıyla tanınmış 21 seçkin bilim adamından oluşur. Bunlardan 13'ü, akademi tarafından ömür boyu iş garantisine alınmış üniversite öğretim üyesidir. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Kurulu (UNSCEAR), demir perde ve üçüncü dünya ülkeleri de dahil olmak üzere 20 ülkeden gelen bilim adamlarından kuruludur. Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonunda (ICRP) sürekli temsilcilikleri bulunan milletler için de aynı dağılım söz konusudur. Bugünkü başkan İsveç'tendir. Böylesine değerli bilim adamlarının aldatmacaya başvuracaklarını düşünmek oldukça gariptir. Aslında onların böyle bir şey yaptıklarını kanıtlamak da çok

kolay olurdu ve tüm bilimsel kariyerleri mahvolurdu. Hepsinin de kendilerine hükümetten ve endüstri finansmanlarından bağımsız olarak iyi gelir getiren, birçok akademik konum sağlayabilecek bir şöhretleri vardır ve ekonomik baskılardan da zarar görecektir gibi değerlerdir. Hepsinin de üstünde, kendilerine meslek olarak insan sağlığının korunmasına adanmış bir iş alanını seçmişlerdir. Aslında çoğu, oldukça kârlı bir tıp kariyeri yerine, araştırmacı olmayı seçmiş tıp doktorlarıdır.¹² Tüm bu bilim adamlarının, halkı aldatmaya yönelik bir entrikanın parçası olduklarını düşünmek, hayal gücünü zorlamaktan başka bir şey değildir.

Basın, düşük seviyeli radyasyonun yol açtığı kanser riskiyle ilgili bilimsel rakamların, son yıllarda yükselmekte olduğunu sık sık ifade etti. Durum kesinlikle böyle değildir. BEIR'in 1972'de ifade ettiği 6 milyon mrem'de bir olasılık [28], 1980'de [13] 8 milyon mrem'de bir olasılığa düşmüştür. UNSCEAR ve ICRP'nin kanser riski ile ilgili olarak vardığı sonuçlar da, son on yıl içinde değişmemiştir.

İnsan doğal olarak, basının radyasyonla ilgili neden bu kadar çok ve çarpıtılmış haber verdiğini merak ediyor. Buna verilebilecek tek olası yanıt, asıl işlerinin eğlendirme olması ve insanları eğitmenin kendilerini pek ilgilendirmemesidir. Televizyonda akşam haberlerinde Nielsen'in oranlamasıyla ilgili tek bir bölümün, yılda yedi milyon dolarlık reklam geliri getirdiğini duymuştum. Böyle bir ortamda, halkı eğlendirmek yerine eğitmeye karar veren bir televizyon yapımcısına ne olacaktır? Her nasılsa basın, halkı radyasyon konusunda korkutmanın seyirci çektiğini keşfetmiş ve bu oyunu sonuna kadar oynamaya karar vermiştir. Eğitimsel işlevleri için temel aldıkları küçük azınlığın bir göstergesi olarak, doktora yapmış birkaç kişinin, halkın eğitiminde temel kaynak teşkil etmesine karşın herhangi bir televizyon kanalında tam-zamanlı görev alıp almayacağını merak ediyorum. Bilim adamı yetiştirmekle hiçbir ilgisi olmayan, son derece liberal konservatuvarlarda bile ikiyüz öğrenci başına bir doçent düşer. Ancak ikiyüz milyon öğrencisi olan kanallarda bir tane bile yoktur.

Eğer basın, işlevinin sadece bilimsel çevreden bilgi alıp, bunu halka iletmek olduğunu düşünseydi, bu durum dayanılabilir olurdu. Oysa onlar bunu yapmayı reddederler; yapmak istedikleri, ne ileteceklerine karar vermektir ve bu da onların bilimsel konularda hükümler vermelerine neden olur. Açıkça durumun böyle olmasının nedeni, neredeyse tamamı diğer basın kaynaklarından elde edilmiş olan bu konudaki eğitimlerin yetersizliğidir. Yani, bilimle ilgili basın çevresi, birbirini eğiten ve önyargılarına uygun biçimde bilim adamlarından bilgi alan kapalı bir halka teşkil eder.

Bu konuda basın mensuplarına şikayetlerimi bildirdiğimde, bana sürekli olarak konu hakkında bilim çevresinin kendi içinde ayrıldığını söylerler. “Ayrılma” kelimesiyle de diğerleriyle görüş ayrılığı içinde olan bir tek bilim adamını kastediyor olmalılar. Ancak Bilimler Milli Akademisi’nin oybirliğiyle verdiği bir karara, tek bir bilim adamının sözlerinden daha fazla ağırlık vermek gerektiğinin farkında değil gibi görünüyorlar. Bu bir tek bilim adamının bakış açısı kendi önyargılarına uyduğunda da, sadece buna yer veriyorlar. Bu durum, Lysenko’nun genetik teorilerinin, -genetikle ilgili tüm bilim adamlarının bu teoriyi reddetmelerini göz ardı ederek- komünist parti felsefesine uyduğu için doğru kabul edilmesi gerektiğine karar veren bir Rus hükümetini andırıyor.

Resmi kurulların verdiği risk rakamlarının gerçeği yansıtmadığını iddia eden bilim adamlarının toplam sayısı 10’dan fazla değildir ve bu, söz konusu bilim çevresinin yüzde birden daha küçük bir kesimini temsil eder. Ancak resmi kararları temsil etmeyen bu küçük grup, basının radyasyonun etkileriyle ilgili bilimsel yayınında aslan payını aldı. Üstelik bu küçük azınlığın kendi içinde de anlaşmazlıkları vardır. Bir kısmı lösemenin, bir kısmı da lösemi dışındaki kanser çeşitlerinin radyasyona aşırı derecede duyarlı olduğunu iddia eder. Hiçbirinin bilimsel yayınında fazla yazısı çıkmaz ve çok nadir olarak birbirlerinin çalışmalarına değinirler.

Bazı basın mensupları, bilimsel topluluk kendi içinde ayrılmış olduğundan, bilimsel sonucun kesin olarak belirlenemediğinden şikayet eder. Ben de bunun için her zaman basit bir çözüm yolu öneririm: Belli başlı üniversitelerden rastgele birkaçını seçin, soruyu bölüm başkanına ya da bu alanda çalışan bir öğretim üyesine sorun. Böyle beş görüşmeden sonra, birçok sorunun sonucu, oldukça açık bir şekilde karşınıza çıkacaktır: 5'e 0. Basın mensupları bunu yapmaya hiç hevesli değildir. Benim edindiğim güçlü izlenim, onların bilim adamlarının vardığı sonuçlarla kesinlikle ilgilenmedikleri ve sadece önyargılı bakış açılarını desteklemek istedikleri şeklindedir.

10. Bölüm'de ayrıntılı olarak ele alınacak olan radyasyon sağlığıyla ilgilenen bilim adamlarına yapılan bir anket, bilimsel çevrenin kendi içinde *ayrılmadığını* göstermektedir. Varılan sonuç oldukça kesindir. Ayrılma hikâyesi basının yarattığı bir durumdur ve gerçek sonucu aktarmak işlerine gelmediği için bunu kullanırlar.

Radyasyonun Genetik Etkileri [29]

Az sayıdaki kanser vakasına sebebiyet vermenin dışında, düşük seviyeli radyasyonun tek belirgin sağlıksal etkisi, sonraki kuşaklarda görülen genetik sakatlıklara sebep olmasıdır. Genellikle *genetik bozukluklar* olarak adlandırılan bu sakatlıklar, renk körlüğünden, mongolizm gibi ciddi hastalıklara kadar çeşitlilik gösterir. Bunların doğasıyla ilgili daha ayrıntılı bilgi, İlaveler kısmında yer almaktadır. Haber basını bu noktayı hiç vurgulamadı ve halkın bu konuda duyduğu korkudan da pek söz edilmedi. Ancak yaptığım kişisel konuşmalardan, bunun fark edildiği ve bundan fazlasıyla korkulduğu izlenimini edindim. Bazı kişiler, radyasyonun iki başlı çocukların doğmasına; insan altı ya da insan üstü canavarların ortaya çıkmasına neden olacağına inanırlar. Durum kesinlikle bu değildir; çünkü insanlık daima doğal radyasyona maruz kalmış olmasına karşın, hiçbir zaman bu tür vakalar görülmemiştir. Bazı kuşakların röntgen ışınları-

na, hatta bazen yüksek dozlara maruz kaldıklarını da belirtmeye gerek yoktur (milyonlarca mrem).

Bazı kişiler de radyasyon kaynaklı genetik etkilerin insan soyunu yok edeceğine inanırlar. Ancak bu da yanlıştır. Doğal seçim kanunu iyi özelliklerin¹³ yayılıp, kötülerin yok olmasını sağlar. Yani, radyasyonun yol açacağı herhangi bir kötü özellik, sonuçta yok olacaktır. Nükleer endüstrinin genetik etkileri, ancak insanın doğal kaynaklardan aldığı radyasyondan sadece yüzde bir kadar daha fazla radyasyon etkilenimine yol açtığı hatırlandığında en iyi şekilde anlaşılabilir. Doğal radyasyonun da, normal olarak karşılaşılan genetik bozukların sadece %3'ünden sorumlu olduğu düşünülmektedir [13]. Böylece geniş ölçekli bir nükleer sanayi, görülen genetik bozuklukların sıklığını, %3'ün %1'inden daha az bir oranda etkileyecektir; buna üçbinde bir de diyebiliriz.

Nükleer gücün genetik etkilerini anlamamanın muhtemelen daha kolay bir yolu, onu genetik bozukluklara yol açan diğer etkinliklerle karşılaştırmaktır. Buna iyi bir örnek, birkaç tür genetik hastalıkla karşılaşma olasılığını artıran, geç yaşta çocuk sahibi olma durumudur. Geç annelik yaşının [30], Down sendromu, Turner sendromu ve birkaç diğer kromozomal düzensizliğe yakalanma riskini artırdığı bilinirken, geç babalık yaşının da akondroplazia ve binlerce diğer otozomal, baskın hastalık riskini hızla artırdığı bilinmektedir[31]. Yaygın bir nükleer sanayinin yol açacağı genetik etkiler, çocuk sahibi olmayı yaklaşık 2.6 gün ertelemekle aynı değeri taşır [29]. 1960'la 1973 arası çocuk sahibi olma ortalama yaşı, yaygın bir nükleer endüstrinin yol açacağından 20 kat daha fazla genetik hastalığa yol açacak kadar, yani 50 gün kadar artmıştı.

Radyasyonun genetik etkilerine nicel bir gözle bakacak olursak, genel nüfus içinde kişi başına 11 milyon mrem'lik radyasyon etkilenimi düşmesi durumunda, tüm gelecek kuşaklar içinde sadece bir tek genetik bozukluk görülme olasılığı vardır [13]. Bugün doğal radyasyon, ortalama bir Amerikalı'yı yılda 85 mrem'lik radyasyona maruz bırakır ya da

tüm nüfus yılda (85×230 milyon =) 20 milyar mrem'lik radyasyona maruz kalır. Dolayısıyla da yılda ($20 \text{ milyar} \div 11 \text{ milyon} =$) 2,000 genetik bozukluk vakasına yol açar ve bu normal olarak görülen vakaların %2'sini teşkil eder (Bizim mevcut nüfusumuz, çok fazla genç nüfusa sahip olduğundan, bu sonuç %3'e yükselir). Bu, Bilimler Milli Akademisi, BEIR Komitesi, UNSCEAR [10] ve ICRP'nin [14] vardığı ortak sonuçtur. Sonuçlara, fareler üzerinde yapılan çalışmalar ile varılmış olması ilginçtir, çünkü insanlar üzerinde genetik bozukluğa yol açan, radyasyonla ilgili gerçek bir kanıt yoktur. Böyle bir kanıt bulabilmek için en iyi yol, atom bombasından sonra Japonya'da hayatta kalan insanları gözlemektir, ancak çok dikkatli olarak yapılan birkaç çalışmada, bu insanların ilk kuşak çocuklarında aşırı miktarda genetik bozukluk görülmemiştir [13]. Eğer insanlar genetik hastalıklara karşı farelerden önemli ölçüde daha duyarlı olsalardı, vakaların sayısında bariz bir fazlalık göze çarpardı¹⁴. Dolayısıyla insanlar üzerindeki etkileri hesaplamak için fareleri kullanarak elde edilecek verilerden riski hesaplayamayacağımız açıktır.

Bir birey sık sık, kendisinin genetik bozukluğa sahip bir çocuğu olması riskini merak edebilir; bu, gebelikten önce maruz kalınan her mrem radyasyon için 40 milyonda bir olasılıktır -bir dereceye kadar erkekler için daha fazla ve kadınlar için daha azdır. Gebeliği 1.2 saat geciktirmekle de aynı riske sahiptir [29].

Hava kirliliğinin ve birçok kimyasal maddenin de genetik bozukluğa yol açtığını ifade etmek uygun olacaktır. Kükürt dioksit suda çözündüğünde ortaya çıkan bisülfatlar [34] (bunlar virüsler, bitkiler ve bakterilerde genetik bozukluklara yol açar) ve nitrojen oksitlerden elde edilen nitrosamin ve nitrus asiti de içeren 3500 kimyasal [33] madde hakkında kesin olmayan bilgi mevcuttur. Kükürt dioksit ve nitrojen oksitler, kömürün yanması sonucu ortaya çıkan hava kirliliğinin en önemli iki bileşenidir. Kömürün yakılmasıyla ortaya çıkan ve genetik değişimlere yol açtığı bilinen diğer mad-

deler, benzeopiren (virüsler, meyve sinekleri ve fareler üzerinde denenmiştir), ozon ve bu ikisine benzer birçok diğer bileşiktir. Kimyasal maddelerin insanlar üzerindeki etkileri iyi anlaşılmamıştır ve pratikte bunlarla ilgili nicel bilgi yoktur. Ancak kömürün yanmasıyla ortaya çıkan hava kirliliğinin genetik etkilerinin nükleer enerjininkinden daha az zararlı olduğunu düşünmek için de bir neden yoktur.

Kafein ve alkolün genetik bozukluklara yol açtığı bilinir. Bir çalışmaya göre [35], 28.35 gram alkol, genetik etki bakımından 140 mrem'lik radyasyona eşittir. Bir fincan kahve de 2.4 mrem'lik doza eşittir.

Basın, insanları korkutmak için kanseri, genetik etkilerden çok daha fazla kullanmış olsa da, genetik etkileri de göz ardı etmemiştir. Çok fazla tahrip edici bir genetik hastalık olan Hurler sendromuna yakalanmış iki güzel ikiz bebeği (çok cici elbiseler giydirilmiş olarak) konu alan bir televizyon programı vardı. Tüm ayrıntılar bu hastalığın dehşet verici sonuçlarıyla ilgiliydi -5 yaşına geldiklerinde kör ve sağır olacaklar ve 10 yaşında ölmeden önce de kalp, karaciğer, akciğer ve böbrek rahatsızlıkları geçireceklerdi. Çok kısa bir süre için, radyasyonun söz konusu olduğu bir işte çalışmış olan babaları seyirciye, çocuklarının genetik hastalığına kendisinin maruz kaldığı radyasyonun neden olduğunu anlattı. Radyasyonun ne kadar korkunç birşey olduğunu gösterebilecek daha etkili bir propaganda olabilir mi? Ancak babanın işi dolayısıyla aldığı radyasyonun sadece 1,300 mrem olduğu; yani eşinin çocuklara hamile kaldığı zamana kadar aldığı doğal radyasyonun yarısından da az bir doz olduğu belirtilmedi. Bu dozda bir etkilenim sonucu çocukların genetik bozuklukla doğma olasılığı 25,000'de birdir; normal risk, kendiliğinden meydana gelen mutasyonlara bağlı olarak %3'tür. Çocukların genetik sorunlarının babalarının işyerinde aldığı radyasyona bağlı olma olasılığı ise binde birdir.

Bu arada *New York Times Magazine*'de resimlerle desteklenmiş ve okuyucuya çocukların genetik sorunlarının babalarının radyasyona maruz kalmasından kaynaklandığı ko-

nusunda her türlü kanıtı sunan bir hikâye yayınladı. Böyle bir durumun ortaya çıkabilme olasılığının binde bir olduğu, “yayına uygun haberler” ilkesi uyarınca yine göz ardı edilmişti.

Genetik bozukluklara yol açan belki de en önemli insan etkinliği, erkeklerin pantolon giyme geleneğidir [36]. Bu, cinsiyet hücrelerinin ısınmasına yol açar ve böylece kendiliğinden ortaya çıkan mutasyonların¹⁵, yani genetik hastalıkların başlıca kaynağının olasılığını arttırır. Kaba taslak olarak yapılmış mevcut hesaplamalar, bir miliremlik radyasyonun genetik etkilerinin, beş saat pantolon giymekle aynı olduğunu göstermektedir [29].

Eğer genetik etkilerle gerçekten ilgileniliyorsa; onları azaltmak için yapılabilecek çok şey vardır. Bugün için uygun olan amino sentez, sonografi ve alfa fetoprotein ölçümleri gibi teknolojiler ile ABD’de her yıl meydana gelen 6,000 vakayı önleyebiliriz ve bu da tıbbi hizmetlerden 160 milyon dolarlık kâr edilmesi anlamına gelir [37]. Buna karşılık ABD’de büyük bir nükleer güç sanayii, 50 milyar dolarlık üretim ve 8 milyar dolarlık vergi karşılığında yılda 37 vaka ya yol açacaktır. Vergi hasılatının %2’si -160 milyon- genetik bozuklukları önlemek için kullanılır ve denebilir ki nükleer sanayi neden olduğu her vaka için $(6,000 \div 37 =) 160$ vakayı önlemektedir [29]. Paranın genetik araştırmalar için harcanması, çok daha etkin olurdu.

Nükleer gücün genetik etkileri ile ilgili can sıkıcı bir nokta da, biz üretilen enerjinin kârından yararlanırken, bedelini gelecek kuşakların ödeyeceği şeklindeki zihniyettir. Bununla birlikte, bu kuşağın ve teknolojisinin geleceği olumsuz yönde etkilediği daha başka ve çok daha önemli durumların varlığını da hatırlamalıyız. Belki de en önemlisi, 1. Bölüm’de anlatılan petrol, gaz, kömür ve diğer mineral kaynaklarının israfıdır. Bunun yanı sıra dünya nüfusunu çok fazla artırıyor, tarım alanlarına yükleniyor, yıkıcı silah sistemleri geliştiriyor ve ormanları yok ediyoruz. Bunlardan biriyle kıyaslandığında nükleer sanayinin getirdiği radyasyonun ge-

netik etkileri, son derece önemsiz kalıyor. Ayrıca bu yeni bir durum da değildir: ağacın hem enerji hem de yapı malzeme-leri için en önemli kaynak olduğunun anlaşıldığı bir dönemde, Avrupa'nın birçok yerindeki ormanlar kesilmişti; tarım alanlarına, av hayvanlarına ve balık stoklarına aşırı yüklenilmesi durumu da milyonlarca yıldır devam ediyor.

Bununla birlikte en azından son zamanlarda, bir sonraki her kuşak öncekine oranla daha uzun, daha sağlıklı ve daha mutlu bir hayat yaşadı. Bunun nedeni de şüphesiz, her yeni kuşağa atalarından yalnızca zararın değil yararın da miras kalmasıdır. Biz, soyumuza çok büyük ölçüde bilgi ve anlayış; yol, köprü, bina, ulaşım sistemi ve endüstriyel faydalar gibi malzeme kazançları; iyi organize olmuş ve genellikle de iyi işleyen politik, ekonomik, sosyal ve eğitimsel kurumlar ve daha birçok şey miras bırakıyoruz; yani atalarımızdan bize kalanların kat kat fazlasını). Ahlâki açıdan bakıldığında, soyumuza zararlı *hiçbir şey* bırakmıyor *değiliz* -bu zaten bütünüyle gerçek dışı ve konuyla ilgili kişilere ters etki yapacak bir ifade olurdu- ancak onlara zarardan çok fayda sağlayacak şeyleri miras bırakıyoruz.

Nükleer sanayi ve onun sonraki kuşaklara yapacağı genetik etkiler konusunda yapılacak anlamlı bir değerlendirilmede, gelecek kuşaklar için, onlarca milyar dolara, onbinlerce yıllık çabaya mal olmuş ucuz ve bol bulunur, sonsuz bir enerji kaynağı karşısında söz konusu olan birkaç genetik bozukluk vakası ile bunlarla mücadele etmek için bizden onlara kalacak ucuz ve etkin araçların karşılaştırılması, dengeyi sağlayacaktır.

Radyasyonun Sağlığa Diğer Etkileri

Radyasyonun etkileriyle ilgili ders verirken, bana sık sık kanser ve genetik bozukluklardan başka hastalıkların söz konusu olup olmadığı soruluyor. Japonya'da her birini 130,000 mrem'e maruz bırakan bomba saldırılarından kurtulan 24,000 kişiyle yapılan dikkatli çalışmalar sonunda böyle bir kanıt rastlanmamıştır. Bunun da ötesinde, hasta-

lıkların çeşitliliğiyle ilgili kavrayışımız, düşük seviyeli radyasyonun yol açabileceği diğer hastalıkları göz ardı etmemize yol açar.

Düşük seviyelerde radyasyonun yanı sıra bir başka etki de, *dölyatağında* ¹⁶ radyasyona maruz kalmış çocuklarda görülen düzelebilir anormalliklerdir. Bunlar, hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu iyi bilinmektedir ve tıbbi tedavi kaynaklı etkilenimler ile Japonya'da atom bombasından kurtulanlar üzerinde yapılan çalışmalarda da insanlarda görülebileceği yolunda yaygın kanıt bulunmuştur [39]. Japonya'da bulunanlar arasında, doğumdan önce 25,000 mrem'e maruz kalmış çocukların 17 yaşındayken normalden 2.236 cm daha kısa, 3.5 kg daha hafif ve kafa çaplarının 1.1 cm kadar daha küçük olduğu saptanmıştır. Gebeliğin onsekizinci haftasından önce 150,000 mrem'e maruz kalmış 22 çocuk arasından 13'ünün kafaları normalden küçük, 8'inin zekaları geri idi. [40]. 18. haftadan sonra maruz kalanlarda ise sadece 2 zihinsel gerilik vakası mevcuttu. 50,000 mrem'den az doza maruz kalanlar arasında zihinsel gerilikle ilgili hiçbir bulgu yoktu [41]. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalara göre, ceninin gelişmesinin kritik dönemlerinde maruz kalınacak birkaç bin mrem'lik doz sonucu ağır gelişen anormallikler görülebileceği düşünülebilir. (Nükleer güç santraline çok yakın bir yerde yaşayan bir kadın, hamileliği boyunca tipik olarak 1 mrem radyasyon alacaktır.)

Dölyatağında radyasyona maruz kalmanın, çocukluk döneminde kansere yol açma riskinin büyük olması olasılığı üzerinde yaygın olarak durulmaktadır [39]. Başlangıçta, hamilelik döneminde alt karın bölgesi röntgeni çekilmiş kadınların çocuklarının, bu hastalığa yakalanma olasılıklarının 10 kat daha fazla olduğu rapor edilmiştir [42,43]. Bununla birlikte, röntgen ışınlarının dışında, çocukluk dönemi kanseriyle aynı şekilde bağlantısı olduğu saptanmış bazı diğer faktörler, annenin aspirin ve nezle ilaçları kullanması, çocuğun kan grubu, virütik enfeksiyonlar, alerjiler; çok fazla balık ve kızarmış patates yemek (bu bir İngiliz çalışmasıydı) gibi du-

rumları içermektedir [39]. Japonya'da atom bombası saldırılarında, dölýatağında radyasyona maruz kalmış çocuklar arasında, korelasyonlara göre 18 kanser vakası beklendiği halde kanserin hiç görölmediği belirtilmiştir [44]. Başlangıçta yapılan incelemeler, annelerin röntgenlerinin çekilmesini gerektiren tıbbi sorunların etkileri olarak açıklanabilir. Annelere tıbbi olmayan nedenlerle röntgen ışını verilmesiyle ilgili bir çalışma [45], bunun kanser oranını yükselttiği yolunda bir kanıt bulamamıştır.

Bununla birlikte yetkili kurullar, beklenenden fazla kanser riskini bir olasılık olarak göz önüne almaktadırlar; dolayısıyla bu durum, hamile (ya da ovölasyonu gerçekleştirmiş) kadınların mesleki etkilenimleri için radyasyondan korunum yönetmelikleri hazırlanırken de dikkate alınmaktadır. Halk sağlığı açısından baktığımızda, dölýatağındayken radyasyona maruz kalmak, hayatımızın sadece %1'ini orada geçirdiğimiz için pek önemli değildir.

Dölýatağı etkileri, halkın zihninde genellikle abartılı bir görünüştedir. Yaygın olarak yayınlanan ve Three Mile Island kazası sonucu dölýatağı etkilenimi nedeniyle ortaya çıktığı iddia edilen aşırı derecede deforme olmuş çiftlik hayvanlarıyla ilgili resimler vardı. Bilimsel yazında böyle bir iddia yer almadı şüphesiz. Kazadan alınan ortalama etkilenimin 1.2 mrem, yani doğal kaynaklardan her beş günde alınan toplam doz kadar olduğunu hatırlatırsak, bu deformasyonlar radyasyona bağılı olsa bile, doğal radyasyon kaynaklı olma olasılıkları çok daha yüksektir. Radyasyonun çeşitli hayvanlara olan etkileriyle ilgili çok sayıda titiz deney yapılmış -ben de bu amaç için Tennessee ve Idaho'da düzenlenen çiftlik gezilerine katıldım- ve bu deneyler sonucu birkaç bin mrem'den az dozlar için böyle etkilerin söz konusu olmadığı bulunmuştur. Yine de, böyle etkilerin, 1.2 mrem ya da Three Mile Island kazasının yol açtığı ve bugün 100 mrem'in çok altında olan doza yakın maksimum etkilenimler için söz konusu olabildiğine inanmak çok zordur. Herhangi bir yerde, herhangi koşullar altında doğan hayvanların (ya da insanla-

rın) küçük bir bölümünde doğal olarak deformasyonlar görülecektir; böylece de deforme hayvan resimleri bulmak hiç zor olmayacaktır. Bu etkilerin Three Mile Island kazası sonucu açığa çıkan radyasyonla bağlantılı kanıtlar olduğunu öne sürecek biri, o alan içinde, o zaman süresince görülen deforme hayvan sayısının, önceki zamanlara göre veya başka yerlerde aynı zaman dilimi içinde, istatistiksel olarak dikkate alınacak derecede daha fazla olduğunu göstermek zorundadır. Bu, radyasyonun hayvanlar ya da insanlar üzerindeki bir sağlıksal etkisi için kesinlikle gösterilememiştir.

Toplumsal Çılgınlık

Ele aldığımız etmenlerden ya da diğer bazı etmenlerden dolayı halk, radyasyon korkusuyla *çılğına* çevrilmiştir. “Çılgınlık” sözcüğünün tanımlarından biri, gerçeğe ilişkinin kesilmesi olduğu için, kasıtlı olarak kullanıyorum. Halkın, radyasyonun tehlikelerini algılayışının, bilim adamlarının bu tehlikeleri algılamak için kullandıkları gerçeklikle hiçbir ilişkisi yoktur. Buna belki de en iyi örnek, Three Mile Island kazasından yaklaşık bir yıl ya da daha uzun süre sonra hasar görmüş reaktörün koruma kabuğu yapısı içinde tecrit edilmiş olan radyoaktif gazın açığa çıkarılması planları açıklandığında halkın yaptığı şiddetli protestodur. Bu, güvenlik sistemlerinin hizmete girebilmesi bakımından önemliydi ve tamirat çalışmalarının başlayabilmesi için de kesinlikle şarttı. Gazı açığa çıkarmanın yol açacağı etkenim, kişi başına 1 mrem’den daha azdı ve protestocuların çoğunun maruz kalacağı miktar da bunun 100 kez daha azıydı. Bir protesto mitingine katılmak katılımcıları, gazın açığa çıkarılmasından çok daha fazla radyasyona maruz bıraktı; bunun da ötesinde, oldukça büyük bir topluluk da, açığa çıkarma sırasında bu alanı terkedip yüzlerce kilometre uzaklara gitti. 1 mrem radyasyonun riskinin, 4.5 kilometre araba kulanmanın ya da 3 kez karşıdan karşıya geçmenin riskine eşit olduğunu tekrar hatırlatırım. Ancak yine de, mantık dışı korkularını destekleyecek hiçbir kanıt olmadığı halde,

protestocuların korkutucu ifadeleri televizyon seyircisine aktarılmıştı.

Olayın cesaret kırıcı yönlerinden biri de, NRC'nin (Nükleer Yönetmelik Komisyonu) olayı halletmek için gösterdiği çabadır. Yerel halka önceden yapılan bir anket sonucu, gazın açığa çıkması konusunda halkın ciddi bir korku taşıdığı anlaşılmıştır. NRC, bunun üzerine sağlık risklerinin ne kadar önemsiz boyutlarda olduğunu açıklayan geniş çaplı bir halk eğitim programı başlattı. Halk eğitim kampanyası tamamlandığında, yerel halka yeni bir anket uygulandı. Sonuçta halkın korkusunun, kampanya öncesine göre daha da artmış olduğu anlaşıldı. Halkın radyasyonla ilgili durumlar konusundaki çılgınlığı, tüm makul açıklamalara karşı koymaktadır.

Halk içindeki bu çılgınlığın trajik sonuçlarından biri de, radyasyonun tıbbi kullanımına yaptığı etkidir. Radyoaktif malzemeler ve hızlandırıcı radyasyon kaynakları, tıbbi teşhis ve terapi için yaygın olarak kullanılmakta ve her yıl onbinlerce hayat kurtarılmaktadır. 1. Bölüm'den hatırlarsak, nükleer karşıtı etkinsiler (gerçek rakamlar 10 kez daha düşük olsa da), nükleer gücün tüm alanlarının, yılda sadece ortalama 120 ölüme sebebiyet verdiğini iddia etmektedirler. Yani, yapay radyasyon, kaybettirdiğinden yüzlerce ya da binlerce kat daha fazla hayat kazandırmaktadır. Ancak halkın çılgınlığı sonucu her gün artan bir sıklıkla hastalar, radyasyon yöntemlerini reddediyor ve doktorlar da bunun kullanımı konusunda tereddüte düşmeye başlıyorlar. New York'ta gerçekleştirilen nükleer tıpla ilgili yerel bir toplantının bir saatten az süren araları sırasında aşağıdaki durumlar anlatıldı:

- Bir büyük şehir hastanesinde, hastaların yaklaşık %20'si hipertiroitizm için önerilen ve radyoaktif iyon kullanımını içeren tedavinin yerine, fayda oranı daha düşük olan ve sıklıkla da hastalığı nüksettiren ilaç tedavisini tercih etmektedirler [46].
- Bir başka hastanenin yoğun bakım ünitesi, çocuk bölü-

40 • Nükleer Enerji Ne Kadar Tehlikelidir?

müne portatif bir röntgen makinesi getirildiğinde hemşireler, çocukları kendi hallerine bırakıp orayı terketmektedirler; oysa makinenin yılda 1 mrem'den az bir radyasyon yayacağı saptanmıştır [47].

- Büyük bir tıp merkezi, yoğun bakım ünitesindeki 1,100 hasta için radyasyon kullanımını içeren bir proje hazırladı. Burada çalışan 10 hemşireden her birinin, yılda 100 mrem fazladan radyasyona maruz kalacağı hesaplanmıştı; yani yaklaşık olarak, Colorado'da yaşamakla alınacak olan ekstra miktar kadar. Hemşireler grev tehdidinde bulundular ve projeden vazgeçilmesi için baskı yaptılar [48].

Korkunun, radyasyonun tıbbi kullanımını yüzde kaç azalttığı yolunda ciddi bir araştırma var mı bilmiyorum; ancak bu oran %10 olsa bile halkın çılgınlığı, her yıl en azından birkaç yüz ve olasılıkla birkaç bin Amerikalı'yı öldürmektedir.

İlaveler

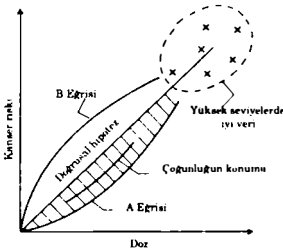
Düşük Seviyeli Radyasyonun Yol Açtığı Kanser Riski

Bu bölümde, yaklaşık 100,000 mrem kadar yüksek seviyeli radyasyon hakkında çok fazla bilgi verilmiştir. Sorun, bunu 10,000 mrem'in altındaki düşük dozları belirlemek için kullanabilmektir. En basit görüş, riskin doza oranlı olduğunu varsaymaktır -her mrem'in riski, bilinen 100,000 mremlik riskin 1/100,000'i kadardır. Buna *doğrusal hipotez* denmektedir ve Şekil 1'deki düz çizgiyle gösterilmiştir. Diğer 2 olasılık da Şekil 1'de gösterilmiştir. Bilim çevresindeki çoğunluk görüş, doğrusal hipotezin, riskin yüksek saptanmasına neden olan düşük doz etkilerinin bir üst sınırı olduğu yolundadır. Bu da riskin doğrusal çizgi ve Şekil 1'de yukarı kıvrılan A çizgisi arasında bir yerde olduğu anlamına gelir. Bununla birlikte Şekil 1'de aşağı doğru kıvrılan ve buna göre de düşük seviyeli radyasyonun riskinin daha büyük olduğuna inanan bir azınlık da yok değildir. Eğrinin şeklinin, çeşitli radyasyon türleri için farklı olduğuna dair inandırıcı nedenler bulunmaktadır. Biz, burada tartışmamızın çoğunluğunu, bizim konumuzda en önemli yeri kaplayan gama, beta ve X ışınlarıyla sınırlayacağız.

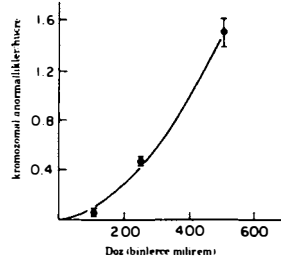
Çoğunluk durumunu destekleyen kanıtlar şöyledir:

1. Radyasyonun kansere nasıl yol açtığı ve bu konunun birçok yönü için makul derecede deneysel gerçekleştirilebilirliği, yaygın olarak kabul görmüş bir teori mevcuttur [51]. Bu teori, A çizgisi gibi yukarı kıvrılan bir çizgi varsayar.

2. İnsanın beyaz kan hücrelerinde radyasyonun yol açtığı kromozom hasarı ile ilgili çalışmalar, Şekil 1'deki A eğrisi gibi bir hareketi ifade eder [52]. Kültürde yetiştirilen hücreler için bu tür bir veri örneği, Şekil 2'de gösterilmiştir [52].



Şekil 1: Doza karşılık kanser riskinin şematik ifadesi. Güvenilir veri, daha yüksek dozlar sonucu elde edilir. A ve B eğrileri metin içinde ele alınmıştır.

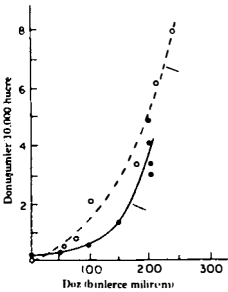


Şekil 2: Gama ışınlarına maruz kaldıktan sonra insanın beyaz kan hücrelerindeki disentriks (kromozom anormallikleri) sıklığı. Kaynak 52'den.

3. Fare embriyo hücrelerinde radyasyona bağlı olarak hastalığa geçiş dönemi, genellikle Şekil 1'deki A çizgisi gibi bir eğri izler. Bazı örnekler Şekil 3'te gösterilmiştir.

4. Çeşitli dozlarda gama ışınlarına maruz kalan farelerde kanser etkileri için oldukça iyi veriler mevcuttur ve sonuçlar genellikle Şekil 1'deki A çizgisi gibi bir durumu belirtir. Örnekler Şekil 4'te gösterilmiştir.

5. Radyoaktif madde enjeksiyonu yapılan farelerle ilgili



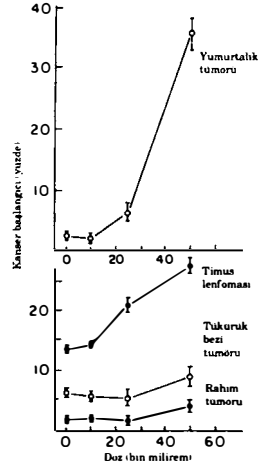
Şekil 3: C3H fare embriyo hücresi kültüründe, X-ışını etkileniminden sonra hastalığa geçiş dönemi sıklığı. "TL" Kaynak 53'ten ve "HE" kaynak 54'tendir.

kanser etkisi verileri, Şekil 5'teki veriyle ifade edilmiş bir durum gösterir. Şekil 1'deki A çizgisi gibi yüksek doz verisine dayanan doğrusal hipotez, işaretli satırlarda gösterildiği gibi, düşük doz etkileri için normalin fazlasıyla üstünde bulgular verir.

6. Japonya'da atom bombasından sonraki [38] lösemi sonuçları, insanlar üzerinde saptanmış en iyi veridir ve Şekil 6'da yüksek doz verisine giden düz çizgiyle ifade edilmiştir. Düşük doz noktaları çizginin çok altındadır ve bu kadar sapmanın, istatistik salınma bağlı olma olasılığı çok düşüktür.

7. Şekil 7'de gösterilmiş, radyum-dan saat göstergesi yapanlarla [58] ilgili veri de aynı etkiyi ifade eder; yine düşük doz verilerinin düz çizgiden sapmasının istatistik salınımına bağlı olma olasılığı çok düşüktür.

8. Madencilerde radonun yol açtığı [59] akciğer kanserleri için, ortamda bulunan (herkesin maruz kaldığı) radona bağlı olarak, sigara içmeyenler arasındaki akciğer kanseri miktarından daha yüksek bir değeri, yüksek doz verisine giden düz bir çizgi göstermektedir. Dahası, madencilerde görülen vakaların sadece küçük bir kısmı radona bağlanabilir. Sonuçta, radonun yol açtığı düşük doz riski, Şekil 1'deki düz çizginin çok altında, A çizgisi gibidir.

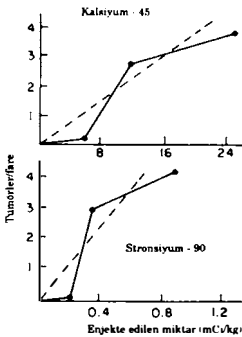


Şekil 4: Farelerde gama ışını etkileniminin dozuna karşılık çeşitli kanserlerin görülme durumu. Kaynak 55'ten.

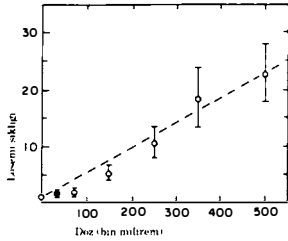
9. Radyas-

yonaya maruz

kalmayla kanserin son gelişim süreci arasında geçen sürenin doz düştükçe arttığı yolunda çok fazla kanıt vardır. Bununla ilgili olarak, hayvanlar üzerindeki deneylerden [60] elde edilen kanıtlar, Şekil 8'de gösterilmiştir. Kemikleri 100 milyon mrem ya da daha yüksek doza maruz kalmış köpekler, yaklaşık 3 yıl içinde kemik kanserinden ölürlere, ancak 5 milyon mrem'e maruz kalmış olanlarda 9 yıl sonrasına kadar kemik kanseri görülmez. Bu veriler göz önüne alındığında, çok daha düşük dozlara maruz kalma durumunda, normal hayat sü-



Şekil 5: CF1 dişi farelerinde, ağırlıklarının 1 kg'ı ile orantılı millicurie'lik (mCi) miktarlarda, damara enjekte edilmiş stronsiyum-90 ve kalsiyum-45 sonucu kemik kanserleri.



Şekil 6: Japonya'da atom bombasından sonra görülen, lösemiden ölüm bağılı oranları. Kaynak 37'deki veriye göre hazırlanmıştır.

çizerleri [63], farelerde görülen lösemi, fare ve sıçanlarda görülen cilt ve kemik kanseri ve sıçanlarda görülen meme kanseri [64] incelemeleriyle kanıtlanmıştır.

Tüm bu kanıtlar, Şekil 1'de gösterilen ve çoğunluğun desteklediği durumun, düşük seviyeli radyasyon riskinin normalin altında hesaplanmadığı; hatta olasılıkla normalin üzerinde hesaplandığı görüşünü destekler.

Karşıt durumla ilgili olarak en fazla yayınlanan ve Şekil 1'de aşağı doğru eğilen B eğrisiyle ifade edilmiş kanıt, Mancuso ve grubu [18] tarafından hazırlanmış; orta Washington eyaletindeki Hanford hükümet laboratuvarlarında çalışan radyasyon işçileri konulu bir çalışmaya dayanır. Araştırmacılar, daha yüksek radyasyona maruz kalanlarla (yani 20,000 mrem) hiç ya da az radyasyon etkelenimi görmüş olanlar arasındaki ölümleri karşılaştırdılar ve birinci grupta kanserden, özellikle belirli tür kanserden ölümün, 2. gruba göre daha sık görüldüğünü saptadılar. Şu nokta belirtilmelidir ki, Mancuso Çalışması, halen yaşamakta olan çok

relerini (11 yıl) yaşayacakları ve kanser ortaya çıkmadan önce diğer sebeplerden ölecekleri anlaşılmaktadır. Bu etkin olarak, düşük seviyeli radyasyon riskini yok etmektedir. Bu etki, radyumla tedavi edilmiş Alman ankilozlu omur (ankylosing spondylitis) hastaları [61], Japonya'da radyoloji konusunda çalışan cilt kanserli işçiler [62], Amerikalı radyumlu gösterge

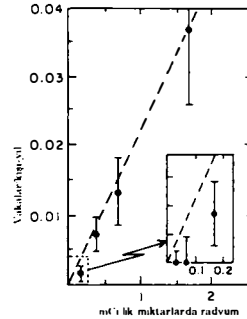
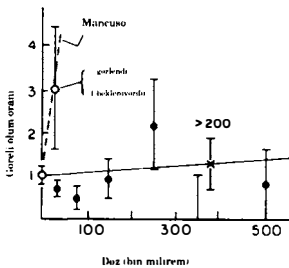


Fig. 7

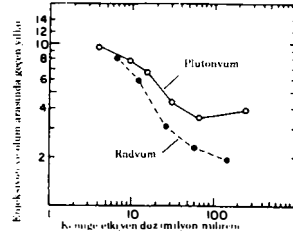
Şekil 7: Radyumlu saat göstergesi yapanlar arasında görülen kemik kanseri yoğunluğu. Asıl şekil, düz çizgiyi elde etmek için kullanılmış daha yüksek doz verisini gösterir; içteki şekilse, bu düz çizgiyi düşük doz verisiyle karşılaştırır. Kaynak 57'den.

daha büyük sayıdaki insanı hiç dikkate almadan; sadece ölmüş olan işçileri göz önüne almıştır.

Yaşayan ve ölmüş olan tüm işçiler düşünüldüğünde, en yüksek doza maruz kalmış grubun kanser riski, düşük doza maruz kalmış olanlardan fazla *değildir* [19]. Mancuso Çalışması'nda görülen büyük miktardaki noksanlar belirtilmişti. Toplam olarak bu rapor, 20'nin üzerinde eleştiri almıştır [19, 23]. Çalışmalarının dayandığı orijinal veri, üç diğer araştırma grubu tarafından ayrıca yeniden analiz edilmiştir [19, 21]. Veriden çıkan, radyasyonun etkilerini gösterebilecek olan ve hepsinin de kabul ettiği tek kanıt şöyleydi. En çok etkilenim gören işçiler arasında 1 tane beklenmesine karşın 3 pankreas kanseri ve 0.4 oranında umulmasına karşın 3 çoğul myeloma vakası görülmüştür.



Şekil 9: Japon, atom bombası kazazedeleri (siyah daireler) ile Hanford işçileri (beyaz daireler) arasında, görülen pankreas kanserinden ölüm vakaları ve Mancuso analizi sonuçları. İşaretli nokta > 200, tüm verinin ortalamasını 200,000 mrem'in üstü olarak ifade eder.



Şekil 8: Plutonyum ve radyum enjeksiyonu sonucu kemik kanserine yakalanmış küçük av köpeklerinin hayatta kalma sürelerine karşılık, ölümden önceki bir yıla kadar kemiklerinin aldığı doz miktarı [59]. y-ekseni: enjeksiyon ve ölüm arasındaki yıllar; x-ekseni: kemik aldığı doz (milyon mrem).

Bu iki hastalığa yakalananların sayısının daha fazla olduğu yolunda kanıt arayan araştırmacılar, radyasyona maruz kalmış diğer gruplar üzerinde de inceleme yapmış; ancak böyle bir kanıt bulamamışlardır. Örneğin Şekil 9, atom bombasından sonra hayatta kalan Japonlar arasında görülen pankreas kanseri vakalarının dayandığı veriyi, Mancuso analizi ve diğer analizde bulgularan "1 beklenmesine karşın 3 vaka saptanması" ifadesi ile birlikte göstermektedir [23]. Aynı doz miktarlarını esas alını, atom bombasından

sonra hayatta kalanlarla ilgili verinin çok daha fazla istatistik geçerliliği olduğu kesindir ve Mancuso'nun iddia ettiği hiçbir etki, belirtisini göstermez.

Radyasyon kaynaklı çoğul myeloma ile ilgili diğer veri daha da olumludur. Atom bombasından kurtulan Japonlar [65] arasında normal kabul edilebilecek orandan sadece 3 vaka daha fazla görülmüştür; oysa Mancuso'nun sonuçlarına göre yüzün çok üzerinde vaka, beklenen rakamı ifade ediyordu. Ankyising spondylitis için radyum tedavisi gören Alman hastalarda, hiçbir vakaya rastlanmamıştır; oysa Mancuso sonuçlarına göre birkaç yüz vaka beklenmelidir.

En çok etkilenim görmüş Hanford işçileri arasında tahminden yüksek oranda görülen çoğul myeloma ve pankreas kanserini başka şekillerde açıklamak hiç de zor değildir. Örneğin daha yüksek radyasyona maruz kalanlar, çeşitli kimyasallara ve alıšılmamış çalışma ortamlarına da maruz kalmış olan teknisyenlerdir; oysa düşük etkilenim grubuna çoğunlukla büro çalışanları dahildir.

Ele aldığımız sorunların ve daha başkalarının sonucu olarak Mancuso Çalışması, radyasyonun sağliksal etkileri alanında sorumluluk verilmiş tüm resmi bilimsel komitelerin dikkatli değerlendirmesi sonunda reddedilmiş [13] ya da dikkate alınmamıştır. Hiçbiri bu çalışmayı, sorumlu oldukları herhangi bir alanda kullanmazlar.

Radyasyonun çok zararlı olduğunu göstermeyi amaçlamış olan ve en çok yayınlanan ikinci kanıt, Portsmouth işçileri (nükleer denizaltılara hizmet veren New Hampshire donanma tersanesi) çalışmalarıyla ilgilidir. Boston'lu bir doktor olan Tom Najarian, bir hastasıyla konuşurken oradaki işçilerde beklenenden fazla sayıda lösemi görüldüğüne dair bir izlenim edinir. Boston Globe muhabirlerinin yardımıyla 90,000 ölüm sertifikasını inceler ve gazetede baş haber olarak çıkan bir raporda [66], bu işçiler arasında, 5 tane umulmasına karşın 22 lösemiden ölüm vakası görüldüğü sonucuna varır¹⁷. Daha sonra, bir bilim dergisindeki yayında bu zat, 11 tane beklenmesine karşın 20 vaka görüldüğünü be-

lirtti -beklenen rakamı nasıl saptadığını hiçbir zaman açık olarak ifade etmedi ve bu rakamın, işçilerin yaşına çok duyarlı olduğunu da bilmiyordu. Ailelerin yaşayan üyeleriyle kurduğu telefon bağlantılarından, lösemi kurbanlarından altısının radyasyona maruz kaldığı; oysa maruz kalanlar arasında 1.1 vakanın beklendiği sonucuna vardı. Tersane kayıtları daha sonra altı kişiden üçünün radyasyona maruz kalmadığını ortaya çıkardı. Hastalık Kontrol Milli Merkezi, sorunu incelemek için bir milyon dolardan fazla para harcadı ve tersane işçileri arasında radyasyonun sağlıksal etkileri ile ilgili bir bulguya rastlanamadığı sonucuna vardı[68]. Edward Kennedy'nin başkanlık ettiği bir Kongre oturumunda Najarian, iddialarının çoğunu geri aldı ve diğerleri de Milli Kanser Enstitüsü'den gelen bilim adamlarınca ağır biçimde eleştirildiler. Nükleer karşıtı görüşleriyle iyi tanınan Senatör Kennedy, Najarian'ı, tersane işçilerinin ailelerini boş yere telaşlandırdığı için cezalandırdı [69].

Haber basınının Najarian olayını nasıl örtbas ettiğini görmek için, bu konuyla ilgili olarak yayınlanan tüm hikâyeleri bulmak üzere New York Times indeksini kullandım. Najarian'ın umulandan fazla kanser görüldüğü yolundaki iddialarının Boston Globe'da basılmasından sonra, kendisi Kongre komiteleri önünde bunları doğrulamış, Kongre üyeleri ve diğer politikacılar araştırma yapılmasını istemiş, hükümet organları araştırmanın nasıl ve kim tarafından yürütüleceği konusuyla meşgul olmuş ve bu bir yıl içinde de tüm bu işlemler bir kez daha yinelenmişti. Bu süre içinde New York Times'da, çoğu tersane işçileri arasında beklenenden daha fazla kanser vakası görüldüğünü tekrarlayan 14 makale çıkmıştı. Hastalık Kontrol Milli Merkezi'nin çalışmasını yürüttüğü 2 yıl içinde yayınlanan başka makale yoktu. Beklenenden çok kanser görölmediğini rapor eden çalışma tamamlanmadığında, 25 Ocak 1981 tarihli nüshanın 37. sayfasında tek bir hikâye yayınlanmıştı. İlk onaltı satır, beklenenden çok kanser görüldüğüne ilişkin bulguyu hatırlatan giriş kısmıydı; sonraki dokuz satırda böyle etkiler bulunmadığını saptadı.

yan 1 milyon dolarlık çalışmanın sonuçlarından bahsediliyor ve hikâye, çalışmanın şüphe götürür olduğunu ifade eden onbeş satırla noktalanıyordu (bilim çevresinde çalışma kesin olarak kabul edildi). New York Times'da, yukarıda anlatılan, Senatör Kennedy'nin komitesinden önceki oturumla ilgili hiçbir rapor yoktu. Özetle New York Times'da yayınlanan 15 makaleden 14.5'i, hikâyenin sonucu aksini söylemesine karşın, okuyucuyu tersane işçileri arasında umulanın üzerinde kanser görüldüğü izlenimiyle başbaşa bırakıyordu. Netice itibarıyla halka yanlış bilgi verildiği konusunda su götürür bir taraf var mı?

Genetik Hastalıklar

Bu bölümde “genetik bozukluklar” ve “genetik hastalıklar”dan birkaç kez bahsettik [13, 29].

Üreme sürecinde birleşen erkek spermi ve dişi yumurtası, 23 tane ipliksi kromozom taşır. Bunların her biri, binlerce genden oluşur ve yeni doğan bireyin özelliklerini belirleyen de bu genlerdir. Gebe kalma sürecinde, iki ebeveyn den gelen karşılıklı kromozomlar birbirini bulur, birleşir ve karşılıklı genleri de beraberlerinde getirirler. Bu süreç içinde kadere bağlı bir çekişle yeni bireyin özellikleri, önceki kuşaklardan geçmiş olan çeşitli olasılıkların arasından belirlenir. Her bir çekişteki seçimler kesinlikle şans eseri de olsa, genetiğin tüm süreci şansa bağlı değildir; çünkü yaşamak için daha elverişsiz özelliklere sahip bir birey, üremek için daha az uygundur. Bu, Darwin'in ünlü doğal seçim kanunudur: Elverişli özellikler soy içinde yayılırken, elverişsiz olanlar elenir.

Ancak, çekişteki tüm kodlar da önceki kuşaklardan miras değildir; çünkü bunlar içinde mutasyon denilen değişiklikler olabilir. Genlerin içerdiği bilgiler kendilerini oluşturan karmaşık molekül yapısı içinde şifrelenir. Böylece bu yapıda bir değişiklik ortaya çıktığında kodlar, tanımladıkları özelliklerin değişimine öncülük ederek değişebilirler. Bu değişen özelliklerin büyük bir çoğunluğu zararlıdır ve dolayı-

siyla genetik bozukluk olarak adlandırılır. Binlerce değişik hastalığın tıbbi olarak genetik bozukluktan kaynaklandığı bilinir. Aslında, hastalık durumunun hatırı sayılır bir kısmı, ateşli hastalıklar dışında, bunlara bağlıdır. Hayatı imkansız kılan bu genetik kökenli hastalıklar, farkedilebilmesi çok zor olan, çok hassas sorunların uzantısıdır. Ciddi boyuttaki bozukluklar, düşüklerin %20'si gibi bir orandan sorumludur.

Her mutasyonun genetik bozukluğa neden olduğu da düşünülmemelidir. Spermden gelen kromozomlarla yumurta gebelik sırasında birleştğinde, karşılıklı genlerin her çiftinde, özellikleri kimin belirleyeceğini seçme yarışı olur. Bazı genler dominant, diğerleri de resesiftir ve bu yarışmada dominant, resesifi yener.

Mutasyonların küçük bir bölümünde, değişen gen dominanttır. Bu da etkilerin çocukta görülme olasılığını artırır. Örneğin akondroplazyaya (uzuvların kısa olduğu cücelik), doğuştan kataraktlar, diğer göz hastalıkları ve bazı kas distrofisi ve anemi türleri, bu tip mutasyonlara bağlıdır. Bu, bazen de çocukların fazladan bir el ya da ayak parmağı ile doğmasına neden olur (bunlar doğumdan kısa bir süre sonra estetik cerrahi ile kolayca düzeltilir). Yaklaşık bin farklı tıbbi durum, dominant mutasyonlara bağlıdır ve kabaca nüfusun %1'i bundan muzdariptir.

Ancak vakaların büyük çoğunluğunda mutasyonlar resesiftir. Bu da onların, ancak aynı mutasyonun iki ebeveynden gelen karşılıklı genlerde de ortaya çıktığı son derece olağandışı durumlarda karakteristik hastalıklara yol açabildiği anlamına gelir. Orak hücreli anemisi, sistik fibrosis ve Tay-Sachs hastalıkları, nisbeten daha iyi bilinen resesif hastalıklardır; ancak bilinen 500-1,000 resesif hastalıktan çoğuna aşırı derecede az rastlanır ve 1,000 kişiden yalnızca birinde görülür.

Bir başka genetik hasar türü, kendilerini oluşturan genlerden çok kromozomlarla ilgilidir. Kromozomlar kopabilir - onların iplik gibi olduğunu hatırlayın- ve bunu takiben genelde orijinal konfigürasyonlarından başka bir şekilde birle-

şirler. Örneğin bir kromozomun kopuk bir parçası, başka bir kromozomla birleşebilir. Bazı durumlarda ekstradan tam bir kromozom bulunabilir ya da kromozom yitebilir. Yaklaşık 160 kişiden 1'i, bir tür kromozom anormalliğinden kaynaklanan bir hastalıktan muzdariptir. Down sendromu (mongolizm) belki de en iyi bilinen örnektir.

Anlatmakta olduklarımızdan oldukça farklı bir başka genetik bozukluk türü daha vardır. Canlı doğan çocuklardan yaklaşık %9'u hayatlarının bir döneminde "aile içinde yayılma" eğilimi gösteren şeker, zeka geriliğinin çeşitli türleri ve sara gibi genetik unsurların rol oynadığı; ancak diğer etmenlerin de önemli olduğu birçok hastalıktan birine yakalanırlar. Düzensiz olarak diğer kuşaklara aktarılan bu hastalıkların genetik unsuru, çevresel faktörlere, yiyeceğe, sigara alışkanlığına, vs. bağlı olan diğer %84 ile birlikte %16 olarak tahmin edilmiştir [13]. Bu durumda %9'un %16'sı ya da %1.4'ü, genetik etmenlere bağlı bu hastalıklardan muzdriplerdir. Bunları dominant, resesif ve kromozomal düzensizliklerin kurbanlarına ekleyince, nüfusun yaklaşık %3'ünün bir tür genetik hastalığın etkisi altında olduğunu bulgularız.

Radyasyonun Genetik Etkileri

Çocuk sahibi olacak insanların cinsiyet hücrelerinde sık sık yeni mutasyonlar görülmektedir; ancak bu %3'ün artmasına yol açmaz; çünkü önceki kuşaklardan gelen mutasyonlar, doğal seçim yoluyla eşit oranda elenirler. Yani, yeni mutasyonların katılımı ve eskilerinin elenmesi arasında bir denge vardır. Yeni mutasyonların büyük çoğunluğu, atomik ölçek üzerindeki herşeyi karakterize eden rastgele hareketlere bağlı olarak, kendiliğinden, rastgele bir süreç olarak ortaya çıkar. Arasıra bu hareketler karmaşık bir molekülün ayrılmasına ya da yapısını değiştirmesine yol açarlar ve bu da bir mutasyonla sonuçlanabilir. Aynı hasar, kromozomların bulunduğu hücre çekirdeği içine giren yabancı kimyasallar, virüsler ve radyasyonla da verilebilir; ancak burada,

bunların sonuncusuyla, radyasyonun genetik etkileri ile ilgilieniyoruz.

Cinsiyet hücrelerine giren bir radyasyon parçacığının her zaman bir trajediye yol açacağı düşünülmemelidir. Ortalama olarak vücudumuzdaki her hücreye üç yılda bir, hepimizin maruz kaldığı doğal radyasyona bağlı olarak, bir radyasyon parçacığı girer; ancak bu kendiliğinden ortaya çıkan mutasyonların yol açtığı genetik hastalıkların yalnızca otuzda birine sebebiyet verir (yani %3'ün 1/30'u ya da doğal radyasyonun yol açtığı genetik hastalıklardan muzdarip halkın %0.1'i).

Bazı Hesaplamalar

Bu bölümün girişinde, her saniye ortalama bir insana çarpan gama ışınlarının sayısından bahsettik. Bu rakamların nasıl ortaya çıktığını anlamak için bazı tanımların kullanılması gereklidir. Bir milirem (mrem), gama ışınları için, vücut tarafından ağırlığının her kilogramına karşılık yutulan 10^{-5} joule'luk enerji olarak tanımlanır. Bir MeV'lik enerji 1.6×10^{-13} J (joule) olarak tanımlıdır ve doğal radyasyon kaynaklı ortalama bir gama ışınının 0.6 MeV, yani $(0.6 \times 1.6 \times 10^{-13} =) 1 \times 10^{-13}$ J enerjisi vardır; 10^{-5} J da 10^8 gama ışınına karşılık gelir. Ortalama bir insan 70 kg ağırlığındadır, buna göre 1 mremlik radyasyon etkilenimi $(70 \times 10^8 =) 7 \times 10^9$ gama ışınının vücuda çarpmasına eşdeğerdir. Doğal radyasyon bizi yılda [3] 80 mrem'e yani $(80 \times 7 \times 10^9 =) 5 \times 10^{11}$ gama ışınına maruz bırakır. Bir yılda 3.2×10^7 saniye vardır, bize de saniyede $(5 \times 10^{11} \div 3.2 \times 10^7 =) 15,000$ gama ışını çarpar. Bu da bir ömür boyu yaklaşık $(72 \times 5 \times 10^{11} =) 4 \times 10^{13} = 40$ trilyon gama ışını eder.

Bir tıbbi röntgen çekimi bizi 50 mrem'e maruz bırakabilir ve bu $(50 \times 7 \times 10^9 =) 3.5 \times 10^{11}$ gama ışını eder. Ancak X ışınlarının enerjisi, gama ışınları için varsaydığımız değer olan 0.6 MeV'den on kat daha azdır, yani aynı enerjiyi depolamak için on kat daha fazla parçacığın çarpması gerekmektedir; bu, $(3.5 \times 10^{11} \times 10 =) 3.5$ trilyon X ışınına karşılık gelir.

52 •Nükleer Enerji Ne Kadar Tehlikelidir?

bir röntgen sırasında vücudumuza çarptığı anlamına gelir.

1 mrem'lik gama etkilenimi 7×10^9 parçacık tarafından çarpılmaya denk geldiği ve 1 mrem radyasyonun yol açtığı kanser riski 8×10^6 'da bir olduğu için, bir gama ışınının çarpması sonucu kanser olma olasılığı ($7 \times 10^9 \times 8 \times 10^6 =$) 5×10^{16} 'da bir; başka bir deyişle 50 katrilyonda bir olasılıktır.

Doğal radyasyon bizi ömrümüz boyunca 4×10^{13} gama ışınına maruz bıraktığına göre, onun ölümcül bir kansere yol açma olasılığı ($4 \times 10^{13} \div 5 \times 10^{16} =$) 1×10^{-3} , binde bir civarındadır. Kanserden ölme olasılığımız şu an beşte birdir, yani tüm kanserlerin ($1/1000 \div 1/5 =$) $1/200$ 'ünün radyasyondan dolayı olduğunu varsayabiliriz.

3. BÖLÜM

Korkunç Reaktör Erimesi Kazası¹⁸

“Kor erimesi” günlük hayatta sık sık kullanılan bir sözcük haline gelmiştir ve şimdiye dek hiç olmamış bir kazayı, bir nükleer güç reaktörünün yakıtında meydana gelen geniş ölçekli bir erimeyi ifade eder. Basın, bundan sıklıkla “en büyük felaket” olarak bahseder ve birçok insan da bunu bir nükleer bomba saldırısını takiben ortaya çıkan, ölü insan yığınlarının ve mahvolmuş boş bir arazinin yer aldığı bir tablo olarak hayal eder.

Öte yandan Three Mile Island kazası üzerine yazılmış 2 başlıca rapor [1,2], reaktörde kor erimesi olmuş olsa bile sant-ral sınırlarının ötesinde insan sağlığına ve çevreye büyük bir olasılıkla HİÇ zarar gelmeyeceği konusunda hemfikirler. Tersini iddia eden hiçbir teknik rapor da bilmiyorum. Bunun da ötesinde, tüm bilimsel çalışmalar, erime kazalarının çoğunda insan sağlığına yönelik, anında ya da sonradan, hiçbir farkedilebilir etki olamayacağı konusunda birleşirler. Hükümetin resmi tahminlerine göre, nükleer gücün termik sant-raller kadar tehlikeli olabilmesi için her iki haftada bir ABD’de bir yerlerde bir kor erimesi kazası olması gerekir. Burada bir kere daha halkın çok büyük oranda yanlış bilgilendirilmesiyle ve oldukça hatalı bir bakış açısıyla karşılaşyoruz.

Three Mile Island Felakete Yakın mıydı?

Halkın izlenimleriyle, teknik analizler arasındaki çelişkinin başlıca nedeni, nükleer reaktörlerin, normal koşullarda reaktör yakıtı eriyecek olsa bile dışarıya radyoaktivite sızmasını engelleyecek şekilde, çok güçlü bir yapı olarak inşa edilmiş “koruma kabuğu” (containment) ile çevreden ayrılmış olmasıdır. Tipik bir koruma kabuğu [3,5], nıkı bir ağ hlinde

birleştirilmiş kalın çelik çubuklarla güçlendirilmiş olan, yaklaşık 1 metre kalınlığında betondan oluşur (bkz. Şekil 10). - Öyle çok çelik desteği vardır ki; betonun, döküldüğü zaman bu ağın etrafına dağılabilmesi için özel tekniklerin geliştirilmesi gerekmiştir. Buna ek olarak, koruma kabuğunun içi, güçlü bir yapı oluşturacak şekilde kaynaklanmıştır ve içeriden gelecek çok yüksek iç basınca dayanabilecek kadar sağlam bir kalın çelik tabaka ile kaplıdır.

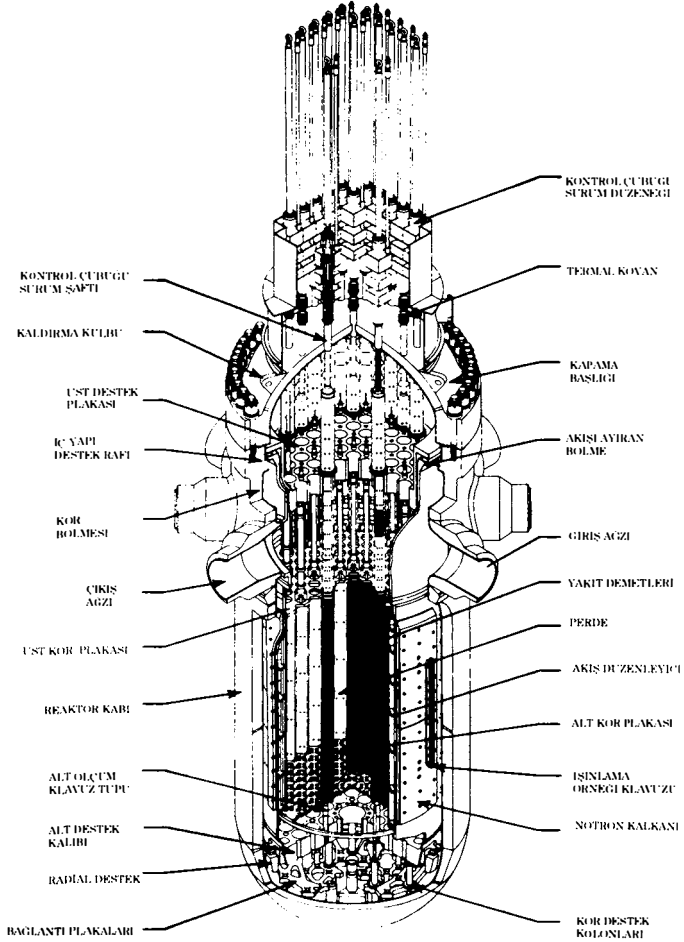
Koruma kabuğu, reaktöre dışarıdan gelecek darbelere karşı çok büyük bir korunma sağlar; öyle ki kasırganın bir arabayı, ağacı ya da bir evi üstüne doğru savurması, bir uçağın çarpması veya yanında büyük miktarda bir kimyasal patlayıcının infilak etmesine karşı dayanıklıdır. Bununla birlikte koruma kabuğunun görevi, bir kor erimesi kazası sırasında radyoaktiviteyi içeride tutmaktır. Aslında bunu birkaç saatliğine yapması yeterlidir çünkü koruma kabuğunun içinde radyoaktiviteyi atmosferden ayıracak sistemler vardır. Bir türü, evlerdeki elektrik süpürgesine benzer bir operasyonla havayı filtrelerin içine üfler¹⁹. Bir başkasında ise su arazörleri tozu havadan çıkarır. Belirli türden havayla taşınabilir radyoaktiviteyi atmak için odun kömürü filtresi yatakları ya da kimyasal spreyler de mevcuttur.

Bununla birlikte, radyoaktivitesi en fazla olan maddeler binanın duvarlarına ve içerideki malzemeye yapışacak ve havadan ayrılacaktır. Böylece koruma kabuğu birkaç saat dayanabilse bile, bir kor erimesi kazasının sağlığa vereceği zararlar büyük ölçüde azalmış olacaktır. Three Mile Island kazasında koruma kabuğu için bir tehlike söz konusu değildi. Araştırmaların sonucuna göre de, kor erimesi olsaydı bile, koruma kabuğu çok büyük bir olasılıkla büyük miktarda radyoaktivitenin dışarı çıkmasını önlemiş olacaktı [1,2]. Kısaca, Three Mile Island kazası kor erimesine “yaklaşmış” olsa bile (birazdan tartışacağımız hayli şüpheli bir nokta daha), bir sağlık felaketine kesinlikle “yaklaşmış” değildi. Bu husus konusunda geniş ölçüde yer alan raporlarda belirtilmiş olmasına karşın, bu noktaya pek yer verilmemiştir.

Sonuç olarak, halkın çoğu Three Mile Island'ın felakete yaklaştığı yolundaki yanlış inancı sürdürmektedir. Tartışması hâlâ devam eden ve her yıl dönümünde TV özel programlarını da içeren kazayla ilgili yayınlarda konuyu açıklığa kavuşturmak için birçok fırsat çıkmıştır; ancak nedense basın mensupları bunun pek o kadar önemli olmadığı görüşündedirler. Onlara bu konuyu tartışmak için yüzyüze bir görüşme önerdim ve aldığım cevap burun kıvrımayla birlikte



Şekil 10: Bir Westinghouse reaktörünün çelik çubukla güçlendirilmiş kuma kabuğu yapısı üzerinde bir inşaat işçisi



Şekil 11: Bir Westinghouse Nükleer Reaktörü

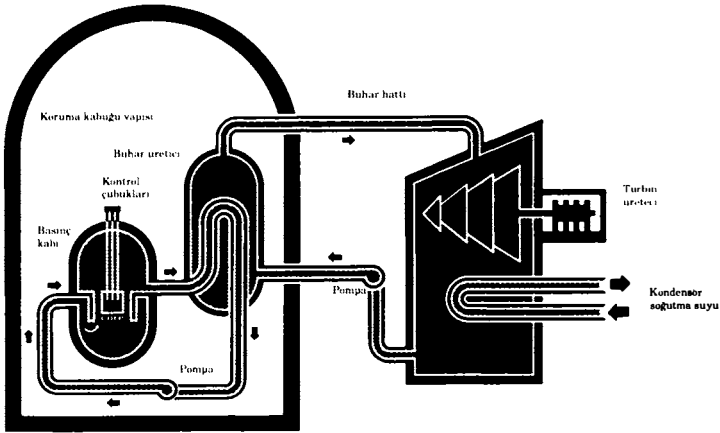
“belki yapabiliriz” şeklinde bir yorumdu. Ben şahsen, bunun felakete yaklaşmış bir kaza olmadığını halka söylemeyeceklerinden eminim; çünkü bu, onların büyük hikâyelerinin sonu demek olacaktır.

Kor Erimesine Giden Yollar

Kor erimesi kazasını anlayabilmek için konunun kökenine inmeliyiz. Bir nükleer güç reaktörü temelde, yakıttaki fisyon sürecinden gelen ısıyı yayan bir su ısıtıcısıdır. Yakıtı saran suyu ısıtır (bkz. Şekil 11) ve sıcak su da buhar elde etmek için kullanılır. Buhar da, termik santraller ya da petrol yakan güç istasyonlarında olduğu gibi, elektrik gücü üreten (bkz. Şekil 12) jeneratörü (dinamo da denir) döndüren bir türbini çalıştırmak üzere kullanılır. Nükleer su ısıtıcılarını, bodrumlarımızda bulunan ısıtıcılardan ya da endüstriyel alanlarda çeşitli amaçlar için buhar üreten termik ya da petrol yakan santrallerin kazanlarından ayıran özellikleri vardır.

Öncelikle, yanma sonucu oluşan atıklar, bir bacadan çıkmaz, ya da dibe kül olarak çökmez; bunun yerine yakıt içinde kalır ve bu da yakıtın orijinal şeklini ve büyüklüğünü muhafaza eder -nükleer yakıt kül haline gelmez ya da kömür ve petrol yakıtlarında olduğu gibi gaza dönüşmez. İkinci olarak da bu atıklar radyoaktiftir, yani radyoaktivite yayarlar. Üçüncü olarak, radyoaktivitelerinden dolayı bu atıklar reaktör durdurulduktan sonra bile yakıtı ısıtmaya devam ederler [6]; dolayısıyla da bu ısıyı çekmek için su sağlama devam etmek zorunludur.

Herhangi bir sebepten dolayı, bu ısıyı çekecek su yoksa -buna soğutucu kaybı kazası (LOCA, Loss Of Coolant Accident) denir- yakıtın sıcaklığı yükselecek ve sonunda da eriyecektir. Buna “kor erimesi” denir. Kor erimesi, içeride tecrit edilmiş olan radyoaktiviteyi dışarı çıkarır. Bu radyoaktivitenin bir kısmı, halk sağlığını tehdit edebilecek bir potansiyele sahip olan, havayla taşınabilir toz olarak çevreye yayılır. Eğer reaktörde yeterli miktarda su bulunmuyorsa durum daha da kötü olabilir; çünkü buhar yüksek sıcaklıkta



Şekil 12. Bir basınçlı su reaktörü güç santralinin diyagramı (oldukça basitleştirilmiştir). Reaktördeki fisyon reaksiyonlarından çıkan enerjiyle su 320°C 'a kadar ısıtılır (yüksek basınç muhafaza edilerek suyun kaynaması önlenir) ve ısısının ikincil bir su sistemine aktarıldığı bir buhar üreticisine pompalanır. Üreticinin içindeki su, burada, türbini çevirecek olan buharı elde etmek için kaynatılır. Türbin, elektrik üreten jeneratörü çalıştırır. Türbinden çıktıktan sonra basıncını düşürerek buharı suya yoğunlaştırmak şarttır -aksi halde buhar türbinin içinden geçerek çalışmasını sağlayamaz. Buhar, kondensör içinde, dışardaki herhangi bir kaynaktan sağlanan suyla soğutulur. Buharın yoğunlaştırılması ile elde edilen su, yeniden kullanılmak üzere buhar jeneratörüne pompalanır.

(1500°C) yakıt kaplama malzemesi ile kimyasal reaksiyona girer ve bundan da daha fazla ısınmaya neden olan, dolayısıyla da yakıtın erime sürecini hızlandıran yanıcı ve potansiyel olarak patlayıcı bir gaz olan hidrojen çıkar.

Reaktör güvenliği analizcileri tarafından hazırlanan senaryoların çoğunluğunda bir LOCA, büyük bir borunun bir anda kırılarak, reaktörün soğutucu suyunun boşalmasına neden olması sonucu başlar. Bu hiç olmamıştır, ancak bölümün daha ilerisinde konuyu ayrıntılarıyla inceleyeceğiz. Three Mile Island kazasında [8] LOCA, bir vananın kapanmaması ve bu sırada operatörlerin yapılan ölçümleri yanlış yorumlamaları nedeniyle onun kapalı olduğunu sanmaları sonucu oldu. Bir tahmine göre, eğer su açık vanadan 30-60 dakika daha kaçsaydı bir kor erimesi olabilirdi.

Three Mile Island bir kor erimesine ne kadar yaklaştı? O sıralarda ölçümler, birçok alışılmamış değerler veriyordu. Açıkça, çok garip bir şeyler oluyordu. Konuyu bilen birkaç kişi ne yapmak gerektiğine karar vermeye çalışırken, birisi bir yardımcı vanayı (su bundan kaçıyor), kapatmayı önerdi. Vananın kapanmasından bir dakikadan daha az bir süre sonra, bir başka uzmanın evinden gelen telefonda da [2] bu vananın kapalı olup olmadığı soruluyordu. Bir kişinin doğru olanı yapmaya karar vermesi sonucu kor erimesinin şans eseri atlatıldığı iddiasında bulunulamaz. Eğer ikincisinin de aklına vanayı kapatmak gelmeseydi, başka birinin aklına geleceğini kanıtlamak zordur, ancak birçok kişi, bilgilerin analiziyle uğraşıyordu ve bir kor erimesi olmadan önce birçok ipucu oluşacaktı. Bazı analizler, vana kapatılmamış olsaydı bile bir kor erimesinin olmayacağını gösteriyor; çünkü pompalanabilecek küçük bir miktar su vardı. Bunların dışında, kor erimesini engelleyecek başka işlemler de vardı (acil durum soğutucu suyunun reaktöre girmesine izin vermek gibi). Ancak bu akış durdurulmuştu²⁰, çünkü operatörler aletlerin ölçümlerini yanlış değerlendirerek reaktörün içinde çok fazla su olduğuna karar vermişlerdi.

Her durumda, sık sık basında yer alan ve halkı ürkütmek için kullanılan “Three Mile Island kazasının bir kor erimesine 30 ila 60 dakika civarında yaklaştığı,” şeklindeki ifadenin, istenilen etkiyi yaptığı görülmektedir. Bunun neden işe yaradığını merak ediyorum. Eğer hız limitinin olmadığı bir otoyolda gidersek, hiçbir şey yapılmazsa -yani, direksiyon doğru zamanda çevrilmezse- her virajda ölüme birkaç saniye kalmaktadır. Unutmayınız ki bir kor erimesi olsaydı bile, bunun büyük bir olasılıkla sağlığı etkileyecek hiçbir sonucu olmazdı, çünkü radyoaktivite içeride tutulacaktı.

Three Mile Island kazası sonucunda, ölçüm düzeneklerinde, operatörlerin bilgilendirilmelerinde ve eğitimlerinde büyük gelişmeler olmuştur. Bugün, bir mühendisin sürekli reaktörde bulunması şartı vardır; böylece bir daha ölçümlerin yanlış yorumlanması sonucu LOCA olmayacaktır. Bir kor

erimesine gidecek yolun da böylelikle tıkanmış olması nedeniyle tekrar en muhtemel yola, sistemdeki suyun kaçmasını sağlayacak bir kırık konusuna geri dönebiliriz. Sıcaklık ve basıncın normalde çok yüksek olması (tipik olarak 320°C ve 150 atmosfer) nedeniyle, su buhara dönüşerek “buhar boşalması” (blowdown) benzetmesi ile adlandırılan şekilde kırıktan fışkırır. Bir kor erimesinin -ya da buhar boşalmasının- karşısındaki ilk güvenlik hattı, sistemin bu şekilde kırılmasına engel olacak bir dizi önlemdir [10,3].

Bu önlemlerden biri, malzeme ve işçilik konusunda, özenli ve diğer sanayi alanlarındakinden çok daha üstün bir kalite kontrolüdür. En kaliteli malzeme ve donanımın seçiminde ve sistemin güvenliğiyle ilgili parçalarda en zorlayıcı şartların sağlanmasında hiçbir çaba ve masraftan kaçınılmaz. İkinci önlemse, her kaynağın X ışınlarıyla incelenmesini, manyetik parçacıklar ve ultrasonik tekniklerle inşa sırasında kontrolü, daha sonra da reaktörün çalışmaya başlamasını takiben periyodik ultrasonik ve görsel incelemeleri içeren özenli denetleme programıdır. Görsel kontrol, örneğin, yalıtımın borudan ayrılıp kusurların ya da çatlama belirtilerinin aranmasını içerir. Bu kontroller sonucu bulunan bir sorun, “aşınma çatlama”, bu bölümün son kısmında tartışılacaktır. Üçüncü bir önlem de, çeşitli kaçak tespit sistemleridir: genelde büyük bir kırık, bir miktar suyun ve onun içerdiği radyoaktivitenin kaçmasına izin verecek küçük bir çatlaktan doğar. Sızan su çıkarken buhara dönüşür (sıcaklığı 320°C civarındadır), nemi artırır; sisteme bu nem artışını hissedecek aletler yerleştirilmiştir. Sızan suyla çıkan radyoaktif maddelerin çoğu, havanın içerdiği tozlara yapışır ve tozdaki radyoaktivite artışını tespit edecek aletler bulunmaktadır. Artan nemi ve tozdaki artan radyasyonu ölçen bu sistemler, kaçaklara karşı duyarlı göstergelerdir; sistemdeki olası kırılmalara karşı erken uyarı görevini gerçekleştirirler.

Bu önlemler sayesinde şimdiye kadar bir reaktör sisteminin kırılıp bir LOCA'ya yol açması durumu gerçekleşmemiştir. Ama olsa bile, ikinci bir güvenlik hattı hazır beklemek-

tedir. Bu, acil durum kor soğutma sistemidir. ECCS (Emergency Core Cooling System), bir buhar boşalması durumunda soğutma suyu kaybedilirse reaktöre su verecek ayrıntılı bir sistemler kompleksidir. Bunu yapmak için birkaç ayrı pompalama sistemi vardır ve birçok durumda bir tanesi reaktörü korumak için yeterli suyu sağlayacak kapasiteye sahiptir -tüm durumlarda ikisi yeterlidir. ECCS hakkında daha fazla bilgi İlaveler'de verilmiştir. Bu pompaları çalıştıracak elektrik gücünün kaybını engellemek için, saha dışı kaynaklardan iki ayrı güç hattı santrale getirilmiştir ve bir tanesi dahi ihtiyaç duyulan elektriği sağlayacak güçte, birkaç dizel jeneratör vardır. Yani, bir LOCA durumunda bu sistemlerin ihtiyaç duyulan suyu sağlamama olasılığı çok küçüktür.

ECCS'ten gelen suyun ilk kısmı, sıcak yakıta ulaştığında hemen buhara dönüşür. Bir aralar bunun, gerideki suyun yakıta erişip soğutmasını engelleyeceği düşünülmüştü. 1970-71'de küçük modeller üzerinde yapılan ilk testler, durumun böyle olacağını göstermiş; sorun, basında çok geniş ölçüde yer almıştı [12]. Bu sorun çözüme kavuşuncaya kadar reaktör lisanslamaya ara verilmesini isteyen nükleer enerji karşıtı Duyarlı Bilim Adamları Birliği'ni (UCS, Union of Concerned Scientists) üne kavuşturan da bu olaydır [13]. Sonuçta, Washington'da 1972-73 yıllarında bir yıl süren bir dizi oturum yapıldı. Tabii TV kameraları, UCS yanlıları konuşurken doluşup, diğer görüş sunulduğunda kayboluyorlardı. En azından toplumun bazı kesimleri sürmekte olan tartışmayı tek taraflı olarak dinlemiş oldu. Ev kadınlarından mühendislere kadar, ECCS'nin neden hiçbir zaman çalışmayacağını bazı teknik ayrıntılarla birlikte bana anlatmaya çok hevesli insanlarla karşılaştım.

Oturumların sonunda, bir LOCA durumunda ECCS'den istenilen performans düşürecek geçici bir önlem olarak, bir dizi değişiklik reaktör işleyiş programına girdi ve ani bir araştırma programıyla karara bağlanmış sorunları halletmek için yüz milyonlarca dolar sarf edildi. 1976-1978 yılları

arasında daha yetkin deneysel testler ve bilgisayar analizleri geliştirildiğinde, ECCS'nin çalışacağı kesin olarak anlaşıldı. 1971'de yapılmış olanlardan çok daha gerçekçi ve yetkin 50'nin üzerinde test gerçekleşti ve hepsi de olumlu sonuçlar verdi. 1978'de ECCS'yi test etmek üzere özel olarak LOFT denen (Loss Of Fluent Accident: Soğutucu Kaybı Kazası) bir test reaktörü tasarlanarak Idaho Nükleer Mühendisliği laboratuvarında çalıştırıldı; reaktör, çeşitli LOCA durumları için devreye sokulduğunda, sorun tamamen çözülmüş oldu. Her türlü durumda ECCS, tahmin edilenden daha iyi sonuç verdi [14]. Örneğin ilk LOFT testinde bilgisayar analizinin yaptığı en iyi tahmin maksimum 740°C idi; güvenlik analizleri için kullanılan konzervatif hesaplamalar, 1100°C sonucunu verdi. Ancak ölçülen en yüksek sıcaklık yalnızca 515°C idi. Oldukça farklı koşullarda gerçekleştirilen ikinci LOFT testi sırasıyla 740°C, 1210°C, 640°C sonuçlarını verdi. Bu örnekler, güvenlik analizlerinde “en iyimser tahminlerin” yerine genelde konzervatif tahminlerin kullanıldığını da gösterir. Bu iyi bir mühendislik uygulamasıdır; ancak böyle tahminleri halkı korkutmak için kullananlar tarafından genellikle bilinmez.

Sorunun ortaya çıktığı zamanlarda konuyla ilgili çok fazla yayın yapıldığından; sonuçla ilgili en azından bir tane yayın yapılmış olması gerektiği düşünülebilir; yapıldıysa bile benim haberim yok. Bana hâlâ sık sık ECCS'nin çalışmayacağı söyleniyor. LOFT testlerinin sonuçlarına dikkat çektiğimde de aldığım kaçınılmaz yanıt “Bundan hiç haberim yoktu,” oluyor. ECCS'nin çalışmayacağı iddiaları ile adını duyurmuş olan Duyarlı Bilim Adamları Birliği (UCS), ECCS testlerinin tam bir başarısızlık olduğunu ifade eden broşürleri [15], 1979'a kadar yani yakın bir tarihe değin hâlâ yayınlıyordu. Bu şekilde yorumlanabilecek en son test 1971'de yapılmıştı; ancak onlar 1973-1978 arasında yapılmış düzinelerce daha iyi testi dikkate almayı reddettiler. Hatta o sıralarda tamamlanmış son birkaç kesin LOFT testini bile göz ardı ettiler.

ECCS'nin kor erimesini engelleyemeyeceği bir tür LOCA, reaktör kabının altında bir çatlağın oluşması sonucu ECCS'nin enjekte edeceği suyun buradan akıp gideceği durumdur -bu boru çatlamları ile ilgili bir durum değildir; çünkü tüm önemli borular kaba yukarıdan girer. Bu sorun üzerinde İngilizler, kendi tiplerinden Amerikan tipi reaktörlere geçiş yaptıklarında yoğun olarak inceleme yapmış ve bunları tamamlamışlardır[16]. Kullanılan malzeme çok kalın (bkz Şekil 11) ve yüksek kalitede olduğundan, reaktör kabında geniş bir çatlak olması ihtimali yok denecek kadar azdır. Ayrıca reaktör kabının yüksek kalitesinin korunduğundan emin olmak için de incelikli bir araştırma programı yürütülmüştür[4]. Bu bağlamda, potensiyel bir sorun olan "basıncılı termal şok"a da basında büyük ölçüde yer verildi. Bu bölümde daha sonra bu konudan da bahsedilecektir.

Erimeye neden olabilecek yolların engellenmesi için her türlü çaba sarfedilmiş de olsa, yine de, bahsetmiş olduğumuz savunma hatlarında peşpeşe gelecek bozuklukların neden olacağı, erimeye yol açabilecek bir olasılık her zaman vardır. Ya da belki bu sorun üzerinde harcanmış binlerce insan yılını kapsayan teknik çabaya karşın, erimeye neden olabilecek meçhul bir yol kimsenin aklına gelmemiştir. Eğer nükleer enerji başarılı bir sanayi dalı haline gelirse; bir gün büyük olasılıkla bir yerde, bir kor erimesi olacaktır. Ancak eğer böyle bir şey olursa ve olduğu zaman, son bir savunma hattı daha vardır: koruma kabuğu. Kabuk, halkı birçok durumda gelecek zararlardan koruyacaktır. Şimdi bu savunma hattının güvenilirliğine bir göz atalım.

Koruma Kabuğu Ne Kadar Güvenlidir?

Eğer reaktör sistemi kırılarak açılırsa, içerdeki su ve buhar, koruma kabuğu içine akar. Su, içeriye acil kor soğutma sistemi ile pompalandığında, bir kısmı taşar ve yakıtın çevresini sardığında da sıcaklıktan dolayı buhara dönüşerek çatlak kısımdan geçer ve koruma kabuğu içine gider. Böylece de zemindeki çok miktarda fazladan su ile birlikte koru-

ma kabuğunun buharla dolması beklenir. Bu, hemen hemen tüm potansiyel soğutucu kaybı kazaları için geçerlidir; Three Mile Island kazasında olduğu gibi, sistem kırılarak açılmasa bile. Buna ek olarak, buharın yakıt kabıyla kimyasal reaksiyona girmesi ve bu reaksiyonlar sırasında üretilen hidrojenin yanmasıyla, yakıttaki radyoaktivite su ve buhara aktarılır.

Koruma kabuğunun güvenliğine gelebilecek en büyük tehdit, bu ısının buhar basıncını, koruma kabuğu duvarlarının dayanma gücünü aşacak kadar, yani normal atmosfer basıncının 10 katı kadar artırmasıdır.

Bu tehditi önlemek için koruma kabuğunun atmosferini soğutacak sistemler vardır [4,17]. Böyle sistemlerden biri, buharı yoğunlaştırmanın en etkin yollarından biri olan, havaya soğuk su püskürtmedir. Sistem kendi su kaynağını tükettiğinde koruma kabuğu zemininden su alır, soğutur ve bunu koruma kabuğu içindeki havaya püskürtür. Bir başka tip sistem de, koruma kabuğu havasını vantilatörler aracılığıyla soğuk suyun sirküle ettiği tüplerin üzerinden üfler. Genel olarak bu sistemlerden 5 tane bulunur; ancak yalnızca birinin (ender durumlarda belki ikisinin) koruma kabuğunun soğutulduğundan emin olunması için çalışır durumda olması yeterlidir. Birçok durumda bu sistemlerden biri, elektriğin kesilmesi gibi durumlar için dizel motorla çalıştırılır. Koruma kabuğu soğutma sistemiyle ilgili daha nicel işlemler İlaveler kısmında mevcuttur.

Güvenlikle ilgili olduklarından bu sistemler, fabrikasyonda incelikli kalite kontrolüne tabi tutulurlar ve sık sık da incelenip test edilirler. Bu durumda bu sistemlerin en azından çoğunun bir kaza anında uygun şekilde çalışacağını kabul etmek mantıklı görünmektedir. Three Mile Island kazasında hepsi de çalışıyordu “Kor crimesi olmuş olsaydı bile koruma kabuğu radyoaktivite kaçığını önleyecekti” sonucuna varılmasının nedeni de budur.

Koruma kabuğunun kırılarak açılmasına neden olabilecek iki diğer mekanizmadan daha önce bahsedilmişti. Bunlar-

dan biri, önemli ölçüde araştırma konusu olmuş [17] ve “Çin Sendromu” adlı bilim kurgu filminde geniş yer verilmiş olan buhar patlamasıdır. Bir kor erimesi kazasında olabilecek en kötü durum, eriyen yakıtın reaktör kabının dibindeki bir su havuzuna akması ve bunun çok ani ve çok fazla buhar çıkarması sonucu reaktör kabının tepesinin çok büyük bir güçle fırlayıp uçarak koruma kabuğu binasının tepesini kırmasıdır. Bunu yapabilecek kadar güçlü bir patlamanın olabilmesi için, yüzbinlerce ton erimiş yakıtın kolye boncukları kadar küçük parçalara ayrılıp; bunların yarısının da yarım saniye içinde, aynı anda suya değmesi gerekir! Bu oldukça uzak bir olasılıktır; çünkü yakıtın suya saniyeler veya dakikalarla ifade edilebilecek bir zaman aralığı içinde büyük parçalar halinde düşmesi çok daha olasıdır. Son zamanlarda yapılan daha titiz çalışmalar sonunda buhar patlaması, çoğu analizi tarafından, koruma kabuğunu kırarak olası yolların dışında tutulmaktadır.

“Çin Sendromu”nda eriyen yakıtın toprağa değin akıp; yeraltındaki suyla temas etmesini sağlayacak kadar güçlü bir patlamanın olabileceği ima ediliyordu. Bu kesinlikle gerçek dışıdır; çünkü yukarıda anlatılanlardan sonsuz derecede daha aşamalı bir olaydır. Bir bilim kurgu filminin gerçekçi olmasına gerek yoktur şüphesiz; ancak seyircinin de bunu dikkate alması gerekir.

Film, kor erimesi kazasını takiben yeraltı suyu kirlenmesinden de bahseder. Bununla birlikte erimiş yakıt ilk olarak yeraltı suyuna ulaştıktan sonra yeraltı suyu buharlaşacak ve ortaya çıkan basınç da geriye kalan suyu uzaklaştıracaktır. Böylece, erimiş yakıtın soğuyup katılaşacağı günler sonrasına kadar çok az temas olacaktır. Sonra yakıt, su içinde çözünmeyen camsı bir kütle haline gelecek ve çok az yeraltı suyu kirlenmesi olacaktır. Eğer bu bir sorun olarak görülürse, radyoaktiviteyi yeraltı suyundan izole edecek kalıcı bariyerler kurmak için yeterince çok zaman vardır. Yeraltı suyu kirlenmesinden dolayı olumsuz sağlık etkilerinin ortaya çıkacağı bir durumu hayal etmek hayli zordur.

Koruma kabuğunun kırılmasına yol açacak olası diğer bir mekanizma, araştırmalar için çok büyük ilgi odağı oluşturmuş ve Three Mile Island kazasıyla kötü bir üne kavuşmuş olan hidrojen patlamasıdır. Araştırma sonuçlarına göre bir kazada açığa çıkacak olan hidrojenin hepsi bir anda patlasa bile ortaya çıkacak zorlama gücü, Three Mile Island'daki de dahil olmak üzere birçok koruma kabuğunu kırmaya yetmeyecektir [18]. Zaten hidrojen, aşamalı olarak açığa çıkacaktır ve onun bir dizi yangın ve/veya koruma kabuğunu tehdit etmeyecek küçük patlamalar halinde yanmasını sağlayacak birçok kıvılcım kaynağı (elektrik motorları gibi) vardır. Three Mile Island kazasında da böyle küçük bir patlama olmuştu.

Kırksekiz Amerikan Basınçlı Su Reaktörü'nden (PWR) üçünün koruma kabuğunda kaza sırasında buhar basıncını düşürmek için çok büyük hacimlerde buz vardır. Buzun varlığı, koruma kabuğu çevresini soğutma ve böylece yüksek buhar basıncından kaçınma konusunda başarısız olması imkansız bir sistem oluşturduğundan, koruma kabuğu duvarlarının çok güçlü yapılmasına ya da hacmi çok geniş tutmaya gerek görülmemiştir. Böyle koruma kabukları bir hidrojen patlamasına karşı daha dayanıksızdır [18] ve dolayısıyla büyük miktarlar birikmeden önce hidrojenin yanmasını sağlamak için sayısız kıvılcım çıkarıcı aletle donatılmışlardır [19].

Kaynar Su Reaktörlerinin (BWR: Boiling Water Reactor) koruma kabukları hacim olarak basınçlı su reaktörlerininkinden çok daha küçüktür; dolayısıyla bir hidrojen patlamasının yaratacağı basınca karşı çok daha dayanıksızdır. Bu nedenle koruma kabuğu içinde hava yerine bir asal gaz bulunması gereklidir [18,20]. Böylece de ortamda hidrojenin birleşebileceği oksijen gazı olmayacak ve hidrojen patması meydana gelmeyecektir.

Hidrojen patlamalarıyla ilgili olarak hâlâ anlaşılamamış noktalar vardır ve bu konuya ayrılmış birçok araştırma da mevcuttur [21]; ancak tüm belirtiler bunun ciddi bir konu olmadığını gösterir. Eğer yeni bulgular tersini gösterirse, teh-

likeleri azaltacak koruyucu önlemlerin alınması olasıdır. Tabii koruma kabuğu içindeki patlamalar, duvarları çatlatmasa da, donanımına zarar verebilir ve sorunlara yol açabilir. Örneğin ısı çekme sistemlerinin tümünü çalışmaz hale getirirse, koruma kabuğu buhar basıncıyla kırılabilir. Bununla birlikte birçok ayrı sistemin çalışmaz hale gelmesi olasılığı çok düşüktür.

Bu kısımda ve öncekinde tanımladığımız korkunç bir kazayı önlemeye yarayan sistemlerin reaktör güvenliğinde rehber ilke olan bir “savunma boyutu” vardır. Kalite garantisi bozulursa, denetimler doğal olarak güvenliği sağlar. Denetim programları bozulursa, kaçak kontrolü korumayı sağlar. O bozulursa ECCS sistemleri devreye girer. ECCS de bozulursa koruma kabuğu halka zarar gelmesini engeller. Zaten bu sistemlerin her birinin kendi savunma boyutu vardır. Örneğin ECCS’nin su enjeksiyon sistemlerinden biri bozulursa diğeri onun işini yapabilir; eğer ikisi de bozulursa bir üçüncüsü yeterli su sağlayabilir.

Bazen “reaktörler herşey yolunda gittiği sürece güvenlidir; ancak bir donanım parçası bile bozulur veya bir operatör hata yaparsa sonuç felaket olur,” şeklinde ifadeler duyarsınız. Bu ifade, kesinlikle YANLIŞTIR. Bir reaktör tasarlanırken herşeyin kötü gideceği varsayılır -borular kırılacak, vanalar kapalı kalacak, motorlar bozulacak, operatörler yanlış düğmeye basacak, vs, vs; fakat bu kusurlu işleyişleri ya da peşpeşe gelen bir dizi kusurlu işleyişi giderecek bir “savunma boyutu” vardır.

Savunmanın boyutu sonsuz değildir şüphesiz. Eğer savunmanın her hattı, birbiri ardına yıkılırsa bir felaket olabilir. Ancak savunma boyutu artırılmakta olduğundan, bunun olasılığı da hızla düşmektedir. Her bir savunma hattının, bir deste karıştırılmış oyun kağıdının içinden maça asını çekmek kadar bozulma olasılığı varsa -elli ikide bir-, peşpeşe beş savunma hattının bozulma ihtimali, maça asını iyi karıştırmış destenin içinden beş kez peş peşe çekmekle aynıdır: 52 x 52 x 52 x 52 x 52’de yani 380 milyonda bir!

Nükleer güç santrallerinde savunma hatlarından birinin çıktığı durumlar oldu. Bir vananın kapalı kalması ve dolaşısıyla da acil durum sistemlerinden birinin etkinliğini kaybetmesi gibi durumlarda gereken işlemler Nükleer Yönetmelik Komisyonu (NRC: Nuclear Regulatory Commission) tarafından ele alındı. Bu gibi durumlar, basında kor erimesine neden olabilecek hatalar gibi gösterildi. Ancak basın bu olaylarla kor erimesi arasında daha bozulmamış birçok savunma hattı bulunduğu konusuna hiç dikkat çekmez -kor erimesi durumunda hâlâ bir ana hattın, koruma kabuğunun, bulunduğunu belirtmeye gerek yok. Bu noktaları belirtmek, hikâyelerinin itibarını düşürürdü tabii -basının genel tutumu, durumu tanımlayan yazılardan sonra halka bir kor erimesi kazasının “son felaket” olduğunu hatırlatmaktır.

Olasılıklar

Bir reaktör kor erimesi kazasının tehlikelerini hesaplar-ken, kendimizi yine olasılık kanunları ile yönetilen bir şans oyununun içinde buluruz. Fazladan savunma hatları ekleyerek ya da var olanları geliştirerek, ciddi bir kaza olasılığını düşürebiliriz; ancak bunu asla sıfıra indiremeyiz. Bunun mutlaka rahatsız edici olması gerekmez; çünkü zaten kaybettiğimizde felaket sonuçlar doğuracak sayısız diğer oyuna dahiliz -depremler, kasırgalar, yangınlar, savaş, kıtlık, salgın hastalıklar, zehirli kimyasalların açığa çıkması, sel baskını bunlardan bazılarıdır. Aslında bu yeni şans oyununa katılmak, bizi alternatif yolların getireceği risklere girmekten korur. Dolayısıyla da toplam riski azaltabilir. Bir nükleer güç santrali kurmak, bizi bir eksiklik durumunda felakete yol açacak bir hidroelektrik santrali kurma gereksiniminden kurtarır ya da havayı korkunç derecede kirletecek bir termik santral kurmamızı engeller. Burada önemli olan sorun, felaket yaratacak bir kor erime kazasının olma *olasılığıdır*.

Bu soruyu yanıtlamak için birkaç çalışma yapılmıştır. Bunlardan en bilineni, ABD Nükleer Yönetmelik Komisyonu'nun (NRC) destekleyip; MIT'den (Massachuessetts Insti-

tute of Technology) bir öğretim görevlisi olan Dr. Norman Rasmussen'in yönettiği çalışmadır [7]. Bu, 1975'de son raporunu vermeden önce, birkaç yıl süren ve düzinelerce bilim adamı ve mühendisin çalıştığı, 4 milyon doların üstünde bütçesi olan bir çalışmadır. Raporun belge kodu "WASH-1400", başlığı "Reaktör Güvenlik Çalışması"dır; ancak en çok "Rasmussen Çalışması" olarak bilinir. Burada, İlaveler'de anlatılacak olan "hata ağacı analizi" adında bir yöntem kullanılmıştır. Çalışmanın tarihi 1975'le sınırlı değildir. Duyarlı Bilim Adamları Birliği (UCS) 1977'de kendi olasılıkları ile birlikte bu çalışmanın bir eleştirisini yayınladı; sonuçlarından bazılarını burada değineceğiz. California Üniversitesi'nden Profesör Herald Lewis tarafından hazırlanan, NRC'nin gerekli kıldığı bağımsız bir rapor 1978'de yayınlandı. Lewis Çalışması'nın en önemli bulgusu, 1975 Rasmussen Çalışması'nda verilen olasılıklardaki belirsizliğin belirtilenden daha fazla olduğu; ancak olasılıkların daha büyük ya da daha küçük olduğuna inanmak için bir sebep olmadığıdır. Lewis Çalışması, Rasmussen Çalışması ile birlikte basılan 12 sayfalık "İdari Özeti" de kabul etmedi. NRC, Lewis Çalışması'nın raporunu 1979 yılında kabul etti. Biz de Rasmussen Çalışması'nı kaynak aldığımız kısımlarda idari özeti ve belirsiz tahminleri kullanmayacağız. Batı Almanya Hükümeti'nin ve İsveç Hükümeti'nin yaptığı birer çalışmayı da kapsayan daha yeni reaktör güvenliği çalışmaları da yapılmıştı. Onlar da oldukça benzer bir metodoloji kullandılar ve nüfus dağılımı farklılıkları göz önünde bulundurulduğunda vardıkları sonuçlar, Rasmussen Çalışması'nın sonuçlarından pek farklı değildi.

Tehlikeyi, Rasmussen Çalışması'nda varsayılabilecekleri göre oldukça aza indiremeyen yeni bilimsel ve teknik gelişmeler oldu. Rasmussen, bir kor erimesini takiben koruma kabuğunun yıkılma veya kaçığa engel olamama olasılığını %30 olarak bulgular. Bu da bizim anlattıklarımıza ve İlaveler kısmındakilere göre oldukça yüksek bir rakamdır. Bunun nedeni de Rasmussen'in buhar patlamasını, bugün hiçbir güven-

lik analizcisinin koruma kabuğunu kırmak için inanılır kabul etmediği kadar büyük bir ağırlıkta varsaymasıdır. Ayrıca Rasmussen, iki vananın bozulması sonucu koruma kabuğunun kaçağa engel olamayacağını varsaydı ve sonuç olarak sorun oldukça abartıldı. Koruma kabuğunun yıkılması veya kaçağa engel olamaması konusunda yapılan daha modern bir değer hesabına göre bu olasılık %1-%3 arasındır [24].

Öte yandan, kor erimesinin Rasmussen Çalışması'nın tahmin ettiğinden daha olası olduğunu gösteren yeni bilgiler mevcuttur. Bu çalışmada gözden kaçan bazı sorunlar, daha ileri analizler ya da reaktörlerdeki işleyiş deneyimi sonucu açıklığa kavuştu. Örneğin, artık sel basması ve depremlerin olası sonuçlarına daha çok önem verilmeye başlandı; bazı santrallerdeki tasarım hataları bulundu; donanımlardan bazılarının daha az güvenilir olduğu anlaşıldı ve santraller üzerinde ayrı ayrı yapılan çalışmalar, bunların çalışma sırasında göz önüne alınmayan özel zayıflıkları olduğunu ortaya çıkardı. Tüm bunlar göz önüne alındığında Rasmussen Grubu'nun kor erimesi olasılığını 10 kez daha düşük hesapladığı ortaya çıkar. Aşağıda da anlatılacağı gibi bu, işletme deneyimi açısından olabilecek en yüksek eksik hesaplama oranıdır. Bu tablo kor erimesinin birkaç kez daha olası olduğunu gösterir; ancak koruma kabuğunun başarısız olma olasılığı da Rasmussen Çalışması'nın bulguladığından birkaç kez daha küçüktür.

Ancak asıl önemlisi, erime sonrası çıkan radyoaktif malzemenin kimyasal davranışındır. Bazı elementlerin, özellikle iyotun ve sonra sezyum, teleryum, rubidyum, stronsiyum ve baryumun çok uçucu olan kimyasal formları vardır. Rasmussen Çalışması yapıldığı sırada, bir kor erimesi kazası sırasında ne tür kimyasal formların ortaya çıkacağı pek bilinmiyordu. Böylece tehlike riskini düşük hesaplamaktansa, bu elementlerin çoğunlukla uçucu formlarında olacağı varsayıldı. Three Mile Island kazasında açığa çıkan radyoaktif iyotun, bu varsayım esas alınarak elde edilen sonuçtan binlerce kat daha az olduğu anlaşıldığından Rasmussen Çalışması'nın so-

nucundan şüphe edilmişti. Dolayısıyla incelemeler yapıldı ve büyük miktarda suyun mevcut olduğu her durumda, bu potansiyel olarak uçucu elementlerin suda çözünebilen formlar aldıkları ve uçuculuklarını kaybettikleri anlaşıldı [25]. Bu gazlara yakın bir örnek de deniz suyunda çok bulunan klorürdür. Klor gazı son derece uçucu ve zehirlidir -1. Dünya Savaşı'nda zehirli gaz olarak da kullanıldı. Eğer deniz suyundaki klor uçucu formda olsaydı, deniz kenarında yaşamak imkansız olurdu -Boston, New York, Miami, New Orleans, Los Angeles, San Francisco, vs. yaşanmaz olurdu. Ancak neyse ki deniz suyundaki klor sodyum klorür formundadır; yani yiyeceklerimize koyduğumuz, uçucu olmayan sofraya tuzdur. İyot kimyasal olarak klora benzer. Kaza durumunda bunun sofraya tuzuna benzer formlara dönüştüğüne dair birçok deneysel bulgu vardır. Uçucu olduğu varsayılan diğer elementler için de aynı şekilde olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Bu bulgular oldukça yenidir; lisanslama ve risk analizlerinde kullanılmak üzere Nükleer Yönetmelik Komisyonu (NRC) tarafından kabul edilmeleri biraz zaman alacaktır. Çok yakın bir gelecekte yürütülecek olsalar da biz, Rasmussen Çalışması sonuçlarına yer vereceğiz.

Rasmussen Çalışması'na [7] göre bir kor erimesi kazası, reaktörün her yirmibin yıllık işleyişinde bir olasılığa sahiptir; oysa nükleer karşıtı etkinci grup UCS [21] bunu her iki bin yılda bir olarak belirtir. Dünyada bin yılın üzerinde uygulamalı ticari reaktör, üçbin yıllık da donanma tipi reaktör işleyiş²¹ olmuştur. Kor erimesi dışında bunların sorunları oldukça benzerdir. Eğer UCS'nin hesaplamaları doğruysa şimdiye dek bir kor erimesi olmadığı için şanslıyız demektir. Oysa Rasmussen'in tahminine göre bunun şimdiye dek olma olasılığı yüzde yirmidir.

Rasmussen tahminlerine göre, soğutucu kaybı kazasının (LOCA) sıklığı 2,000 reaktör yılı işleyişte birdir. 4,000 yıllık sivil ve askeri reaktör işleyişinden sonra yalnızca bir LOCA görülmüştür: Three Mile Island. Yani Rasmussen Çalışması, bu olasılık konusunda fazla iyimser değildir.

Şimdi yine kor erimesinin sonuçlarına dönelim. Daha çok ayrıntı verdiği için burada, Rasmussen Çalışması sonuçlarını değineceğiz. Nükleer karşıtı etkinin UCS'nin [22] tüm sonuçları, kabaca 10 katıyla çarptığı söylenebilir.

Birçok kor erimesinde, koruma kabuğunun bütünlüğünü uzun süre koruması beklenir. Böylece ölüm oranı sıfır olacaktır. Beş kor erimesinden birinde, 1,000'den fazla ölüm olacaktır²². Her yüz kor erimesinden birinde 10,000'den fazla ve her 100,000 erimeden birinde neredeyse 50,000 ölüm olacaktır (her yıl motorlu taşıtlar yüzünden ölenlerin sayısı kadar). Tüm türleri göz önüne aldığımızda, her kor erimesinde 400 ölüm bekleriz; UCS tahmini [22] 5,000'dir. ABD'de termik santrallerin yol açtığı hava kirliliğinden yılda 10,000 ölüm olduğu varsayıldığından [26], nükleer gücün termik santraller kadar tehlikeli olabilmesi için yılda 25 kor erimesi olmalıdır ($10,000 \div 400 = 25$); ya da Rasmussen Çalışması'na göre ABD'de bir yerde, her iki haftada bir, nükleer karşıtı etkinin UCS'ye göre her 6 haftada bir kor erimesi olmalıdır. Ancak şimdiye kadar bir tek kor erimesi bile olmadığından, bu sıklıklarda kor erimesi kazası olması olasılığını kabul edemeyiz.

Tetkik edilebilir olmadığı için hava kirliliği sonucu olan ölümlerin pek endişe verici olmadığı konusu sık sık tartışılır ve "toplulu ölümler dışında, tek tek görülen ölümleri termik santrallere bağlayamayız" denir. Ancak aynısı nükleer reaktör kazaları sonucu görülen ölümlerin çoğu için de geçerlidir. Bunlar büyük bir nüfus içinde, kanser oranındaki düşük artışlar olarak kendilerini göstereceklerdir. Rasmussen Çalışması'nda düşünülen en kötü kazada bile, (10,000 kor erimesinde bir), 10 milyonluk nüfus içinde 45,000 kanserden ölüm vakası görülecek; yani her biri için risk %0.5 oranında artacaktır. Bu da kişinin kanserden ölüm riskini %20.5'ten %21'e çıkartacaktır. Bu risk, eyaletten eyalete, yukarıdakine göre çok daha büyük bir değişim gösterir -Colorado'da ve New Mexico'da %17.5, Kentucky, Tennessee ve Texas'ta %19, New York'ta %22 ve Cincinnati'de ve Rhode Island'da

%24- ve bu farklılık pek hissedilmez. Rasmussen Çalışması'nda göz önüne alınan ciddi kor erimesi kazalarının çoğunun ekledikleri de dahil olmak üzere, fazladan kanser riskinin asla farkedilir olmayacağını varsaymak da makul bir yaklaşımdır.

Eğer bir kazaya bağlı, *tetkik edilebilir* ölümlerle ilgileniyorsak, göz önüne alacağımız ölümleri, çok yüksek radyasyon dozlarından yani bir gün ya da daha kısa bir süre içinde alınan yarım milyon miliremlik dozdan doğan akut radyasyon hastalığı ile sınırlamalıyız. Bu bir ya da iki ay içinde ölüme yol açar ve oldukça ender görülen bir hastalıktır. İlk yıllarda ABD nükleer programları içinde buna bağlı dört ölüm görüldü; ancak son 15 yılda böyle bir ölüm vakasına hiç rastlanmadı.

Rasmussen Çalışması'na göre her yüz kor erimesinden 98'inde *hiç* tetkik edilebilir ölüm olmayacaktır; her 500 erimeden birinde yüzden fazla, 5,000 erimeden birinde 1,000'in üzerinde ve her yüzbin erimeden birinde 3,500 tetkik edilebilir ölüm olacaktır ²³.

Enerji ile ilgili olarak en yüksek sayıda tetkik edilir ölümün gerçekleştiği durum, Londra'da 1952'de meydana gelen ve 2,500 ölümün doğrudan, birkaç gün içinde ortaya çıkan kirliliğe bağlandığı bir hava kirliliği olayıdır [26]. Tetkik edilir ölümlere gelince, Rasmussen Çalışması'nda hayal edilen en kötü nükleer kazanın eşdeğeri -her yüzbin kor erimesinden birinde beklenen- zaten termik santraller yüzünden gerçekleşmiştir. Ancak bahsetmekte olduğumuz nükleer kazalar, varsayımsaldır ve eğer varsayımsal kazalar düşünmek istiyorsak çok yüksek etkiler elde etmek hiç de zor değildir. Örneğin ABD'de ani bir yıkılma sonucu 200,000'in üzerinde insanı öldürecek en azından iki hidroelektrik santral vardır [7]. Tüm bir şehri havaya uçurabilecek sıvılaştırılmış doğal gazla ilgili varsayımsal patlamalar mevcuttur. Eğer virüslerin taşınması ya da yayılması konusuna veya farkedilir kimyasal etkilere girecek olursak, rahatlıkla çok daha dehşetli senaryolar elde edebiliriz.

Bazen nükleer kazaların son derece seyrek görülebileceği; ancak gerçekleştikleri zaman da tüm bir teknolojiyi mahvedecek kadar tahrip edici oldukları söylenir. Yukarıdaki karşılaştırmaların sonucu olarak bu ifadenin “su götürür” olduğu açıktır. Öte yandan da her yıl, her biri açık olarak tetkik edilebilen 50,000 Amerikalı’nın ölümüne, bunun 10 katı kadar da insanın ciddi olarak yaralanmasına yol açan bir teknolojiyi kucaklıyoruz -motorlu taşıtları kastediyorum. Her on yılda bir kor erimesi olsa bile, bir nükleer güç kazası bu kadar çok insanı ancak bir milyon yılda bir kez öldürür.

Olası En Kötü Kaza

Burada ele almadığımız tek konu, “olası en kötü nükleer kaza”dır; çünkü böyle birşey yoktur. Eğer uğraşılsa, daha düşük olasılığa sahip olsa bile şimdiye kadar düşünülmüş olanlardan daha kötü bir olası kaza senaryosu yaratmak zor değildir. Ortalığa benzin saçılması sonucu tüm bir şehrin havaya uçtuğu ve içinde yaşayan tüm canlıların öldüğü bir durum düşünülenilir. Bunun için de su borularının donarak itfaiyecilerin yangınla savaşmalarını engellemesi, yol inşaatı yüzünden trafiğin sıkışması, itfaiyecilerin geçmesini engelleyecek trafik kazaları olması, yangından doğan ısının bazı standart olmayan gaz hatlarından kaçığa neden olması, sürekli yön değiştirerek yangının her yöne yayılmasına sebep olan güçlü bir rüzgar olması, tüm şehir alev aldıktan sonra dumanın yeryüzüne yakın kalmasına neden olacak güçlü bir atmosferik sıcaklık değişimi, çeşitli nedenlerle kapalı olan ve kaçış yollarını yok eden birçok köprü ve tünel olması, halkın yanlış yönlendirilmesi ve daha böyle pek çok olasılık dışı durumların biraraya gelmesi gerekir. Bu durumlardan her biri olasılık dışıdır; hele bunların aynı anda ortaya çıkması iyice olasılık dışıdır; ancak kesinlikle imkansız değildir. Eğer bunun, ortalığa benzin saçılmasının olası en kötü sonucu olduğu düşünülürse, kıvılcım sıçraması sonucu yangının, itfaiyecilerin yardım için diğer şehre gitmesi sonucu korumasız kalmış komşu şehirlere sıçraması duru-

muna ne denir acaba? Ya da sıhhi olmayan koşullarda korunan bir salgın hastalık virüsünün yangınla tüm ülkeye yayılması veya haberleşme ağında karışıklık olması ve yangından doğan yanlış anlaşmaların karşılıklı nükleer silah çatışmalarına yol açması gibi durumlara ne dersiniz? Ortalığa benzin saçılması gibi bir olayın *olası* kılacağı hasarların adeta sınırı yoktur. Ancak hayal edilen hasarlar arttıkça, bunların olması için gereken olasılık dışı durumların sayısı da artar; böylece de toplam olasılık gittikçe azalır. “Olası en kötü kaza” diye bir şey yoktur ve bunların düşük olasılıklarını hesaba katmaksızın ne gibi korkunç kazaların *olası* olduğunu düşünmek, tamamen aldatıcı sonuçlara götürecek komik bir alıştırmadır.

Aynı mantık sistemi nükleer kazalar için de uygulanır -ölümlere neden olacak kazalar *olasıdır*, ancak sonuçları ne kadar büyükse, olasılıkları da o kadar düşüktür. Rasmussen Çalışması’nda düşünülen, 50,000 kişinin ölümüne yol açacak en kötü kazanın olma olasılığı bir milyar reaktör yılı işleyişte biridir. Bir kişinin böyle bir kazaya kurban gitme olasılığı, yıldırım yüzünden ölme olasılığından 20,000 kez ve bir uçağın evine çarpması sonucu doğacak kazada ölmesi riskinden 1,000 kez daha azdır [7]. Akli başında hiç kimse böyle olasılık dışı olaylar için endişe duymaz. Ancak bu bir milyar yılda bir olabilecek kaza, basında yer alan tek nükleer reaktör kazasıdır. Bundan bahsedilirken, olasılığına hiç yer verilmez ve bu konuda bir kitap yazmış olan Helen Caldicott da dahil olmak üzere birçok insan da, bunların 100,000 kor erimesinden birinin değil; *vasat* bir erimenin sonuçları olduğunu söylerler. Bana sık sık olasılığın önemli olmadığı söyleniyor -aslında böyle bir kazanın *olası olması* nükleer gücün kabul görmemesinin nedenidir. Bu şekilde düşünecek olursak, benzin kullanımının ve hatta herhangi insani bir etkinliğin de kabul edilemez olduğu gösterilebilir. Eğer olasılığın önemi yoksa, yarın hepimiz sürekli olarak birlikte yaşadığımız binlerce tehlikenin biri yüzünden ölebiliriz. Ancak görünüşe göre yalnızca nükleer gücün riskleri söz konusu olduğunda olasılık önemsizleşiyor.

Bu olayın özellikle göze batan bir örneği, Kasım 1982 seçimlerine bağlı olarak görüldü [27]. Kongre üyesi Markey ve Massachusetts'ten nükleer karşıtı bir politikacı, NRC destekli bir çalışmanın, çeşitli nükleer kaza senaryoları sonucu görülebilecek ölümlerin sayısını sıralayan bir çıktının kopyasını aldılar. Bahsi geçen en kötü senaryo, son derece olasılık dışı durumları bir araya getirip, en bilinen koruyucu önlemleri bile dışarıda bırakmış, oldukça olağanüstü bir senaryo idi; ancak ABD'deki her bir nükleer güç santrali için ölüm rakamları verilmişti. Hiçbir olasılık verilmemiş ya da tahmin edilmemişti, çünkü çalışma yılda 100 milyonda birin altındaki olasılıklarda bitiyordu ve bu kazaların olasılığı da bu sınırın çok altındaydı. Markey, bu sonuçların Washington Post'ta basılmasını sağladı [28] ve buradan ABD'deki tüm gazete ve TV haber programlarına dağıldı. Markey bu veriyi, ABD'de bu yüzyıl içinde gerçekleşebilecek ve yüzbin kişiyi öldürebilecek kazanın olasılığını yüzde iki olacak şekilde, yanlış yorumladı. NRC'den bilim adamları buna, olasılığın %0.00002'den fazla olmadığı, yani gazete hikâyesinde söylenenden onbin kez daha küçük olduğu şeklinde yanıt verdiler ve hatanın düzeltilmesini istediler. Washington Post ertesi gün bir hikâye daha yayınladı; ancak hiçbir şeyi geri almadı ve bu büyük hataya hiç değinmedi.

Toprağın Kirlenmesi

Reaktör kor erimesi kazasının başında rağbet gören bir başka yönü de toprak kirlenmesidir. En bilineni, Pennsylvania eyaletinin alanı kadar, yani 71,000 kilometrekarelik bir alanı kirlenme hikâyesidir. Tabii bu "kirliliği" nasıl tanımladığımıza bağlıdır. Her yerde bulunan doğal radyoaktivite yüzünden tüm dünyanın kirlendiği ya da Colorado eyaletinde diğer eyaletlere oranla iki kat daha fazla radyoaktivite olduğundan buranın daha kirli olduğu söylenebilir. Bununla birlikte ABD'deki Federal Radyasyon Komitesi ve diğer ülkelerdeki resmi birimler, kirlilik seviyesi ile ilgili ölçütü, insanların bölgeden çıkarılmalarını gerektirecek seviyenin altına kadar makul kabul etmişlerdir. Bu kabaca, doğal kay-

naklardan ve röntgen ışınlarından aldığımız miktarın iki ya da üç katı, veya ortalama bir Amerikalının Colorado'ya taşınmakla alacağı 2-5 kat daha fazla radyasyon miktarına eşittir. Yine de Hindistan ve Brezilya'nın bazı bölgelerinde yaşayan insanların aldığı doğal radyasyondan 4-10 kat daha azdır -yapılan çalışmalar bu insanlarda radyasyon etkilenimi yüzünden ileri gelen sağlık sorunları görülmediğini belirtir [29].

Bu tanımların ışığında Rasmussen Çalışması'nda düşünülen en kötü kor erimesi kazası -tüm kor erimelerinin yüzde biri, bu kadar kötü olabilir- 7,800 kilometrekarelik bir alanı, yani 48 kilometre çaplı bir daireyi kirletecektir. Bu alanın yaklaşık %90'ı, bina bulunan yerlerde yangın hortumu kullanarak, açık arazideki toprağı da sürerek kolayca temizlenecektir. Geriye kalan %10'luk bölge, yani 16 kilometre çaplı daire içinde kalan insanlar, olasılıkla yeni bir yere taşınacaklardır [7].

Sanırım toprak kirlenmesini değerlendirmenin en iyi yolu, parasal maliyeti esas almaktır. Temizleme, tahliye etme, kaybolan serveti ve iş gününü, kirli çiftlik ürünlerinin hepsini satın alıp sonra imha etme ve vb.'nin maliyetini ön planda tutup; bölgenin boşaltılması sırasında karşılaşılabilecek insani sorunları dikkate almamanın haksızlık olduğu düşünülebilir. Ancak bu, gerçeğin bir parçasıdır. İnsanları bölgeden zorla boşaltma, hidroelektrik santral (geniş toprak parçalarını su içinde bırakır) inşaatı, yol inşaatı ve gecekonduların yıkılması sırasında sürekli yapılan bir iştir ve bu gibi projelerin gerçekleştirilip gerçekleştirilmemesine karar verilirken her zaman en büyük önem, parasal maliyet ve kazanılacak avantajlar konusuna verilir. Böyle amaçlar nedeniyle evlerinden çıkarılan insanlar tanıyorum ve insani sorunlarının telafi edilmesi gerektiğinin düşünüldüğüne dair hiçbir izlenimim olmadı.

Birçok kor erimesinde, maliyet 50 milyon dolardan az olmaktadır (tüm maliyetler 1975 kuruna göredir); her 10 erimeden birinde maliyet 300 milyon dolar, her yüz erimeden bi-

rinde 2 milyar doları geçecek ve 10 bin erimeden birinde maliyet 15 milyar dolar kadar olacaktır [7].

Tüm durumlar için ortalama maliyet 100 milyon dolar kadardır. Termik santraller yoluyla elektrik elde etmenin maliyeti [30] yılda 600 milyon dolardır²⁴ (mülke verilen zarar, giysilerin tahribi, bina malzemesinin aşınması ve daha birçok). Termik santrallerin halka yüklediği maliyet ile reaktör kazalarının parasal maliyetinin eşit olabilmesi için her yıl altı, her iki ayda bir kor erimesi olması gerekir. Açıkçası, elektrik üretiminin risklerini belirlemede sağlığa gelecek etkiler, servete verilecek hasardan daha önemlidir; ancak nükleer gücün ve kömürün göreceli riskleri bu iki noktada pek farklı değildir.

Halk Neden Yanlış Anlıyor?

Bu bölümde reaktör kor erimesi kazalarının halk tarafından büyük ölçüde yanlış anlaşıldığını gösterdik. Böyle kazaların çoğunda halka zarar gelmeyecektir ve ortalama bir kor erimesi 400 ölüme ve reaktör sahası dışı için söz konusu 100 milyon dolarlık hasara neden olacaktır. Kazaların en kötü %0.001'lik oranı içinde kalanında bile kanser riski artışı, New England'a taşınanlar için söz konusu olandan çok daha azdır. Bu, insanların sahip olduğu, yerle bir olmuş büyük bir alan içinde yatan binlerce ölü imajından çok uzaktır ve kesinlikle "son felaket" değildir. Ne var ki halkın çok küçük bir kısmı nükleer kazaların termik santraller kadar tehlikeli olabilmesi için iki ayda bir kor erimesi kazası olması gerektiğini hatırlar.

Halkın bu konuyu böylesine yanlış anlayabilmesi nasıl mümkün oldu? Halk basından bilgi alır, yani bundan basın sorumludur. Peki basın niye böyle çarpıtılmış bir imaj yarattı?

Uygurlık tarihimizde ilk defa, bir sanayi dalı, çevresel etkilerini önceden belirleyebilmek için bu kadar büyük çaba harcamıştır. Nükleer santrallerde yanlış gidebilecek her şeyi düşünmek ve olası sonuçlarını saptamak için binlerce insan yılı çaba sarfedilmiştir. Tüm bu çabalar sonucu, çok az olasılıkları olmasına karşın bazı çok hassas verici senaryolar yaratılabilir.

Bir basın muhabirinin işi, halkın ilgisini çekecek ilginç bir hikâye bulmaktır. Eğer Three Mile Island kazasıyla halkın ilgisi nükleer reaktörlerde kor erimesine çekilmemiş olsaydı, bu bölümde anlatılanlar sıkıcı olurdu. Bundan ilginç bir hikâye çıkarmak isteyen muhabir doğal olarak, düşünülmüş en kötü kazayı ele alır -45,000 kanser, 15 milyar dolarlık masraf. Hikâyesinde “bir nükleer kazanın sonuçları işte böyle olabilir” diyecektir; ancak okuyucu ve hikâyeyi yayınlayan muhabirler, “olabilir” ile “olacaktır” arasında ender olarak kesin bir ayrım yaparlar. Basın mensupları çoğunlukla diğer basın örgütlerinden bilgi aldıklarından, Dan Rather’dan Johnny Carson’a kadar birçok güçlü basın siması, kor erimesinin son felaket olduğuna ikna edilmiş gibi görünmektedir. Onlardan bunu dinledikten sonra da halk ikna olmaktadır.

Ne yazık ki sonuçlar trajiktir. Her iki ayda bir ya da altı ayda bir kor erimesi olacağına kimse inanmaz şüphesiz. Şimdiye dek bir tane bile olmadı ve halk hiçbir zaman bu yüzden tahliye edilmedi²⁶. Üstelik ortada kor erimesi için makul bir neden olsaydı, bu ilk örnek olacaktı.

Bununla birlikte, basının yaydığı korkunun bir sonucu olarak ABD nükleer güçten vazgeçiyor. Dolayısıyla biz de ona umutsuzca ihtiyaç duyduğumuz bir zamanda, en ucuz ve en güvenli enerji kaynağımızdan mahrum bırakıyoruz. Nükleer santraller yerine termik santraller kuruluyor. Bunun her tekrarında yüzlerce milyon Amerikalı vaktinden önce ölüme mahkum edilmiş oluyor. Hazinesinin de yüzlerce milyonluk zarara girdiğini söylemeye gerek yok.

Güvenlik Dışındaki Konular

Her yeni teknoloji, üstesinden gelinmesi gereken birçok teknik sorunla karşılaşır ve nükleer teknolojin bu konuda bir istisna olması gerektiğine inanmak için makul hiçbir neden yoktur. Diğer sanayi alanlarının tersine, nükleer sanayinin teknik sorunları basına çok fazla yansır. Okurlar ve seyirciler, teknik ayrıntılarla ilgilenmezler; böylece hikâye-

ler de, sorunları güvenlik alanındaymış gibi gösterecek şekilde yazılır.

Eğer görmezden gelinirse, hemen hemen her teknik sorun bir güvenlik sorunu haline gelebilir. Bir otomobilin yağı bitmişse bir tren yolu geçidinde kalabilir ve bu kesinlikle bir güvenlik sorunudur. Ancak yağ seviyesi kolaylıkla kontrol edilebilir; yağ basıncı kaybını gösteren bir uyarı ışığı vardır ve eğer yağ bittiyse araba durmadan önce normal olmayan gıcırtılar duyulur. Üstelik birçok durumda, arabanın durması tehlike yaratmayacaktır. Yani yağ kaybına bir güvenlik sorunu olarak bakılmaz. Tamiri pahalıya mal olabilir ve motora önemli ölçüde zarar verebilir; ancak yine de otomobiller için söz konusu güvenlik tehlikeleri listesinin sonlarında yer alır. Eğer sorun, okurlarının büyük bir kısmı için yabancı bir konuya, bir gazeteci, otomobillerin tren yolu geçitlerinde kalması olasılığı ya da yağ kaybına bağlı diğer tehlikeli durumlarla ilgili bir hikâyeyle insanları rahatlıkla korkutabilir.

Nükleer sanayideki teknik sorunlarla ilgili olarak benzer durumlar sık sık tekrarlandı. Burada bu durumların bir kısmını tekrar ele alacağız.

Basınçlı Termal Şok [31,32,33]

Reaktörü içinde barındıran kalın çelik kap, içinde yüksek sıcaklıkta su bulunması yüzünden doğal olarak çok sıcaktır (300°C). Bir işleyiş hatasına bağlı olarak içerisi aniden soğuk suyla dolarsa, kap bir “termal şok” yemiş olur. Eğer yüksek basınca maruz kalırsa -bu basınçlı termal şoktur- ve küçük bir çatlak ya da hata varsa, azalacağına artan bir çatlama eğilimi gösterir. Birçok diğer sorunda olduğu gibi, basınçlı termal şok sorunlarının önemi, nicel ayrıntılara bağlıdır -ne kadar termal şoku takiben ne kadar basınç, ne kadarlık artan çatlama eğilimine neden olur? Normal koşullar altında bu nicel ayrıntılar, endişelenecek bir durum olmadığını gösterir. Bununla birlikte, radyasyon biyolojik dokuya zarar verebildiği gibi, atomlarının ve elektronlarının normal konumlarından çıkmalarına neden olarak, çeliğe de hasar

verebilir. Radyasyonun reaktör kabına verdiği bu tahribat, onun basınçlı termal şoka olan duyarlılığını artırır.

Bu sorun en azından 20 yıldır bilinmektedir ve basit bir önlem bulunmuştur -kabın üretildiği çelik alaşımındaki kuruşun miktarını düşürmek. Bu önlem 1971'de bulundu ve o zamandan beri üretilen reaktör kaplarının basınçlı termal şok ile bir sorunu olmadı. Sorun çıkarmamaları için reaktör kapları periyodik incelemeye tabi tutulur. Daha acil birçok sorunla uğraşan NRC, yıllardır bu konuyla ilgili daha fazla işlemin ne zaman yapılacağını göstermek üzere oldukça tutucu bir kontrol kriteri belirleyerek, bu işle uğraşmayı ertelemiştir. 1981'de bazı santrallerde yeni kritere göre harekete geçmeye sadece bir iki yıl kalmıştı, dolayısıyla NRC çeşitli güç santrallerinden bilgi almak yoluyla sorunu daha ayrıntılı incelemeye başladı. Bu bilgi alma işini yanlış yorumlayan New York Times, yayınladığı "13 Nükleer Santralde Radyasyon Sonucu Kırılabilirliği Artan Çelik Tehlike Arz ediyor" başlıklı bir sayfa hikâyede [34] oldukça ciddi güvenlik sorunlarının olasılık dahilinde olduğunu kastediyordu. Nükleer karşıtı etkinsiler, kısa bir süre sonra bu mesajı borazan çalarak ilan etmeye başladılar. Konuyla ilgili sayısız laboratuvar testinde böyle bir durum gözlenmemiş olmasına karşın, onlar reaktör kaplarının basınçlı termal şok anında cam gibi kırılacağını duyurdular. 1981-82 yıllarında NRC ve nükleer sanayii, basınçlı termal şok sorununu derinlemesine inceledi. 1982 sonlarında NRC, yeni sonuçlar ve düzenleme önerileri getirdi [31].

NRC'ye göre, basınçlı termal şoka bağlı kor erimesi riski, diğer nedenlere bağlı kor erimesi riskinin %10'una eriştiğinde, kaptaki bozulma tehlikeli boyutlara ulaşmış oluyordu. Bu %10'luk tahmine, ciddi bir muhafazakarlık sonucunda ulaşılmıştır ve sanayinin yaptığı çalışmalar [33] riskin çok daha küçük olduğunu gösterir. Şu açık olarak anlaşılmalıdır: kor erimesi riski %10 *değildir* ve zaten var olan çok küçük kor erimesi riskinde %10'dan fazla bir artış olmamıştır.

Birkaç reaktörün 1980 sonlarında bu durumu yaklaştırmış

olması beklenirken, hiçbirinde henüz görülmedi. Bu duruma gelmelerine üç yıl kala, alacakları önlemlerle ilgili bir planın, NRC ile birlikte hazırlanması gerekmektedir. Hepsi her durumda uygulanabilir olmasa da uygun birkaç önlem vardır. Sorunu geciktirmenin bir yolu, yakıtın reaktör içindeki dizilimini değiştirmek ve böylece kabın duvarlarına çarpan radyasyonu azaltmaktır -bu, bugün bazı santrallerde yapılıyor. Basınçlı termal şoka karşı bir diğer önlem de, ani su enjeksiyonlarının yol açacağı termal şoku azaltmak için su depolarını sıcak tutmaktır -bu da bugün uygulanmaktadır. Bir başka önlem, suyun ani enjeksiyonunu önlemek için işletme yöntemlerini değiştirmektir. En çok zaman ve paraya mal olan, ancak en mükemmel olan önlem, reaktör kabını çok yüksek bir sıcaklığa (460°C) kadar ısıtarak radyasyonun verdiği hasarı telafi etmektir; bu, kabı yenisi kadar iyi hale getirir.

NRC standartlarını belirleyen muhafazakar sistem birkaç esasa dayanır. Kapta küçük bir kırık ya da çatlak olduğu varsayılır. Oysa bu kaplar çok dikkatli bir incelemeye tabi tutulmuş ve hiçbir çatlak ya da kırığa rastlanmamıştır. Kap 20 santim kalınlığındadır, böylece dış taraf iç tarafa göre daha az radyasyona ve termal şoka maruz kalır. Dolayısıyla iç tarafta bir çatlama olsa bile 20 santim boyunca sürmez ve sonuçta hiçbir tehlikeye yol açmaz.

Sorun tanımlandığından beri sürekli denetim altındadır; uygun önlemler alınmıştır ve bu durumun tehlike noktasına ulaşmasına da izin verilmez. Basınçlı termal şoku bir güvenlik konusu olmaktan çok teknik bir sorun saymak mantıklı görünüyor sanırım. Bu sorun, halktan çok bilim adamı ve mühendisleri ilgilendirir.

Zorlama Aşınması Sonucu Boruların Kırılması

Kaynar Su Reaktörlerindeki borularda çatlakların görüldüğü bazı durumlar olmuştur [34]. Bir borunun kırılarak açılması LOCA (Loss of Coolant Accident: soğutucu kaybı kazası) için büyük bir potansiyel neden oluşturduğundan

bu, basında bir güvenlik sorunu olarak geniş yer tutmuştur (özellikle böyle bir çatlamanın ilk kez görüldüğü 1975 yılında). Bu tür çatlamanın çok yavaş olduğu ve genelde ultrasonik testlerle daha ilk aşamalarında tespit edildiği belirtilmiştir. Yine de eğer bu şekilde tespit edilemezse, hemen fark edilip, önlenen sızıntılara yol açar ve bu sızıntılar da çok yavaş artar. Zorlamadan dolayı aşınan boruların kırılması da dolayısıyla bir güvenlik sorunu *değildir*.

Öte yandan bunların tamiri için reaktörlerin kapatılması gerekir ki bu pahalı ve dolayısıyla güç istasyonu sahipleri için çok sorunlu bir iştir. Sonuçta da bu sorunun telafisi için gereken araştırmalara on milyonlarca dolar harcanmıştır. Bu araştırmaların en büyük kazancı sorunun anlaşılması oldu: paslanmaz çelik boruları birbirine kaynakla tutturmak, malzemeyi aşınmaya dayanıklı kılan kromun bir kısmının yok olmasına²⁶ neden oluyor; yerel konsantrasyonunu normal olan %17'den, sudaki fazla oksijenin neden olduğu aşınmaya dayanması için gereken minimum değer olan %12'nin altına düşürüyordu. Üstelik kaynakla başlayan krom yitimi, reaktör suyu sıcaklığının etkisiyle devam ediyordu. Erime-den kaynaklanan bu zorlamanın yol açtığı aşınmanın, çatlamaya neden olduğu anlaşıldı.

Sorun anlaşıldıktan sonra çözümler hızla bulundu: nükleer alanında kullanılabilecek kalitede paslanmaz çelik denen, daha az karbon, daha çok nitrojen içeren ve ortada yeni boru için söz konusu bir sorun bırakmayan, yeni bir alaşım geliştirildi. Eski tip borunun kaynaklı eklem yerlerini 1050°C'lık bir fırında ısıtmak yoluyla krom hareketinin geri çevrilebileceği bulundu. Aynı şey, dış taraf kaynaklanmadan önce borunun içine konacak bir kaynak metali tabakasıyla da mümkündü. Krom yitiminden kaçınmanın yanısıra, kaynak yapılırken borunun içinden soğuk su geçirmek ya da kaynak bittikten sonra borunun dışını ısıtıp içini soğutmak yoluyla gerilmeden doğan zorlamayı önleyecek yöntemler geliştirildi - ikinci yöntemi, kurulu boruları kıpırdatmadan gerçekleştirmek mümkündür. Tüm bu yöntemler santrallerde uygulan-

maktadır. Ayrıca sudaki serbest oksijeni, yani aşınmanın en önemli kimyasal etkenini azaltacak yöntemler geliştirilmektedir. Bu üç esas: krom kaybı, mekanik zorlama, ve aşındırıcı kimyasal etken, çatlamaya yol açabilmektedir ve üçü de bu yöntemlerle en aza indirgenmiştir. “Uygulamalı öğrenim ağı” denen, hangi kaynakların bozulmaya başladığını ve ne kadar hizmet ömrü kaldığını tahmin etmeye yarayan otomatikleştirilmiş bilgisayar kontrollü bir ultrasonik test sistemi geliştirilmiştir. Bu gelişmenin bir sonucu olarak, zorlanmadan dolayı aşınan boruların kırılması artık kontrol altına alınmıştır.

Buhar Üretici Borusundaki Kaçaklar [37]

Şekil 12’de bir basınçlı su reaktörünün (PWR) diyagramı görülmektedir. Reaktör içindeki su kaynayıp buhar oluşmasını önleyecek kadar yüksek basınç altında tutulur. Buhar üreticinin boruları içinden, ısınıyı ayrı, “ikincil” bir sistemden gelen suya aktardığı yere pompalanır ve ısının aktarıldığı su, kaynarak buhara dönüşür. Bunun Kaynar Su Reaktöründe (BWR) olduğu gibi reaktör içindeki suyu kaynatarak buhar elde eden daha basit bir sisteme göre bazı avantajları (ve bazı dezavantajları) vardır. Avantajlardan biri, reaktörden gelen ve radyoaktif kirleticiler içeren suyun asla istasyonun diğer kısımlarına (türbin, kondensör, vs.) geçmemesidir; böylece bu kısımlarda radyoaktivite kontrolüne gosterilecek özen azdır.

Yine de buhar üretici borularındaki sızıntılar, bu kısımlara ulaşır ve radyoaktivite kontrolü bu kısımlarda en düşük düzeyde olduğundan rahatlıkla çevreye sızabilir. ABD’de çalışır durumdaki 48 PWR’dan 40’ında buhar üretici borularında kaçak sorunu yaşanmıştır [37]. Bir buhar üreticinde bu borulardan binlerce vardır. Dolayısıyla sızıntı yapan borular, işleşi etkilemeden, kolayca iki yandan tıkanabilir. Bununla birlikte tıkanan boruların sayısı tüm boruların %20’sini aşarsa, beş santralde olduğu gibi, santralin elektrik üretme kapasitesi önemli ölçüde düşer. Bu da kuruluş için kazanç kaybı de-

mek olur. En azından üç olayda kuruluş, buhar üreteçlerini değiştirme kararı almıştır ve bu, reaktörün aylarca kapatılmasını gerektiren oldukça pahalı bir alternatiftir.

Güvenlik açısından baktığımızda bu alanda dikkate almayaya değer en kötü kaza, birkaç borunun aniden bütünüyle kırılmasıdır. Birkaç yılda bir böyle bir kaza beklenebilir. Ocak 1982'de New York, Rochester yakınlarındaki Ginna santralinde olan da buydu. Bu kazaya basında geniş yer verimisti; ancak reaktör alanı dışındaki herhangi bir noktadaki maksimum etkilenim 0.5 mremdi [36], yani ortalama bir Amerikalı'nın iki günde aldığı doğal radyasyon miktarı kadar. Bu bölgede hiç insan bulunmadığından hiçbir vatandaş, bu miktara bile maruz kalmadı. Bu bölgede tüm nüfus için söz konusu toplam etkilenim 100 mrem'den azdı; bu da 80,000'de bir kansere olasılık veriyordu. Bu kaza, buhar üretici borusu arızasından doğabilecek yaklaşık en kötü kaza demek olduğundan; böyle kazaları halk güvenliğine karşı bir tehdit kabul etmek çok zordur.

Öte yandan bu, kuruluş için pahalı bir sorun oldu ve çözümlmesi için birçok araştırma yapıldı [37]. Sekiz ayrı hata sınıfı tanımlandı -çentik, çürüme-aşınma, eskime, oyulma, granüller arası temas, delinme, zorlamanın aşındırması sonucu çatlak ve fire. Bu sorunları en aza indirgeyecek ve yeni kurulan istasyonlarda bunlardan kaçınmayı sağlayacak bazı farklı yöntemler geliştirildi (tetkik, yerleştirme, değerlendirme ve sızıntıları telafi gibi).

Buhar üretici kaçaklarının halkı radyasyona maruz bırakma konusunda çok küçük bir potansiyeli olmasına karşın Nükleer Yönetmelik Komisyonu (NRC), halk güvenliğinin tehlikeye atılmadığından emin olmak için sorunu yakından takip etmektedir. Sızıntı testlerini zorunlu kılmıştır ve reaktörün tamir için kapatılmasını gerektiren kabul edilebilir sızıntı miktarına kesin sınırlar getirmiştir. Ayrıca ileride karşılaşılabilecek sorunları anlamak, değerlendirmek ve tahmin etmek için araştırma programları yürütmektedir. Sanayi, sorunun tüm yönlerini içeren çok daha fazla araştırma yapmaktadır kuşkusuz.

İlaveler

Hata Ağacı Analizi

Bana sık sık sorulan bir soru şöyledir: Hiç kor erime kazası olmadığına göre olma olasılığını nasıl hesaplıyorsunuz?

“Hata ağacı analizi” adıyla bilinen yöntem [7], kor erimesine yol açabilecek tüm “yolları” tanımlayabilmeye yarar ve her yolun peşpeşe gelen arızalardan oluştuğunu varsayar (çatlayan borular, bozulan pompalar, açılmayan vanalar, yanlış düğmeye basan operatörler, vs). Bu arızaların *her biri* sırasıyla, peşpeşe gerçekleşmediği takdirde bir tek yol kor erimesine ulaşamayacağından, o yolla kor erimesine ulaşılması olasılığı, her bir arızanın olma olasılığı birbiriyle çarpılarak bulunur. Örneğin, kor erimesine yol açacak yollardan biri, kötü bir boru çatlağı - 1,000 yıllık işleyişte bir olasılık-, sonra çalışmayan bir pompa - 100 denemede bir olasılık- ve kapalı kalan bir vanadan -200 açma girişiminde bir olasılık - oluşuyorsa, bir yıl içinde bu arızanın olma ihtimali: $1/100 \times 1/100 \times 1/200 = 1/20\ 000\ 000$ 'dir.

Birçok sanayide boru çatlakları, bozuk pompalar ve açılmayan vanalarla ilgili birçok deneyim yaşanmıştır; bu yüzden de bunların olasılıkları bilinmektedir (olasılıklar boru, pompa ve vanaların *kalitesine* bağlıdır, ancak bunun üstünde de deneyim vardır). Hesaplamalarda, deneyimden elde edilen bu olasılıklar kullanılır.

Erimeye neden olabilecek her bir yolun olasılıkları hesaplandıktan sonra, erime için toplam olasılık, tüm bu yolların olasılıkları da eklenerek elde edilir. Bu da en büyük tereddüt kaynağıdır, çünkü tüm olası yolların dahil edilip edilmediğinden asla emin olamayız. Yine de yıllardır bu sorunlarla uğraşan düzinelerce bağımsız araştırmacı göz önüne alındığında, en azından önemli yolların çoğunun düşünülmüş olduğuna inanmak makul görünür.

Acil Kor Soğutma Sistemi -Erimeyi Önleme [11]

Kazalar sırasında olduğu gibi, reaktörün kapanmasını takiben yakıt içindeki radyoaktivite, Şekil 4'deki eğriyle gösterilen oranda ısı üretmeye devam eder. Reaktörün kapanmasından on saniye sonra bu, tam gücün %5'idir ve üç dakika sonra %3'e, üç saat sonra %1'e, 5 gün sonra %0.3'e düşer. Eğer bu ısı çekilmezse, yakıt eriyecektir. Normal koşullar altında, reaktör yakıtı suya sokulur ve su da ısıyı emip, diğer sistemlere aktarılmak üzere santralin başka bir yerine taşır. Bu rutin sırasında kötü sonuçlanacak birkaç şey vardır:

(a) Diğer sistem arızalanabilir ve ısıyı kabul edemeyecek duruma gelebilir (Böyle bir arıza, bir pompanın arızalanmasıyla birlikte, hâlâ açıklanamamış nedenlerle yedek pompalardaki vanaların kapalı kalması sonucu Three Mile Island kazasında meydana gelmiş, ancak hemen düzeltilmiştir; diğer sorunlar olmasaydı hiçbir şey olmayacaktı).

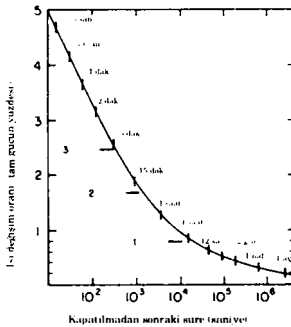
(b) Suyun akışı engellenebilir (Three Mile Island kazasının sonlarında olduğu gibi bir hidrojen balonuyla).

(c) Su küçük bir sızıntı olarak yavaşça veya açık bir vananın içinden doğrudan kaçabilir.

(d) Sistem birdenbire açılabilir ve dolayısıyla basınç düşer; su da (320°C) açılan yerden hızla buhara dönüşerek çıkabilir -buna "buhar boşalması" (blowdown) denir- ve böylece de yakıtı soğutacak su kaybedilmiş olur.

(a) ve (b) durumlarında su fazla ısınıp kaynamaya başlayacak ve çıkan buhar, basınç emniyet vanalarından atılacaktır; bu durumlar da su kaybıyla sonuçlanacaktır.

Eğer yakıt suyla kaplı değilse,



Şekil 13. Yakıttaki radyoaktivite nedeniyle reaktörde üretilen güç, normal çalışma sırasında üretilen gücün yüzde oranı olarak verilmiştir. HPIS (High Pressure Injection System: Yüksek Basınç Enjeksiyon Sistemi) ile işaretlenmiş yatay çizgiler, sağlanan suyun üretilen bu ısı tarafından buharlaştırılabilmesi için kaç tane yüksek basınç enjeksiyon sistemi gerektiğini göstermektedir.

fazla ısınacak ve sonunda eriyecektir; yani tüm bu durumlarda, kaybolanın yerine geçecek suyu enjekte etmek önemlidir. (a), (b) ve (c) durumlarında, reaktör yüksek basınçta kalır (normal atmosferik basıncın yüz katından daha fazla); dolayısıyla da buraya su enjekte edecek özel yüksek basınç pompalarına ihtiyaç vardır. Bu “yüksek basınç enjeksiyon sistemlerinden” (HPIS) üç ya da dört tane vardır [4,7]. Bunlar, Şekil 13’de “HPIS” adlı yatay çizgilerle ifade edilmiş olan ısının yol açtığı kaynamayı durduracak suyu sağlar. İşlevlerinin bir göstergesi olarak, üç HPIS’in çalışması, 6 dakika sonrasına kadar yakıttan yayılan ısıyı karşılamaya yeter; bu süre sonrasında, sistemdeki toplam su miktarı artmaya başlar. Bir hesaplamaya göre, o ana kadar suyun sadece %2’si kaynar.

Eğer yalnızca bir HPIS su sağlıyorsa, Şekil 13’e göre, sağlanan suyun miktarı, 5.5 saat sonrasına kadar kaynayan suyun miktarıyla eşitlenmez. O ana kadar da suyun yaklaşık %40’ı kaynayıp gitmiş olacak; ancak yine de yakıtı kaplamaya yetecek kadarı kalmış olacaktır. Yani bu üç ya da dört HPIS’den herhangi biri, kor erimesini ya da fazla ısınmaya bağlı yakıt hasarlarını önlemeye yeterli suyu sağlayacaktır (Three Mile Island kazasında, HPIS’ler operatörler tarafından kapatılmıştı, çünkü kendilerine ulaşan bilgileri yanlış yorumlamışlar, reaktörün içinde *çok fazla* su olduğunu sanmışlardı.

(d) durumunda su, birkaç saniyelik buhar boşalması sırasında kaybolur, böylece de sisteme acilen su takviyesi yapılması gerekir. Bu “akümülatör” denilen üç ya da dört sistem sayesinde gerçekleşir [4]. Bu tanklardaki su, normal olarak, reaktördeki daha yüksek basınç yüzünden kapalı duran bir vanayla reaktör dışında tutulur. Ancak reaktördeki basınç akümülatör tanklarındaki suyun basıncının altına düşerse, bu vana açılır ve su reaktörün içine dolar. Şuna dikkat edilmelidir: bu sistemin arıza yapmasına olanak yoktur, elektrikle ya da insanlar istediğinde çalışmaz. Akümülatörlerden ikisinin içinde, kaynayıp yakıtın en üst seviyesinin altına düşmeden önceki 15 dakika boyunca yakıtı kaplayacak yeterli su vardır.

Buhar boşalmasının ardından su takviyesi yapan acil kor soğutma sisteminin bir başka aşaması, 2 alçak basınç enjeksiyon sistemidir (LPIS: Low Pressure Injection System). Bunların ikisinden biri üç dakika içinde yakıtı kaplayacak su sağlar ve sağladığı su miktarı kaynamayla yok olan miktarı telafi etmeye rahatlıkla yeter [4,7]. Akümülatörlerdeki su yetersizleştiği an bunlardan biri devreye girerse, yakıtı, su kaybına bağlı olarak hiçbir zarar gelmez. Ancak bozulacak olursa, LPIS'lerden biri aynı işi görür (bunlar, reaktör alçak basınçtayken çok daha fazla su enjekte ederler).

HPIS ve LPIS pompalarının çalışmak için elektrik gücüne ihtiyaç duyarlar. Buhar boşalmasını takiben bir elektrik kesintisi olacak olursa, dizel jeneratörlerinden birini çalıştırmak yoluyla elektrik kesintisini gidermek, yaklaşık 15 dakika sürer -bu süre içinde yakıtın çevresi akümülatörlerden gelen suyla kaplı olacaktır.

Özetle üç ya da dört HPIS'den biri çalışırsa, yakıtı hasar gelmesini önleyecek olan suyun eksikliği gibi bir durum olmayacaktır. Buhar boşalması olayında, LPIS'lerden ya da HPIS'lerden biri kor erimesini önlemeye yeter.

Koruma Kabuğunun Kırılmasına Karşı Korunumlar

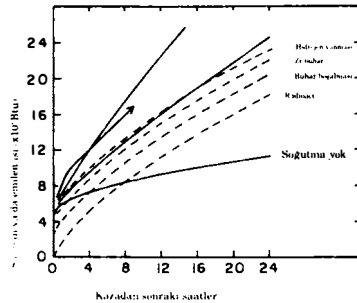
Ciddi reaktör kazaları üzerine kurulmuş hemen her senaryoda, büyük miktarda su, koruma kabuğu yapısına dayanır. Su ısınarak buhara dönüşür ve içerideki basıncı artırır. Eğer basınç, koruma kabuğunun dayanabileceği maksimum değeri aşarsa, koruma kabuğu kırılacak ve radyoaktif maddeler çevreye yayılacaktır. Koruma kabuğunun kırılmaması için, içine yayılan net ısı miktarını kabul edilebilir maksimum değerın altında tutmak gerekir.

Bu kabul edilebilir miktar, koruma kabuğu soğutulmasının olmadığı durum için, Şekil 14'te "soğutma yok" ifadeli eğriyle gösterilmiştir; bu zamanla artar, çünkü bir miktar ısı beton duvarlar içinde yayılır, ancak buhar basıncını artırmaz. Isı kaynakları Şekil 14'teki noktalı hatlarla ifade edilmiştir. Her durumda var olan ısı kaynağı, yakıt-

taki radyoaktivite nedeniyle üretilen ısıdır. Bunun yayılma miktarı Şekil 13'te gösterilmiştir ve bu eğriden herhangi bir zamana göre yayılan toplam ısı hesaplanır. Bu da Şekil 14'te "radyoact" adlı noktalı eğriyle ifade edilmiştir. Eğer buhar boşalması olursa, bundan çıkan enerji de toplama eklenir. Bu da "+ buhar boşalması" adlı noktalı eğriyle verilmiştir. Eğer acil kor soğutma sistemi soğutmayı sağlayamazsa, yakıt kaplama maddesi zirkonyum ile buhar arasında fazladan ısı çıkmasına yol açacak kimyasal bir reaksiyon olacak ve bu da ısı toplamını "+Zr-buhar" ile ifade edilmiş eğriye yükseltecektir. Bu reaksiyondan hidrojen çıkar ve bu hidrojen yanarsa, toplamı "+hidrojen yanması" adlı eğriye yükseltecek olan fazla enerjinin çıkmasına neden olur.

Şekil 14'te görüldüğü gibi, soğutma olmadığı durumlarda toplam enerji izin verilen miktarı, sadece radyoaktivite varsa sekiz saat içinde, buhar boşalması olursa dört saat içinde ve yakıt Zr-buhar reaksiyonuna neden olacak kadar ısınmışa çok daha kısa bir sürede geçecektir. Yani, koruma kabuğu atmosferini soğutmak için bazı sistemlere ihtiyaç vardır.

Bunu yapacak iki tür sistem vardır [4]. Bunlardan biri havaya su püskürtürerek buharı soğutan koruma kabuğu püskürtme sistemidir (CSS, containment spray system). Bunlardan üç tane bulunur ve su depoları bir-iki saat içinde tükenir. Sonuçta su, koruma kabuğu zemini üzerinde kalır. Sonra sistem, zemindeki suyu geri çeker, koruma kabuğu dışındaki bir kaynaktan gelen soğuk suyla çevrili boruların için-



Şekil 14. Kazadan sonra geçen süreye karşılık, koruma kabuğu içine yayılan toplam ısı miktarı (noktalı çizgiler) ve koruma kabuğunun yüksek basıncın bağlı olarak kırılmaması için kabul edilebilir olan miktar (düz çizgiler). Bazı çizgiler metinde açıklanmıştır.

den geçirir ve bunu tekrar koruma kabuğu içindeki havaya püskürtür. Eğer bu sistemlerden biri çalışıyorsa, koruma kabuğunun, içindeki aşırı basınca bağlı olarak kırılması için bir neden kalmaz. Şekil 14'de tüm kaynakların ürettiği ısıнын fazlasıyla giderildiği, "1-CSS" eğrisiyle ifade edilmiştir.

Bazı santrallerde kullanılan bir başka koruma kabuğu soğutma sistemi "koruma kabuğu vantilatör soğutucuları"dır (CFC, containment fan coolers). Bunlar, koruma kabuğu atmosferindeki havayı, koruma kabuğu dışındaki başka bir kaynaktan gelen ve soğuk su taşıyan boruların üzerine üfler.

Genelde 5 CFC bulunur ve bunlardan ikisinin kabul edilir ısı girişini ne miktarda artırdıkları Şekil 14'de "1-CFC" ve "2-CFC" eğrileriyle gösterilmiştir. Görüldüğü gibi eğer yalnızca bir CFC çalışıyorsa ısı girişinin tamamen devam edeceği ilk ondört saat için, koruma kabuğunun kırılmasını önleyecek soğutma, yeterli ölçüde sağlanmış olacaktır²⁷. Eğer beş CFC 'den ikisi çalışıyorsa koruma kabuğunun aşırı basınçtan kırılması gibi bir sorun olmayacaktır.

4. BÖLÜM

Riski Anlama

Halkın nükleer gücü yanlış anlamasına neden olan 3. ana neden de halkın büyük bir çoğunluğunun karşılaştığımız riskleri anlayıp ölçmemesidir. Çoğumuz sanki hayatta hiç risk yokmuş gibi düşünür ve öyle davranırız. Riskleri mantıksızca, aptalca bir cesaretle kabullenir ve onlardan dikkatle kaçınırız. Çocukları riskten kaçınma konusunda eğitmek, ailenin en önemli görevlerinden biridir. Bize başkaları tarafından telkin edilen riskleri, genelde ciddiyetle kabulleniriz.

Ne yazık ki hayat böyle değildir. Yaptığımız herşeyin bir riski vardır [1]. Yolculuğun her türünün tehlikeleri vardır; evde oturmanın da öyle -tüm ölümcül kazaların %40'ı evde meydana gelir [2]. Yemek yemenin tehlikeleri vardır -yiyecek, kanser ve birkaç diğer hastalığın olasılıkla en önemli nedenidir- ancak birçok insan gerekenden çok yer. Nefes almanın tehlikeleri vardır -hava kirliliği yüzünden her yıl en az 10,000 Amerikalı ölmektedir [3], doğal radyoaktiviteyi solumanın da yaklaşık bu sayıda insanın ölümüne neden olduğuna inanılır [4] ve birçok hastalık da solunan virüsler yoluyla bulaşır. Bu tehlikeler filtreler aracılığıyla nefes alma yoluyla yok edilebilir, ancak kimse bunu yapmaz. Çalışmanın getirdiği tehlikeler vardır -iş kazalarından her yıl 12,000 Amerikalı ölür ve bu rakamın on katı kadar insan da işle ilgili hastalıklardan ölür [5] -ne var ki çalışmanın yerine geçecek alternatiflerin çoğu daha da tehlikelidir. İdman yapmanın ve yapmamanın tehlikeleri vardır. Risk, günlük hayatımızın kaçınılmaz bir parçasıdır.

Bu, riskleri en aza indirmeye çalışmamalıyız demek değildir; ancak bir riski en aza indirgemenin *nicel* bir yöntem

olması gerektiğini de akıldan çıkarmamalıyız. Riskleri, aklımıza gelenlerden kaçınarak en aza indirgeyemeyiz. Örneğin insan, bir yere arabayla gitmenin riskini düşündüğünde, yürüyerek gitmeye karar verebilir ve bu da birçok durumda çok daha tehlikelidir [2]. Bu tür bir yaklaşımdaki sorun, dikkate aldığımız risklerin, basında en çok yer alanlar olmasıdır. Zaten basında anlatılanlar, gerçek tehlikeler için yetersiz bir rehberdir. Riskleri en aza indirmek için mantıklı yöntem, tüm riskleri nicilemek ve sonra da diğerlerine oranla daha küçük olanları seçmektir. Bu bölümün başlıca hedefi, bu süreç için bir çerçeve oluşturmak ve bu nükleer gücün risklerine uygulamaktır.

Nicenlenmiş riski ifade etmek için birçok yol vardır, ancak biz burada yalnızca birini kullanacağız; ortalama ömür kaybı (OÖK), yani göz önüne alınan risk yüzünden bir kişinin ömrünün ortalama olarak ne kadar kısaldığı. OÖK, bir riskin ölüme yol açma olasılığının sonucu ve ölüme yol açması halinde, kaybolan ortalama ömür cinsinden sonuçlarıdır. Örnek olarak, istatistikler 40 yaşında ortalama bir insanın, daha yaşayacak 34.8 yılı olduğunu gösterir [6], yani hemen ölüme yol açma olasılığı % 1 olan bir risk alırsa, 0.348 yıllık (0.01×34.8) ortalama ömür kaybına neden olur.

Bunun, riski almanın sonucu olarak o kişinin 0.348 yıl önce öleceği anlamına *gelmediği* kesinlikle anlaşılmalıdır. Ancak onun yaşındaki 1,000 kişi bu riski aldıysa 10'u hemen ölür; çünkü ömürleri 34.8 yıl kısalır. Oysa diğer 990 kişinin hiçbirinin ömrü kıalmaz. Dolayısıyla, 1,000 kişi için kaybolan *ortalama* ömür 0.348 yıldır. Bu, söz konusu riskten doğan OÖK'dır.

Tabii ki birçok riskin derecesi her yaşa göre değişiklik gösterir ve etkileri tüm yaşam süresi için göz önüne alındığından hesaplar da biraz karmaşılaşır. Biz de hesaplamaları yapmak üzere bir bilgisayar programı geliştirdik ve çok büyük çeşitlilikte riskler üzerine büyük bir çalışmayı yürütmek üzere kullandık. Sonuçların bazıları bir sonraki kısımda özetlenmiştir.

Bir Riskler Kataloğu

Toplumumuzdaki en büyük risklerden biri bekar kalmaktır. İstatistikler bekar bir beyaz erkeğin ortalama ömrünün 62.3 yıl olmasına karşılık, evli bir beyaz erkeğin²⁸ ortalama ömrünün 66.3 yıl olduğunu gösteriyor. Bu da 6.0 yıllık bir OÖK'ya karşılık geliyor. Bekar beyaz kadınlar ve beyaz olmayan erkekler ile kadınlar için OÖK, sırasıyla 3.2, 8.8 ve 6.0 yıldır. Erkeklerin kadınlara ve siyahların beyazlara göre bekarlıktan daha çok muzdarib olmaları da önemlidir. Bu farklılıkların nedeninin bir bölümü, hastalıklı insanların evliliğe daha az ilgi göstermelerine bağlanabilir. Ancak bu asıl sebep değildir, çünkü ölüm oranları, her yaştan dul ve boşanmış insanlar için daha da yüksektir. 55 yaşında bir beyaz erkeğin ortalama ömrünün bitimine, evlye 19.6 yıl vardır. Eğer bekarsa 16.4 yıl, dulsa 15.7 yıl, boşanmışsa 13.4 yıl daha yaşayacaktır. Son üç durum için tekrar evlenmeyeceği varsayılmıştır. Beyaz kadınlar için bu rakamlar sırasıyla, 24.9, 23.0, 22.2 ve 22.4 yıldır.

Çok daha fazla bilinen bir risk, sigara kullanımıdır [8]. Günde içilen bir paket, ortalama ömrü erkekler için 6.4, kadınlar için 2.3 yıl kısaltır -erkekler için her sigara ortalama ömrü 10 dakika kısaltır. İçine çekmeyenler için, günde içilen bir paketin ömür boyu yarattığı risk, erkekler için 4.5 yıl, kadınlar için 0.6 yıldır. İyice içine çekenler için risk erkeklerde 8.6 yıl, kadınlarda 4.6 yıldır (erkekler ve kadınlar için söz konusu riskler arasındaki farklılıklar *ne kadar derinden içine çektikleri* ya da yaşam tarzları ve psikolojileriyle ilgili olabilir). Sigarayı bırakmak bu riskleri azaltır. 5 yıl sonra OÖK üçte bir ve on yıl sonra yarıdan fazla azalır. İçine çekilmediği takdirde puro ve pipo içimi az zarar verir, ancak içe çekiliyorsa, pipo 1.4 yıl, puro 3.2 yıl ortalama ömrü kısaltır.

Sigara içmenin risklerini daha iyi anlamak için tiryakilerin daha sıklıkla yakalandığı hastalıkları incelemek gerekir [8]. Ölüm sayılarının oranlamasını gösteren rakamlar verirken, 35-84 yaş aralığında, günde 1-2 paket içenleri ve hiç içmeyenleri göz önüne alıyoruz. Akciğer kanseri için oranlama

17'dir (yani, sigara tiryakilerinin içmeyenlere göre akciğer kanseri olma olasılığı 17 kez daha fazladır); sigara içenlerin gırtlak ve yemek borusu kanserine yakalanma riskleri 13, ağız kanserine yakalanma riskleri 6, bronşit ve embolişizme yakalanma riskleri 11, mide ülserine 4, karaciğer sirozuna 3, grip ve zatürreye 2, kalp damar hastalığına 1.8 (ulusumuzun 1 numaralı ölüm sebebi); lösemi, mide, pankreas, prostat ve böbrek kanserine yakalanma riskleri, 1.5-2 kat arası daha fazladır.

Üzerinde kişisel kontrole sahip olduğumuz bir başka risk, fazla kilolu olmaktır [9] -ölçülerimize ve yapımıza göre normalden fazla olan her bir kilogram ortalama ömrümüzü 2 ay kısaltır. Normalinden 15 kilogram fazla olan biri için OÖK 30 ay, yani 2.5 yıldır. Fazla yemenin etkilerini hesaplamak için kilomuzun, günlük ortalama gıda alımımızın 100 kalori artması sonucu 3.5 kg arttığını göz önüne almalıyız [10]. Yani, fazla kilolu biri, her gün fazladan bir dilim tereyağlı ekmek (100 cal) yemek dışında, yeme ve egzersiz alışkanlıklarının hiçbirini değiştirmedeği takdirde 3.5 kg alır (yaklaşık bir yıl zarfında) ve ortalama ömrü 7 ay kısaltır. Yenilen her ekstra 100 cal ortalama ömrü 15 dakika kısaltır.

Başlıca risklerle ilgili herhangi bir tartışma, alışlageldiği üzere, hastalıkları içermelidir [11]. Bu kategoride kalp hastalığı 5.8 yıllık OÖK, sonra sırasıyla kanser 2.7 yıl, felç erkeklerde 1.1 yıl ve kadınlarda 1.7 yıl, zatürre ve grip 4.5 ay, karaciğer sirozu ve şeker 3'er aylık OÖK demek olur. Siroz erkeklerde, şeker de kadınlarda üçe iki oranında daha çok görülür.

Başlıca risklerin en az değer verileni belki de yoksul, berikersiz, ve/veya eğitimsiz olmaktır. En iyi veri, mesleğe göre yapılan gruplandırmalardan elde edilmiştir [12]. Öğretim, teknik, idare ve işletme alanlarında çalışan insanlar, memuriyet, satış, vasıflı ve yarı vasıflı iş alanlarında çalışanlara oranla 1.5 yıl, bu ikinci gruptakiler de vasıfsız işçilere göre 7 yıl daha fazla yaşarlar. İngiltere'de yapılan benzer bir çalışma [13], işçilerin eşleri arasında göreceli farklılıklar

bularak daha büyük farklılıkları ortaya çıkardı; eğitimli birinin karısı, vasıfsız bir işçinin karısından 4 yıl daha uzun yaşar. Bu, sorunların mesleki etkilenimlerden değil; sosyo-ekonomik koşullardan kaynaklandığını gösteriyor.

Bu farklılıkların nedenlerini araştırırken, ölüm nedenlerini de göz önüne almak ilginç sonuçlar verir. ABD’de vasıfsız işçileri, öğretim, teknik, idari ve işletme alanında çalışan insanlarla karşılaştırsak [12], tüberkülozdan dolayı erken ölüm riskleri 4.2, kazadan ölme riskleri 2.9, grip ve zatürreden 2.8, karaciğer sirozundan 1.8, ve intihardan ölme riskleri 1.7 kere daha yüksektir. Kanserden %30, beyin damarı hastalığından ölüm riskleri %13 daha yüksektir; ancak damar sertliği ve şekerden ölme riskleri de %8 daha düşüktür. Bu listedeki birçok faktör sağlıksız yaşama koşulları, tıbbi müdehale için sınırlı olanak ya da sağlıkla ilgili bilinçsiz yaklaşımlara dayanan nedenlerden doğar ve bunlar genelde önlenebilir niteliktedir. Tüm bunlar toplumsal hareketler için bereketli bir alan gibi gözükmektedir.

Benzer bir yapı, ortalama ömür ile mesleki kazançlar arasındaki ilişkide göze çarpar [14]. Üniversite eğitilmiş olanlar, ortalama Amerikalı’dan 2.6 yıl daha fazla yaşar, oysa sadece ilköğrenim görmüş olanlar ortalama Amerikalı’dan 2.6 yıl daha az yaşar; bu da 4.3 yıllık bir fark demektir. Bu farklılıklar, erkekler ve kadınlar için aynıdır. Burada mesleki etkilenimler temel sorun değildir. Erken bir yaşta okuldan ayrılmak, genç bir bireyin yapabileceği en tehlikeli işlerden biri olan sigara kullanımıyla eşdeğerdir. Savaş sırasında Vietnam’a gönderilmenin getirdiği OÖK, deniz piyadelerinde 2.0 yıl, kara kuvvetlerinde 1.1 yıl, donanmada 0.5 yıl ve hava kuvvetlerinde 0.28 yıldır.

Ortalama ömür, sosyo-ekonomik farklılıklarla açıklanamayan coğrafi konum ile de önemli ölçüde değişkenlik gösterir. Beyazlar için ortalama ömür, kırsal orta kuzey eyaletleri olan, Kuzey Dakota, Güney Dakota, Minnesota, Iowa, Nebraska, Kansas ve Wisconsin’de bir yıl daha uzun (oysa hepsinde de gelir ortalamadan daha düşüktür); buna karşılık

kırsal güney doğuda yer alan Güney Carolina, Georgia, Alabama, Mississippi ve Louisiana'da bir yıl daha kısadır.

Basında en çok bahsedilen riskler, kazalarda ölme riskleridir [2] -kazada ölümün anılığı ve dramı haber basınınızın işlevine çok uygundur- buna karşın gerçek tehlike, önceden bahsettiğimiz risklerin çok altındadır. Tüm kazalar dahil olmak üzere OÖK 435 gündür (1.2 yıl). Bunların yarısı, bize 207 günlük OÖK veren motorlu taşıtları kapsar; bisiklete binerken 170, yayayken de 37 gün kaybolur²⁹. Standart boy yerine küçük boy araba kullanmak, bir insanın OÖK'sını 50 gün artırır ve standart boy yerine daha büyük bir araba kullanmak, aynı ölçüde azaltır [15]. Milli hız limiti 100 km'den 90 km'ye düşürülmeden önce, toplam OÖK 40 gün daha fazlaydı. Ortalama olarak, bir otomobilde bir mil (1.7km) fazla gitmek ve karşıdan karşıya geçmek, OÖK'yı 0.4 dakika artırıyor ve bu da sigaradan bir nefes çekmekle (bir sigarayı 25 nefes kabul edersek) ya da fazla kilolu bir insanın fazladan 3 cal. almasıyla aynı derecede tehlikelidir.

Diğer tür kazalara bağlı olarak, bir ömür boyu görülen toplam OÖK, düşme (çoğunlukla büyükler arasında) ve boğulmadan (suda) 40'ar gün, yangın ve yanıklardan 27 gün, zehirlenmeden 17 gün, boğulmadan (nefessizlikten) 13 gün, silahlarla ilgili kazalardan 11 gün ve nefes tıkanmasından 7.5 gündür. Erkekler, kazalarda ölmeye kadınlardan 2 kat daha fazla eğilimlidir [16]; motorlu taşıt kazalarında, erkek/kadın oranlaması, sürücüler ve yayalar için 2.5'e 1; suda boğulmada ise 5'e 1'dir.

Kazaya bağlı ölüm oranları coğrafyaya göre büyük farklılıklar gösterir [17]; en uç iki noktayı vermek gerekirse, Wyoming'de New York'a göre 4 kat daha fazladır. En kuzey genelde en güvenli olandır ve Rocky Mountain'daki eyaletler de genelde en tehlikeli olanlardır.

Zamanımızın çoğunu evde ve işte geçirmemiz nedeniyle yolculuğa bağlı olanların dışında en çok kazanın görüldüğü yerler buralardır. Evdeki kazaların getirdiği OÖK 95 gün, mesleki kazalarınki de 74 gündür [2]. İkinci rakam, sanayi-

den sanayiye önemli ölçüde değişir. Madencilik, taş ocağı işçiliği ve inşaat işçiliğinde 300 gün, ticarete, örneğin dükkanlardaki memurlar için 30 gündür. Tüm işçilerin yarısı, üretim ve servis alanlarında çalışır ve bu alan için OÖK 45 gündür. Nükleer sanayide çalışan radyasyon işçilerinde radyasyon etkilenimi 12 günlük bir OÖK verir [5].

Aslında bu istatistikler, birçok yüksek riskli mesleği göz ardı eder; çünkü fabrika işçilerini ve nisbeten daha güvenli işlerde çalışan birçoklarını içeren tüm sanayiler için bir ortalama saptarlar. Kanada iş kazaları istatistikleri [18], çok daha fazla ayrıntı içerir ve bu etkilerden bazılarını açıklığa kavuşturur:

- Madencilik sanayinde, madene inenler için OÖK 660 gün iken, atölyede çalışan ve hizmet verenler için 65 gündür;

- Hizmet sanayinde, güç hatlarında çalışanlar için OÖK 820 gün, tamirci ve tesisatçılar için 58 gündür;

- Ormancılıkta, ağaç kesenler için OÖK 1,050 gün, bıçkıhanede çalışanlar için ise 54 gündür;

- İnşaat işçiliğinde OÖK, yıkım işçileri için 1,560 gün (4 yıldan fazla), ısıtma, su ve elektrik tesisatı ile uğraşanlar için ise 38 gündür.

Bazı gösteri sanatı faaliyetlerinin de çok yüksek kaza potansiyeli olduğu söylenir, ancak istatistiksel deneyimler göz önüne alındığında, bu [19] tehlikelerin halkın gözünde abartıldığı görülür. Profesyonel ip cambazları, trapezciler, hava akrobatları, ipte sıyrıla yürüyenler için OÖK, bir yıllık çalışma için 5 gün; yani 20 yıllık kariyer için 100 gündür. Bu mesleklerde kazadan ölüm riski, dolayısıyla, sıradan madencilik ve inşaat işinin riskinden daha düşüktür. Binlerce katılımcısı olan en tehlikeli iş, derin deniz dalgıçlığıdır. OÖK, 1 yıllık katılım için 40 gündür.

Kazalara ek olarak mesleki etkilenim, bir işçinin yaşam süresini etkileyen birçok hastalığa yol açar [5,20] ve birçok durumda da kazalardan çok daha önemlidir. Kömür madeni işçileri ortalama olarak, aynı sosyo-ekonomik statüye sahip

ortalama bir insandan 3 yıl daha az yaşarlar ve istatistikler, kamyoncular, balıkçılar, gemi işçileri, çelik işçileri, armatörler, oyuncular ve müzisyenler (belki düzensiz yaşama bağlı olarak), polisler ve itfaiyeciler için de aynı şekilde olumsuzdur. Öte yandan, kendi sosyo-ekonomik statüsündeki ortalama bir insandan 1 yıl ya da daha uzun süre yaşayanların bulunduğu meslek grupları da vardır (örneğin posta memurları, hükümet yetkilileri, üniversite hocaları ve bahçıvanlar gibi). Sonuçta, bir insanın meslek seçiminin ortalama ömrü üzerinde büyük etkisi olabilir ve birkaç yıllık bir fark yaratabilir.

Adam öldürme ve intihar, toplumumuzdaki başka risklerdir; bunların OÖK'ları erkeklerde, her biri için 135'er gün ve kadınlar için sırasıyla 43 ve 62 gündür [6]. Adam öldürme gençler arasında daha yaygındır, oysa intihar yetişkinler arasında birkaç kez daha fazla görülür.

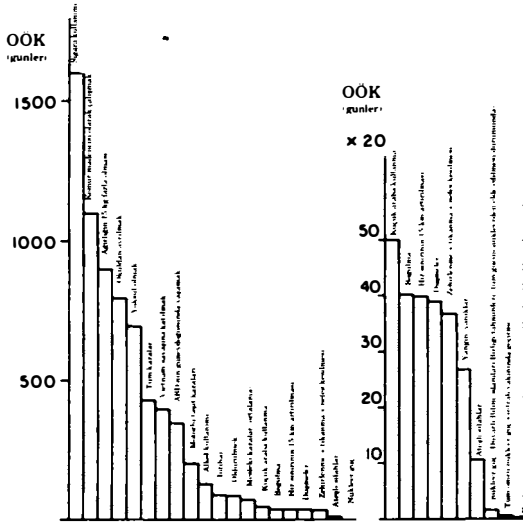
Basında geniş yer tutmaları açısından bakıldığında, büyük felaketlerin bizim için önemli bir tehdit oluşturduğu düşünülebilir, ancak bu gerçekten çok uzaktır [21]. Kasırga ve tornadoların ikisi toplam olarak, ortalama Amerikalı'ya 1 günlük bir OÖK verir; yani uçak kazaları kadar. Ciddi yangınlar ve patlamalar (8 ya da daha çok ölümle sonuçlananlar) bize 0.7 günlük bir OÖK verir ve büyük kimyasal sızıntıların neden olduğu OÖK ise 0.1 gündür.

Basında çeşitli maddelerin yarattığı tehlikelerden zaman zaman bahsedilir. Kahvenin mesane kanserine yol açtığına inanılır ve bu da sürekli kullananlar için 6 günlük bir OÖK demektir. Sakarinin mesane kanserine yol açtığına dair kanıtlar da vardır [23]; her gün alınan sakarinli bir diyet içeceğinin tüm ömre getirdiği OÖK 2 gündür, ancak normal bir içecek yüzünden artan kilonun yol açtığı OÖK 200 gündür. Doğum kontrol hapları damar iltihabına [22] yol açabilir ve bu durum, kullananlara 5 günlük bir OÖK verir.

En küçük risklerden bile başında sık sık söz edilir. Belki en iyi örnek bize sadece 0.0002 saniyelik OÖK verecek olan

<u>Etkinlik veya risk</u>	<u>Gün olarak ÖÖK</u>
Kadın değil erkek olmak	2800
Kalp hastalığı	2100
Bekar olmak	2000
(ABD'de) Beyaz değil siyah olmak	2000
Sigara (günde 1 paket)	1600
Kömür madeninde çalışmak	1100
Kanser	980
15 kilo fazla ağırlık	900
Ortaokuldan sonra eğitimi bırakmak	800
Yoksul olmak	700
Felç	520
7.5 kilo fazla ağırlık	450
Tüm kazalar	435
Vietnam'daki orduda görev almış olmak	400
Güneydoğu ABD'de yaşamak (Güney Carolina, Mississippi, Georgia, Louisiana, Alabama)	350
Madencilik ya da inşaat işçiliği	
(sadece kazalara bağlı olarak)	320
Motorlu taşıt kazaları	200
Zatürre, grip	130
Alkol	130
İntihar	95
Öldürülmek	90
İş kazaları (ortalama)	74
(Normal ölçüye göre) Küçük arabalar	50
Boğulmak	40
Hız limitinin saatte 15 kilometre artırılması	40
Düşmeler	39
Zehirlenmek + tıkanmak + nefes kesilmesi	37
Ateş, yanıklar	27
Yüksek radyasyonlu yerlerde çalışmak,	
18-65 yaş arası	12
Ateşli silahlar	11
Diyet içecekleri (ömür boyunca günde bir tane)	2
Tüm elektriği nükleer enerjiden elde etmek (UCS'e göre)	1.5
Tayfunlar, tornadolar	1
Uçak düşmesi	1
Baraj yıkılması	0.5
Ömür boyu bir nükleer santralin yakınında yaşamak	0.4
Tüm elektriği nükleer enerjiden elde etmek (NRC'ye göre)	0.03

Tablo 1. Çeşitli Risklere Bağlı Ortalama Ömür Kaybı (ÖÖK)



Şekil 15. Çeşitli risklerin göreceli oranlarının grafik gösterimi

yörüngedeki Skylab uydusunun düşüşüdür [24]. Radyoaktif atıkların gömülü olduğu alanlarda sızıntıyla ilgili çok şey yayınlanır; oysa bunlar, tek bir vatandaşa 10 saniyelik bir OÖK bile vermemiştir [24]. İllaveler'de, Three Mile Island nükleer güç istasyonundaki kazanın, vasat bir Harrisburg yöresi sakinine, 1,5 dakikalık (0.001 gün) bir OÖK verdiği anlatılmıştır. Yıldırım çarpması riskinin ise 20 saatlık bir OÖK'sı vardır [21].

Doğuştan gelen birkaç çok büyük risk vardır ve biz onların çoğunlukla göz ardı ederiz. Kadınlar, erkeklerden yaklaşık 8 yıl ve beyazlar da siyahlardan 5.5 yıl daha uzun yaşarlar [6]. Yani, kadın değil erkek olmanın OÖK'sının 8 yıl olduğu söylenebilir; bahsettiğimiz herhangi bir riskten çok daha yüksek. Çoğu sosyo-ekonomik faktörlere bağlı da olsa, siyah olmanın OÖK'sı 5.5 yıldır.

Uygun bir kaynak oluşturmak için, bahsettiğimiz bazı OÖK'lar Tablo 1'de özetlenmiş ve Şekil 15'te grafik şeklinde gösterilmiştir.

Nükleer Enerjinin Riskleri - Gerçek Yüzüyle

Bu bakış açısının ışığında, şimdi nükleer enerjinin risklerine dönüp, onları bugün ABD’de kullanılan *tüm* elektriğin, nükleer enerjiden elde edildiğini varsayarak değerlendirelim. Hesaplar, İlaveler kısmında açıklanmıştır; biz burada sadece sonuçlardan alıntılar yapacağız.

3. Bölüm’de anlatılmış olan ABD Nükleer Yönetmelik Komisyonu’nun (NRC) çalışmalarına göre, reaktör kazalarının yol açtığı risk ortalama ömrümüzü 0.012 gün, yani 18 *dakika* kısıltacaktır; oysa Duyarlı Bilim Adamları Birliği’nin (UCS) tahmini [25] 1.5 gündür. Kazalarda ölme riskimizin getirdiği OÖK, bugün 435 gün olduğundan, bu oran NRC’ye göre %0.003 oranında, UCS’ye göreyse %0.3 oranında artar. Bu, nükleer kazaları, Kuzeydoğu’dan Batı’ya taşınmaya göre binlerce kez daha az tehlikeli kılar (orada kaza oranları daha yüksektir) [17] ve bu son birkaç on yılda artan riske hiç bakılmaksızın, milyonlarca Amerikalı tarafından gerçekleştirilmiştir. Yine de nükleer kazalar, birçok insanın endişe duyduğu bir konudur.

Nükleer sanayiinde radyasyona bağlı, nisbeten büyük ve sağlığa yönelik diğer tehlike, rutin işleyiş sırasında çevreye radyoaktivite sızması olayıdır. Genel tahminlere göre, tam bir nükleer güç programıyla, bu, yılda ortalama 0.2 mremlik bir etkilenimle sonuçlanabilir (bugünkü değer bu sayının on katından küçüktür), ancak bu da ortalama ömrü 17 dakika daha kısaltır. Bu durum, nükleer güç kaynaklı toplam OÖK’ı 35 dakikaya çıkarır (eklenen bu 17 dakika da dahil, UCS tahmini hâlâ 15 gündür).

Bu riskleri Tablo 1’de sıralananlarla karşılaştıırırsak, bu ükedeki tüm elektriğin nükleer kaynaklı olması, her 15 yılda [her 3 ayda] fazladan 1 sigara içen bir tiryakinin aldığı riskle (bu paragrafta köşeli parantez içindeki değerler, UCS’nin tahminleridir) ya da kilosunu 0.34 gram [22.7 gram] oranında artıran fazla kilolu birinin aldığı riskle, veya ABD otoyol hız limitini 90 km’den 90.01 km’ye [90,6] km yükseltmekle aynı riski taşır. Bu standart boy arabadan

vazgeçip, küçük araba kullanmaktan 2,000 kez [20 kez] daha az tehlikelidir. Şu noktaya dikkat edilmelidir ki bu rakamlar tartışmaya *açık değildir*, çünkü ben yalnızca “Otorite” bilim adamlarının değil, bu ülkede önde gelen nükleer karşıtı ikinci grubun, Duyarlı Bilim Adamları Birliği’nin (UCS) tahminlerini de verdim.

Birkaç yıldır her fırsatta bu risk karşılaştırmalarını sunuyorum; öyle sanıyorum ki bunlar bir nükleer taraftarının *görüşleri* olarak yorumlanıyor. Gazetelerde sık sık “Dr. Cohen’in iddiasına göre.....” diye başlayan yazılar çıkar. Oysa burada kişisel görüşe hiç yer verilmemiştir. Bu karşılaştırmalara, hiç kimsenin sorgulayamayacağı, basit ve düz matematikle varılır. Bunlar, bilimsel dergilerde de basıldı ve hiçbir bilim adamı karşı çıkmadı. Üç ayrı UCS lideriyle yaptığım tartışmalarda bunlara yer verdim ve onlar da hiçbir zaman reddetmediler. Eğer birinin, bunların geçerli olmadığına inanmak için bir nedeni varsa, o kişi bu konuda konuşmaktan çekiniyor olmalı ki ortaya çıkmıyor.

Bence, bu karşılaştırmalar, nükleer tartışmaların en önemli temelidir. Nükleer güç, riskli olduğu görüşü çok yaygın olduğu için reddediliyor; fakat bir riski anlamak için en iyi yol, onu bilinen diğer risklerle karşılaştırmaktır. Dolayısıyla bu karşılaştırmalar, kamuoyunun nükleer gücü anlaması için en iyi yoldur. Onlara anlatılan tüm o teknik gerçekler, ancak bu basit risk karşılaştırmalarını anladıkları takdirde önemsiz ve gereksiz kalır. Nükleer güç konusunda bilmeye ihtiyaç duydukları tek şey budur. Ancak nedense, bu gerçekler onlara hiç anlatılmamıştır. Basın bunlardan hiç bahsetmez; hatta nükleer yanlıları bile bunlardan ender olarak bahseder. Bunun yerine halka, aynı derecede korku saçmaya yarayan; anlamadıkları bir yığın teknik ve bilimsel ayrıntı anlatılıp durulur.

1971’de nükleer enerji güvenliği ile ilgili çalışmalarına başladığımda, bu konuda önceden edinilmiş hiçbir fikrim ve “çıkarım” yoktu. Sadece kendimce tüm bu patırtının ne olduğunu anlamaya çalışıyordum. Daha en başlarda da bu risk

karşılaştırmalarını geliştirmeye başladım. Bunlar beni nükleer gücün yeterinden fazla güvenilir olduğu konusunda ikna etti. Eğer ben bir nükleer taraftarıysam bu, geliştirdiğim karşılaştırma yönteminin bir sonucudur.

Bu en önemli temel noktanın anlaşıldığından emin olmak için tekrar özetlemek istiyorum. “Otorite” bilim adamlarının en iyi tahminlerine göre, ABD’de kullanılan tüm elektriği nükleer güç istasyonlarından elde etmenin, ortalama bir Amerikalı’ya getirdiği risk, her 15 yılda fazladan 1 sigara içen bir tiryakininkiyse, ya da ağırlığını 0.34 gram oranında artıran fazla kilolu birininkiyse, ABD otoyol hız limitini saatte 90 km’den, 90.01 km’ye çıkarmakla aynıdır ve bu, küçük araba kullanmaktan 2,000 kez daha az risklidir. Eğer “Otorite” bilim adamlarına güvenmiyor ve UCS’nin, ABD’de en önde gelen nükleer karşıtı etkinin örgütün başkanı olan Ralph Nader’ın bilimsel danışmanlarının tahminlerini tercih ediyorsanız; o halde ABD’nin tüm elektriğini nükleer güçten elde etmenin riski, her üç ayda fazladan bir sigara içen bir tiryakinin, ağırlığını 22.7 gram artıran fazla kilolu birinin alacağı riskle ya da ABD otoyol hız limitini saatte 90’dan 90.6 km’ye çıkarmanın riskiyle aynıdır ve de küçük araba kullanmaktan 30 kez daha az risklidir.

Nükleer Gücün Risklerinin Kabul Edilebilirliği

Yukarıda anlatılanların amacı, nükleer gücün risklerini *anlaşılır* kılmaktır. Riskleri anlamamanın en iyi yolu, yakından tanıdığımız risklerle karşılaştırma yapmaktır. Ancak, biz onların *Kabul edilebilir* olup olmadığı sorusunu tartışmadık. Kabul edilebilirlik, risklerin öneminden başka diğer faktörleri de kapsar. İnsanlar kayak, oto yarışı, dağcılık gibi gönüllü riskleri, kirlilik [27] gibi istenmeyen risklere göre kabul etmeye daha yatkındırlar ve nükleer karşıtı etkinsiler de, nükleer gücün halk için istenmeyen bir risk teşkil ettiğini hemen belirtirler. Öte yandan bahsettiğimiz risklerin çoğu da istenmeyen ya da en azından önemli ölçüde istenmeyen yanları olan risklerdir. Yoksul insanlar, yoksul olmayı

tercih etmemiştir. Güneydoğu eyaletlerinde yaşamak, bir nükleer santrale yakın oturmaktan daha çok istenen bir şey değildir. Çoğunlukla olmasa da birçok durumda, bir bireyin mesleğini kişisel tercihindən çok koşullar belirler; kömür yataklarında büyüyen bir erkek çocuğu, genelde diğerk mesleki tercihlere pek yakıştırmaz ve zaten onları keşfetmek için de az bir şansı vardır. Sonuçta onun bir madenci olması, bu mesleğe gönüllü olmaktan çok uzaktır.

Otomobillerde yolculuk etmek, çoğu insanın isteyerek yaptığı bir şey değildir. Çünkü işlerine gitmek, yiyecek satın almak ve hayatın diğerk normal etkinliklerine katılmak için başkaka seçenekleri yoktur. Otomobile binmekten kaçınan biri, bu kez de motorlu taşıt kazalarının %20'sini oluşturan yaya kazalarına hedef olabilir. Diğerk kazaların büyük bir kısmı, istek dışı yapılan etkinliklere bağlıdır. Suda boğulanlar, çoğunlukla çocuklardır; ancak bir ebeveyn, çocuğa vereceğı psikolojik zararları göze almaksızın ona yüzmeyi yasaklayamaz. Boğulmaların dikkate değerk bir kısmı zorunlu bir faaliyet olan banyo alma sırasında gerçekleşir. Yangından, yanıklardan, düşmelerden, nefes kesilmesinden ölümler, genelde gönüllü olarak risk almanın birer sonucu değildir.

Bazı insanlar doğalk riskleri, insanın yol açtığı risklere tercih ederler, ancak ele aldığımız risklerin hemen hepsi insanların yol açtığı risklerdir. Yapay risklerle yaşamak, uygarlığın yararları karşılığında ödediğimiz bedeldir.

Bazıları sık sık görülen, fakat bir ya da birkaç insanı öldüren risklerin, aynı sayıda insanı bir anda öldüren büyük felaketlerden çok daha önemsiz olduğunu söylemektedirler. Büyük felaketlerle ilgili olarak küçük risklere oranla daha çok yayın yapan basın, ilk bakışta haklı gibi görünmektedir. Bu bakış açısına dayanarak bazı insanlar, pek çok hayat kaybına yol açabilecek olan, çok ender görülür kor erime kazalarına, aralıklı olarak çok daha fazla insanı öldüren hava kirliliğinden daha çok önem verirler.

Aslında bu konu fazlasıyla çarpıtılmıştır. Рационален Çalışması'nda düşünülen en kötü kor erime kazasının yol açacağı

kanserler bile, bugün hava kirliliği yüzünden ortaya çıkanlardan daha farkedilir olmayacaktı; bu kaza, radyasyona maruz kalanların riskini yalnızca yüzde birin yarısı kadar artıracaktı. Oysa normal kanser riski %20'dir ve coğrafya, ırk, cinsiyet, statü, vs.ye bağlı olarak yüzde birkaç değerlik farklılık gösterir. Tüm kor erimelerinin yalnızca %2'sinde tetkik edilebilir ölümler beklenir [21] ve Rasmussen Çalışması'nda varsayılan en kötü kor erimesinin bile, tetkik edilebilir birkaç bin ölüme yol açacağı düşünülmekteydi. Karşılaştırılabilir bir termik santral kazası daha yeni meydana gelmiştir ve 1952'de Londra'da birkaç gün içinde beklenenden 3,500 fazla ölümün görüldüğü bir hava kirliliği olayı olmuştur [3].

Reaktör koru erimleri, *potansiyel* kazalar olduğundan ve daha hiç görülmediğinden; diğer *potansiyel* kazalarla karıştırılmamalıdır. Birkaç saat içinde 200,000 insanı öldürebilecek baraj kazaları vardır ve bunların bir nükleer kor erime kazasından daha olası olduğu tahmin edilmektedir. Çok fazla insanın bulunduğu yerlerde çok fazla hayat kaybına yol açabilecek birçok potansiyel neden vardır. Bir spor stadyumunun üst tarafının çökmesi, kalabalık bir tiyatrodan yangın, büyük bir binanın havalandırma sistemine zehirli bir gaz sızması (bazı binalar 50,000 insan barındırır) bunlara birkaç örnektir. Bunlardan herhangi birinin meydana gelme olasılığı, tüm erimelerin yüzde birini oluşturan, büyük ölçüde hayat kaybına yol açabilecek reaktör kor erimelerinin olma olasılığından çok daha fazladır. Her potansiyel erime kazasının benzersiz, hatta görülmemiş ölçüde büyük bir felaket olduğu görüşü, korkunç derecede hatalıdır.

Ancak felaket niteliğinde bir kazanın, farkedilmeden ölen birçok insandan çok daha önemli olduğu fikrine, şiddetle karşı çıkıyorum. Bunu açıklayabilmek için, diyelim ki iki teknoloji var: A ve B. Bunlar sevilen bir malı üretiyorlar. A teknolojisi her yıl 100 insanı öldüren bir kazaya yol açıyor ve B teknolojisi bir yıl içinde aralıklı olarak ve farkedilmeksizin 1,000 kişiyi öldürüyor. Eğer A teknolojisinin yol açtığı felaket niteliğindeki kazadan korunmak için B teknolojisi

seçilirse, hiç gerek olmadığı halde her yıl 900 insan fazladan ölür. Bu 900 insana ve yakınlarına, ölmek zorunda olduklarını; çünkü basının büyük felaketler yayınlamaktan hoşlanmadığını nasıl açıklarsınız? Üstelik herhangi birimiz her yıl boş yere ölen bu 900 insandan biri de olabiliriz. Seçim yaparken, *toplam ölüm rakamları* ya da OÖK, göz önüne alınacak ilk unsurlar olmalıdır.

Eğer felaket niteliğindeki kazaların, fazla abartılmış önemini kabul etmeye zorlanıyorsak, en azından şu açıkça anlaşılmalıdır: Çok büyük sayılarda gereksiz ölümden basın sorumludur.

Hangi risklerin kabul edilebilir olduğu bilimsel bir soru değildir ve ben bir bilim adamı olarak, bu konuda uzman olduğumu iddia edemem. Riskleri ciddiyetle, oldukları gibi ve umarım anlaşılır ifadelerle sundum. Eğer bir vatandaş, nükleer güç santrallerinde üretilen elektriğin yararının, sürekli bir tiryakinin, birkaç ayda (ya da yılda) bir içtiği ekstra sigaranın, ya da fazla kilolu birinin kilosuna eklediği bir gramın bir bölümü kadarının, veya milli hız limitini 90 km'den saatte 90.1 km civarında bir rakama yükseltmenin ortalama bir vatandaşa yüklediği risk kadarına değmediğini düşünüyorsa, o zaman böyle bir fikre sahip olmaya hakkı vardır. Ancak bu durumda, nükleer elektriğin yerini tutacak bir öneri getirmeye mecburdur. Belki de şimdiki iki kısım, ona bu çabasında yardımcı olabilir.

Termik Santrallerin Yarattığı Hava Kirliliğinin Riskleri

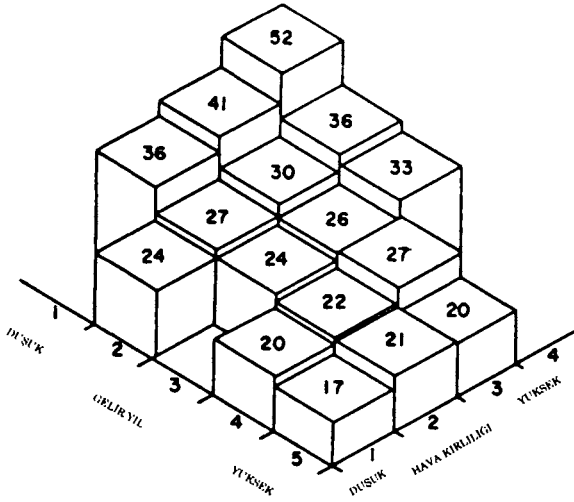
Bir riski ortadan kaldırmak, karşılığında daha büyük risklerin ortaya çıkmasına neden oluyorsa, bu açıkça, istenilenin tersini elde etmektir. Riskleri en aza indirme çabamızda, dolayısıyla, alternatif riskleri de göz önüne almalıyız. Bu kısımda termik santrali alternatif olarak alıyoruz; diğer alternatifler bir sonraki kısımda ele alınacaktır.

Bugünlerde bir kuruluş, yeni ve büyük bir elektrik güç santrali kurmayı gerekli görüyorsa, genelde iki seçeneği var-

dır: termik ya da nükleer santral. Halk sağlığı açısından önemli sorun, bu iki alternatiften hangisinin sağlık risklerinin daha büyük olduğudur. Nükleer riskten daha yeni bahsettik, öyleyse şimdi en azından yakın gelecek için çok büyük hava kirliliği demek olan termik santralin risklerine gelelim.

Hava kirliliğinin ölümlerin artması ile ilgili olduğunu gösteren en açık kanıt, yüksek kirlilik seviyelerinin olduğu zamanlarda görülen ve beklenenin çok üstünde ölümle sonuçlanan, birkaç felaket niteliğindeki olaydır [3]. Belçika, Meuse Vadisi'nde 1 Aralık 1930 olayında beklenin 60 kadar üstünde ölüm ve 6,000 hastalık vakası görülmüştü. Donora, Pennsylvania'da 1 Ekim 1948 olayında 4 gün içinde 20 ölüm görülmüş (normalde 2 ölüm bekleniyordu) ve vadide yaşayan 14,000 insandan 6,000'i hastalanmıştı. Londra'da 1948-1962 yılları arasında, her birinde beklenenin dışında yüzlerce ölümün görüldüğü en az 8 olay vardır ve bunların en büyüğü 3,500 kişinin öldüğü Aralık 1952 olayıdır. New York'ta binin üstünde ölümle sonuçlanan üç olay vardır; biri 360 ölümle sonuçlanan Kasım 1953, diğeri 500 ölümle sonuçlanan Ocak-Şubat 1963 ve sonuncusu da 160 ölüme yol açan Kasım 1966 olayıdır [28].

Erken ölüm ve hava kirliliği seviyeleri arasında bir bağ kurmak için en iyi yöntem, farklı hava kirliliği olan, farklı coğrafi alanlarla ölüm oranları arasında bir karşılaştırma yapmaktır. Ölüm oranlarını etkileyen ve coğrafi alana göre farklılık gösteren sosyo-ekonomik koşullar gibi başka faktörler de vardır. Veri, bunları eleyecek şekilde, tam olarak analiz edilmelidir. Örneğin Şekil 16'da Buffalo, New York'taki çeşitli yerleşim alanlarında, 1959-1961 yılları arasında, ortalama gelir ve ortalama hava kirliliğine karşılık, 50-60 yaşlarındaki erkeklerde ölüm oranlarını veren bir plan görülmektedir (toplam uçucu zerreciklerin seviyesi) [25]. Şekil'de görüldüğü üzere, kirlilik seviyesi arttıkça her bir gelir sınıfındaki ölüm oranları da artmıştır. Matematiksel bir analiz, hava kirliliği riskini tek başına saptayacak şekilde,



Şekil 16: 50-69 yaşındaki erkeklerde, Buffalo'nun yaşadıkları kesimindeki hava kirliliği seviyesi ve gelire karşılık görülen ölüm oranı (ölüm/yıl x 10^{-3}). Kaynak 25'ten. TSP (Total suspended particles), havadaki toplam parçacık sayısı anlamına gelmektedir.

bu etkiyi ayırır. ABD'deki çeşitli şehirleri birbiriyle karşılaştıran; ABD'deki tüm şehirleri İngiltere'deki çeşitli şehirlerle kıyaslayan böyle birkaç çalışma vardır [30]. Ayrıca belirli bir şehirde, özellikle New York ve Londra'da; sonra bazı diğer Amerikan şehirlerinde ve Tokyo'da hava kirliliği seviyeleriyle ölüm oranlarını günlük olarak karşılaştıran birçok çalışma [31] yapılmıştır. Bu çalışmalarda, günden güne değişmeyeceği için, sosyo-ekonomik unsurların bir etkisi yoktur; ancak hava kirliliğinin etkilerini ayrıca belirlemek için, matematiksel analizlerle elenmesi gereken, hava durumu ile ilgili unsurlar vardır.

Bu çalışmalar, hava kirliliği seviyeleri ve ölüm oranları arasında güçlü bir ilişki olduğunu saptamıştır. New York, Londra, Chicago, beş Japon şehri, Rotterdam, Oslo ve diğer şehirlerde yapılmış, geçici hastalıklarla ilgili hastane beyanlarını, sorgulamaları, akciğer fonksiyonu ölçümlerini vb. kapsayan ve hepsi de hava kirliliği ile bu durum arasında kesin bir ilişki olduğu sonucuna varan birçok çalışma da mevcuttur.

Bu analizleri, yazılı değerleri açısından ele alırsak, ABD’de her yıl hava kirliliğine bağlı 50,000 ölümün görüldüğü sonucuna varırız [30]. Bunların %20 kadarı termik santraller yüzündendir. Bununla birlikte bilim çevrelerinde bu rakamın çok büyük olduğuna dair bir inanç vardır. Okuduğum birçok yazıya ve sorunla ilgili olarak bilim adamlarıyla yaptığım görüşmelere göre benim vardığım sonuç, onların, termik santraller yüzünden yılda 10,000 ölüm olduğunu düşündükleri şeklindedir. Elektriğimizin yarısından biraz fazlası termik santrallerde üretilmekte ve kömürümüzün yarıdan biraz fazlası elektrik üretimi için yakılmaktadır; dolayısıyla elektriğimizin hepsi kömürden üretilseydi, ortaya çıkacak hava kirliliği her yıl 10,000 kişinin ölümüne neden olacaktı.

ABD’de her yıl toplam 2 milyon ölüm olduğuna göre, demek ki tüm Amerikalılar’ın %0.5’i, termik santrallerin yarattığı hava kirliliği yüzünden vaktinden önce ölmektedir. Tahminlerime göre, sıradan bir kurban, ortalama ömrünün 7 yılını kaybetmektedir; yani bu riske bağlı olarak tüm Amerikalılar için söz konusu ortalama OÖK ($0.005 \times 7 =$) 0.035 yıl, yani 13 gündür.

Yukarıdaki açıklamadan da anlaşılacağı gibi, bu sayı kesin değildir. 10 kat daha yüksek ya da 10 kat daha düşük olabilir. Nükleer karşıtı etkinsiler, olayların genelde tahmin edilenden çok daha kötü olabileceğini telkin etmek için sürekli olarak nükleer gücün radyasyon riskleri ile ilgili belirsizliği kullanırlar ve bu şekilde de oldukça fazla yol katederler. Ne var ki termik santrallere bağlı hava kirliliğinin sağlıksal etkilerindeki belirsizlik çok daha büyüktür.

Her durumda küçük bir soru işareti kalabilir, ancak nükleer karşıtlarının iddialarını kabul ettiğimiz takdirde bile, termik santrallere bağlı hava kirliliğinin neden olduğu OÖK’nın, nükleer sanayiye bağlı tüm radyasyon ve kazalardan önemli oranda daha büyük olduğu kesindir -13 güne karşılık 1.5 gün. 1. Bölüm’de yer alan, nükleer gücün termik santrallerden daha güvenli olduğunu göstermeye yönelik çalışmaların bu sonuca varmalarının temel nedeni budur.

Hava kirliliğinin sağlığa etkileriyle ilgili kanıtlar inkar edilemez olmasına karşın, bunları anlaşılır kılmak da çok zor bir iştir. En kolay ve dolayısıyla en sıklıkla ölçümlenen kirleticiler, sülfüroksit ve uçucu zerreciklerdir; yani tüm korelasyon çalışmaları da bunları temel alır. On yıl öncesine kadar, sağlığa verilen zarardan sorumlu maddelerin bunlar olduğu varsayılıyordu; ancak bu maddelere uzun süre yüksek miktarlarda maruz bırakılan hayvanlarda hiç hastalık etkisi görülmedi. Üstelik, soğutma kaynaklarından, yağ rafinerilerinden, küspe ve kağıt fabrikalarından gelen sülfüroksitin açık hava için normal sayılan miktarının 100 katına mesleki konumları nedeniyle maruz kalan erkeklerde de ciddi bir etkilenme görülmedi. Uçucu zerreciklerin normal açık hava seviyesinin 100 katının söz konusu olduğu iş alanları vardır ve önemli sağlıksal etkiler hiç görülmemiştir [32]. Bu bulgular karşısında, 1970'lerin ortalarında, sülfüroksitin havadaki diğer kimyasallarla girdiği kimyasal reaksiyonların sonucu olan "sülfat zerrecikleri"ni belirleme konusuna büyük bir önem verildi ve bunların zararlı olduğu anlaşıldı. Bazıları hâlâ bu görüşe sahiptir, ancak nisbeten yüksek seviyeli sülfat zerreciklerine uzun süre maruz bırakılan hayvanlarda, hastalık etkisi görülmemiştir.

Sağlıksal etkilerin olası sorumlusu olarak, hava kirliliğinin diğer bileşenleri düşünülebilir ve bunun için birçok da aday vardır: nitrojen oksit, arsenik, berilyum gibi zehirli metaller. Bunların bir kısmı, parçacıkların yüzeyine tutunma eğilimindedirler. Hepsi de incelenmiş olmasına karşın[32] bazı sağlıksal etkileri olduğuna ilişkin bir kanıt ya da güçlü bir görüş yoktur. Sağlıksal etkilerin, birlikte hareket eden bazı kirleticiler maddelerin karmaşık ilişkilerinin sonucu görülebileceği düşünülebilir. Olası durum da budur; ne var ki bunu ya da karşısını kanıtlamak çok zordur.

Belirli bir neden bulma konusunda en büyük zorluk, hava kirliliğinin sağlıklı insanları ani, tek bir darbeye öldürmemesidir. Aksine on yılları kapsayan bir süre içinde kalp-damar ve solunum sistemlerini sürekli olarak zayıflatır. İnsan

uygun yaşa geldiğinde de bu sistemler, tek bir küçük etki sonucu ölürler. Bu, mesleki etkilenim görmüş olanlar, hayvanlar ve kontrollü testlerde gönüllü denek olarak kullanılan üniversite öğrencilerinde hiç ölümcül etki görülmemesini de açıklar [32,33].

Sağlığı etkileyen hava kirliliğini oluşturan bileşenlerin hangileri olduğunu bilmediğimizden, bunları önlemede ne tür kirlilik kontrol teknolojilerinin etkin olacağını bilmemiz de olanaksızdır. Sürekli duyduğumuz “termik santralleri temiz hale getirebiliriz” ifadesi de umut dolu bir yalandan başka birşey değildir.

Diğer Enerji Teknolojilerinin Riskleri[1]

Termik santrallerin dışında, nükleer gücün belli başlı diğer alternatifleri petrol, doğalgaz, güneş enerjisi ya da enerji kullanımımızı azaltmak yoluyla tasarruftur. Burada yalnızca onların en büyük kusuru olan sağlıksal etkilerinden bahsedeceğiz. Bunlarla ilgili diğer sorunlar, bu kitabın değişik yerlerinde anlatılmıştır. Petrol yakan santraller, termik santraller kadar olmasa da hava kirliliği yaparlar ve toplam 4 günlük OÖK'ya yol açan yangınlara sebebiyet verirler [1]. Doğal gaz çok az hava kirliliği ve yangına neden olmakla birlikte 2.5 günlük OÖK'ya neden olan patlama ve oksijensizlikten boğulma olaylarına sebebiyet verir. Güneş enerjisinin³⁰ neden olduğu en büyük sağlıksal etki, güneş kolektörleri yapmak için gerekli büyük miktarlardaki çelik, cam ve betonu üretmek için yakılan kömürden kaynaklanır. Bu, termik santrallerle aynı miktarda enerji üretmek için yakılacak kömürün %3'üdür [4], yani sağlıksal etkileri termik santralin %3'ü kadar ya da tüm elektriği güneş enerjisinden elde edecek olursak 0.4 günlük bir OÖK kadardır. Çoğu bilim adamlarının tahminlerine göre bu, sağlık bakımından güneş enerjisini, nükleer enerjiden çok daha tehlikeli kılar. Diğer teknolojilerde kullanılan malzeme miktarları güneş enerjisi için gerekenden defalarca kez daha azdır.

Tüm elektrik enerjisi teknolojileri, bugün ortalama Amerikalı için 5 günlük bir OÖK demek olan elektrik çarpması sonucu ölüm riskini getirir. Bunun, nükleer karşıtı grupların tahminleri esas aldığı anda bile, nükleer enerjiyle elektrik üretmenin etkilerinden çok daha yüksek bir oran olması önemlidir. Güneş kaynaklı elektrik, evlerde üretilerek kullanılır hale getirilseydi, büyük olasılıkla bu risk defalarca katlanmış olurdu.

Nükleer güce son alternatif, çok fazla enerji kullanmadan yaşamak demek olan tasarruftur. Birçok insan, bunun en güvenli strateji olduğunu düşünür; ama belki de en tehlikelisi dir. Enerji tasarrufu yapmanın bir yolu da, daha küçük arabalar kullanmaktır. Oysa bunun 50 günlük bir OÖK'ya neden olduğunu göstermiştik. Üstelik bu, herhangi bir diğer enerji teknolojisinin riskinden defalarca kez daha yüksektir. Herkes küçük araba kullandığı takdirde tehlike bir ölçüde azalmış olur; fakat ölümcül kazaların çoğunluğu ağaclar, duvarlar gibi sabit nesnelere çarpma sonucu olur ve büyük kamyonlara, otobüslere çarpmak da önemlidir. Bu kazaların taşıdığı risk, küçük araba kullanımıyla önemli ölçüde artmış olur.

Yakıt tasarrufu, bisiklet kullanımını iki katına çıkarırsa, sonuçta ortalama Amerikalı için OÖK 10 gün olur. Bisikletler küçük arabalardan çok daha tehlikelidir; motosikletlerse ortalarda yer alır. Bir başka enerji tasarruf stratejisi, ısı kaybını önlemek için binaları sıkıca izole etmektir; bu da sağlıksız maddelerin içeride hapsolmasına neden olur. Bu maddelerden biri, doğal olarak radyoaktivite taşıyan; kumdan, sudan ve diğer inşaat malzemelerinden sürekli sızan bir gaz olan radondur. Hükümet önerilerine uygun olarak binaları hava sızıntısını önlemek amacıyla sıkılaştırmak ortalama bir Amerikalı için, artan radon etkilenimine [35] bağlı olarak 24 günlük bir OÖK demek olur ve bu da tasarrufu, *radyasyon* etkilenimi açısından en tehlikeli enerji stratejisi kılar.

Bunun yanında bir diğer tasarruf stratejisi, aydınlatmayı azaltmaktır. Düşmeler bize bugün 39 günlük bir OÖK verir;

böylece azaltılan aydınlatma %5 daha çok düşmeye neden olursa, bu 2 günlük bir OÖK demek olur. Azaltılan aydınlatma, cinayetleri %5 artırsa, bu fazladan 4 günlük bir OÖK anlamına gelir ve yol ışıklandırmasını azaltmak cinayetlerin sayısını %2 oranında artırır. Yani ömrümüz 4 gün daha kısalır. Burada önemli olan, bu OÖK'ların her birinin, nükleer karşıtı etkinsizlerin tahminleri kabul edilse bile, nükleer gücün yol açtığı OÖK'dan daha yüksek olmasıdır.

Aşırı sıkı enerji tasarrufunun en önemli potansiyel tehlikesi de, ekonomik olarak büyümeyi bastırarak azaltmasıdır. Elektrik arzımız bugün için yeterlidir, ancak bu sıralarda ekonomik durgunluk çağındayız. Ekonomik büyüme tekrar başladığında ya da başlarsa, ki bu yüzyılın geriye kalan her bir yılında ihtiyaç duyulacak 1 milyon ekstra işi sağlayabilmek için şarttır; yeni sanayi sahaları kurmak ve işletmek için daha çok elektriğe ihtiyaç olacaktır. Bu elektrik sağlanamazsa, o zaman tesisler yapılamaz ve güç santrallerinin inşaatı çok uzun yıllar aldığından, bu konuda bir şeyler yapmak için çok geç kalınmış olur. Ancak enerji tasarrufu şeklindeki baskılar yüzünden son birkaç yılda, yeni güç santrali inşaatlarının sayısı minimum düzeyde tutulmuştur.

ABD'de yoksul olmanın getirdiği OÖK'nın birkaç yıl olduğundan daha yeni bahsetmiştik. Varlıklı bir ülkede yaşayan yoksul, yine de milli refahın getirdiği sağlık hizmetlerinden önemli ölçüde payını alır -ücretsiz tıbbi bakım, yiyecek yardımları, işsizlik ödemeleri ve daha bir çoğu. Tüm milletin yoksul olduğu ülkelerde, durum çok daha olumsuzdur. ABD, Batı Avrupa, Avustralya ve Japonya gibi zengin ülkelerde, ortalama ömür yaklaşık 71 yıldır, oysa ortalama ömür örnek olarak seçtiğim diğer bazı ülkeler için şöyledir: Polonya ve Romanya'da 68, Meksika'da 61, Türkiye'de 55, Hindistan'da 45 ve bazı Afrika ülkelerinde 32 yıl [36]. Bu farklılıkların ırkla ilgili unsurlara bağlanmaması için şunu da belirtirim ki Japonlar diğer Doğu Asyalılardan 10 yıl, ABD'de yaşayan siyahlar da Afrikalı siyahlardan 20 yıl daha uzun yaşarlar. ABD'de yaşayan siyahlarla beyazların ortalama ömrünün,

karşılaştırmalı tarihi de şöyledir: 1900'de 20 yıllık bir fark vardı (52 yıla karşılık 32 yıl); oysa bugün fark 6 yıla düşmüştür ve bu da siyahların gelişen sosyo-ekonomik statüsünü yansıtır (bu konuda daha çok ilerleme kaydedilmesi gerektiğinin de göstergesidir kuşkusuz).

Bu istatistiklere göre, milli refahın azalmasının sağlık üzerinde yüzlerce günlük OÖK'lara varan felaket niteliğinde etkileri olabilir. Aşırı enerji tasarrufunun en büyük potansiyel riski, bizi yoksul bir millet olma yolundaki zorlu mücadeleye düşürecek olmasıdır.

Termik santralin getirdiği OÖK yalnızca 13 gün olduğundan, teknoloji alanında ihtiyacımız olan elektriği kullanmaktan çok daha az risklidir. Termik santraller, elektrik üretimi için kabul edilebilir bir alternatiftir, ancak nükleer enerjiyle kıyaslandığında çok daha kötü bir seçimdir.

Bazı insanlar, enerji tüketimimizi azaltmamızın kaçınılmaz olduğu; çünkü yakıtımızın tükendiği inancına sahip gözüküyorlar; ancak durum *kesinlikle* böyle değildir. Nükleer fisyonun, yakıt fiyatlarını artırmaksızın dünyanın ihtiyacı olan tüm enerjiyi kolaylıkla sağlayabileceğini birazdan göstereceğiz. Kimse enerjiyi *boşa harcamaktan* yana değildir, zaten boşa harcamak anlam itibarıyla de kötüdür. Bununla birlikte adil bir piyasa fiyatı ödemeyi kabullendiğimiz sürece kendimizi, enerjinin bize sağlayabileceği kolaylıktan, rahattan ve zevkten mahrum bırakmak için geçerli bir neden de yoktur.

Rizki Azaltmak İçin Harcama Yapmak

Riski anlamanın bir diğer yönü, risklerimizi azaltmak için ne yaptığımızı -ya da ne yapmaya karar verdiğimizizi- düşünmektir. Çok daha ucuza, daha büyük bir riski azaltabileceğimiz halde öyle yapmayarak, bir tek riski azaltmak için çok para harcamak mantıklı değildir.

Hayat kurtarmanın parasal maliyetini düşünmek bile ahlak ve insanlık dışı görünebilir; ancak gerçek şudur ki risklerimizin çoğu para harcamak yoluyla azaltılabilir. Bir-

kaç yıl önce, bazı otomobil markaları, isteğe bağlı güvenlik donanımı olarak hava yastıklarını önermişlerdi; fakat artık vazgeçtiler çünkü yeterli sayıda istek görmedi. Bunların etkinliği ve güvenilirliği kanıtlanmıştı -tüm arabalara konması halinde, yılda 15,000 hayatın kurtarılacağı tahmin edilmişti [38]. Bunların rahatı engelleyici ya da mahsurlu hiçbir yanı yoktur. Tek kusurları vardır -paraya mal olurlar. Herhalde Amerikalılar bir otomobil kazasında yaralanma ya da ölme risklerini azaltmak için para ödemeye ihtiyaç duymadılar.

Satın alabileceğimiz daha birçok otomobil güvenlik unsuru vardır -kaliteli tekerlekler, geliştirilmiş ışıklar ve arka camdaki buz çözücüler bunlardan sadece birkaçıdır. Sık sık tıbbi bakım için para harcayabilir, en iyi ve en deneyimli doktorlara gidebilir, evleri için en özenli yangından korunma donanımını alabilir; gidecekleri yere, uzun süren araba yolculukları yapmaktansa uçakla gidebilir ya da araba kiralayabilir ve daha güvenli semtlere taşınabilirler -bu liste sonsuzdur ve her biri de para demektir. Bu kısımda, çeşitli şekillerde para harcayarak hayat kurtarmanın ne kadara mal olacağını tartışalım. Kişisel çaba ve zamanın da gerektiği bazı durumlarda, bunlar için gereken makul miktarda parasal bir bedel de maliyete eklenecektir.

Örneğin dölyatağı kanseri için bir Pap testi yapmak, doktordan bir randevu alıp muayenehanesinde birkaç dakika geçirmeyi gerektirir; ancak kadınların çoğu 10 dolara mal olacak, gereksiz küçük işleri yapmayı tercih edeceklerdir. Bir Pap testi 20 dolara mal olur³¹; 10 dolar da zaman ve çaba için eklediğimizde toplam maliyet 30 dolar olacaktır. Yıllık olarak yapılacak her bir Pap testinin, bir kadının hayatını kurtarma olasılığı üçbinde birdir[39], yani her 3,000 testte bir (3,000 x 30 dolar =) 90,000 dolar karşılığında bir hayat kurtarılır. Bugün uygun yaştaki kadınların %50'si düzenli olarak Pap testi yaptırmaktadır [40]. Eğer siz diğer %50 içindeyseniz, hayatınızı kurtarmanın 90,000 dolara değmediğine karar vermişsiniz demektir.

Bu örnek, birkaç yıl önce tamamlanan ve tüm maliyetlerin 1975 dolar kuruna göre olduğu çalışmadan [37] alınmıştır. Diğer bazı hesapsal ayrıntılar İlaveler kısmında anlatılacaktır; ancak burada çalışmanın bazı sonuçlarına değineceğiz. Tüketici fiyat indeksi (TFİ) 1975'ten 1982'ye %75 artmış olduğundan, okuyucu bu unsuru, verdiğimiz maliyete ekmelelidir. Tıbbi maliyetler TFİ'den çok daha hızlı artmıştır.

Her evde bir yangın alarmı olduğu takdirde [41], her yıl yangınlarda, 2,000 daha az kişinin öleceği tahmin edilmektedir. Kurma ve bakım giderleri için en cömert şekilde harcama yapıldığında bile, harcanan her 60,000 dolar için bir hayat kurtulur. Fakat Amerika'da evlerin yalnızca %25'inde yangın alarmı vardır.

Öte yandan birçok Amerikalı, patlama tehlikesini azaltmak için kaliteli tekerlekler kullanmaktadır. Eğer herkes kullansaydı bu, yılda 5 milyar dolara mal olacaktı ve tekerlek patlaması yüzünden yılda görülen 1,800 ölüm vakasının hepsini engelleyecek; bu durumda kurtarılan her hayat 3 milyon dolara mal olacaktı. Birçok Amerikalı daha çok güvenlik sağlaması için ihtiyaçları olandan daha büyük arabalar kullanır; bu da kurtarılan her hayat için 6 milyon dolarlık maliyet demektir [37].

Açıkkası burada mantıklı bir yan yoktur. Bu, bazı insanlar hayatlarının 6 milyon dolara değdiğini düşünürken, diğerlerinin kendi yaşamlarını 90,000 dolara bile değer bulmaması sorunu değildir -kuşkusuz güvenlik nedeniyle daha büyük arabalar alan; ancak Pap testlerini boşveren birçok kadın vardır. Yeni arabaları için kaliteli tekerlekler alan, ancak fiyat/fayda oranı çok daha yüksek olan hava yastığını yaptırmayan binlerce de Amerikalı vardır. Sorun, Amerikalı tüketicinin fiyat/fayda oranını hesaplamamasıdır. Kararları genelde reklam kampanyaları, satıcı iş gruplarından gelen baskılar ve diğer birçok psikolojik ve sosyolojik unsur tarafından yönlendirilir.

Peki ya hükümet? Gelirimizin önemli bir miktarını bizi korumaları için eyalet hükümetlerine, milli ve yerel hükü-

metlere ödüyoruz. Hükümet, riskleri ve yararları belirlemek için bilim adamları ya da uzmanlardan kurulu bir hukuk heyeti kiralayabilir ve hatta bizi korumak için yeni yöntemler geliştirilmesini sağlayabilir; hükümetin, büyük çeşitlilikte sağlık ve güvenlik önlemlerini idare edecek parasal kaynağı ve yasal gücü vardır. Peki ama hükümet bu bağlamda ne derecede işlevsel olmuştur?

Önce kanser kontrol programlarını düşünelim. Hükümet çok daha yüksek sayıda kadının, yıllık Pap testini yaptırmasını sağlayacak düzenlemeler getirebilir. Bu Louisville, Toledo, Ostfold (Norveç), Aberdeen (İskoçya) ve Manchester (İngiltere) gibi birkaç şehirde yapılmıştır. Hatırlatmak için kişisel mektuplar gönderme ya da halk sağlığı hemşirelerinin ziyaretler yapmaları gibi düzenlemelerle %50 katılım sağlanmıştır [42]. Böyle düzenlemeler, artan bir maliyet demek olur, ancak testler de geniş ölçekli programda yapıldığında daha ucuza mal olur [39] -bir Mayo Kliniği programı, bunları 1960'ta 3.50 dolar ve bir İngiliz programı 1970'te her birini 2 dolar karşılığında yapmıştı- böylece her biri 50,000 doların altında bir maliyet karşılığında olmak üzere, her yıl binlerce hayat kurtarılır.

Uygulanabilecek diğer birkaç kanser kontrol programı daha vardır. Dışkıya yapılacak kan testleri kalın bağırsak ya da rektum kanserini, kurtarılan her hayat için 10,000 dolar gibi düşük bir maliyet karşılığı kontrol edebilir [43]. Bu kanserlerin çoğu, erkekler için en uygun olan 50-65 yaşları arasında yapılacak proktoskopik muayene ile kontrol edilebilir [44]; bu da kurtarılan her hayat için 30,000 dolar demektir. Oysa bu yaşlardaki sekiz erkekten sadece biri bu muayeneye gider. Akciğer kanseri, balgam sitolojisi ve röntgen muayeneleriyle kontrol edilebilir; Mayo Kliniğinde, çok fazla sigara içenler için uygulanan ve harcanan her 65,000 dolar için bir hayat kurtaran, bir program yürütülmektedir [45] ve Londra'da yürütülen iki program, bu maliyetin yarısı kadarına karşılık başarı göstermiştir [46]. Bununla birlikte her yıl yetişkin Amerikalılar'ın yalnızca küçük bir bölümü

kontrolden geçer ve hükümet destekli programlara çok az ilgi vardır. Kurtarılacak her hayat için tahmin edilen maliyet, kadınlarda kanserden ölümün başlıca nedeni olan ve erken teşhisle tedavisi mümkün olan meme kanseri için de aynıdır; ancak tüm kadınların yarısına hizmet verilmektedir ve yine büyük hükümet programları yoktur.

Yüksek tansiyon testleri, bu ülkede neredeyse moda olmuştur; fakat sorun, tetkikin ötesindedir. Tedavi oldukça etkindir, ne var ki bu hastalık, anında ortaya çıkacak hayati bir tehlike yaratmadığından birçok insan tarafından ihmal edilir. İyi örgütlenmiş bir tedavi programı, her 75,000 dolar için bir hayat kurtarır [48] ve bu paranın yarısı, hastaların çektiği zahmetlerin karşılığı olarak düşünülmüştür. Ancak böyle programlar geliştirilmemiştir.

Tıbbi bakımla hayat kurtarma konusunda özellikle etkin olan bir yaklaşım da, hareketli yoğun bakım üniteleridir (HYBÜ) [49]. Bunlar acil bir yardım çağrısına cevap verebilecek, iyi eğitilmiş tıbbi personel taşıyan, iyi donanımlı ambulanslardır. ABD'de meydana gelen tüm ölümlerin üçte biri kalp krizi yüzündendir (bunların da üçte biri 65 yaşın altındakilerde görülür) ve bu ölümlerin üçte ikisi de, hasta hastaneye yetişmeden önce gerçekleşir. HYBÜ hızlı, görüntülü koroner kontrol ve defibrilasyon hizmetleri sağlayarak bu sorunun üstesinden gelecek bir yöntem olarak geliştirilmiştir; fakat bugün yanık, travma ve diğer acil durumların tedavisi alanına da kaydırılmıştır. Büyük şehirlerdeki deneyimlere göre bunlar, 12,000 dolarlık maliyet karşılığında hayat kurtarırlar ve sonuç olarak her büyük şehirde de bulunurlar. Bununla birlikte küçük kentler için maliyet yükselir. Maliyet 30,000 dolara yükseldiğinde -40,000 nüfuslu bir kent için- çok pahalı olduğu düşünülür [50]. Daha doğrusu bir hayat kurtarmanın 30,000 dolardan fazlasına değmeyeceği düşünülür.

Tıbbi örneklerimizi özetleyecek olursak, her biri için 50,000 doların altında maliyetler karşılığında hayat kurtarılabilecek birçok uygun program vardır ve kurtarılan her ha-

yat için 100,000 dolara varan maliyetleri olan daha pek çoğu mevcuttur. Kurtarılabilecek olan hayatlar insan hayatlarıdır ve bir gün bizim hayatımız da söz konusu olabilir. Deniz aşırı ülkelerde hayat kurtarmak çok daha ucuzdur. Hindistan gibi kalkınmamış ülkelerde beslenme 5,000 dolar karşılığında bir hayat kurtarabilir [51] ve Endonezya'da 30 milyon dolar maliyetle 300,000 hayat kurtarabilecek bir bağışıklık programı vardır; yani kurtarılan her hayat için 100 dolar [52].

Ancak sağlık hizmetleri, hükümetin hayat kurtarmak için para harcadığı tek konu değildir. Çarpışmalar sonucu her yıl 35,000'in üzerinde Amerikalı otomobillerde ölüyor ve bu sayıyı otoyol ya da otomobil güvenlik donanımına yapılacak sayısız yatırımlarla azaltılabilecek birçok yol olmasına karşın da bir milyonun üzerinde insan ciddi olarak yaralanıyor.

Aslında bir bakıma bu yöntem denenmiştir. 1965-1974 yılları arasında, otomobillerde katlanır direksiyon mili, yumuşak gösterge tablosu gibi yeni güvenlik önlemleri yasal olarak şart koşuldu; ABD Genel Saymanlık Dairesi [53] harcanan her 140,000 dolar için bir hayat kurtarıldığını ifade ediyor. Ne var ki bu, istediğimizden çok yüksek bir miktar olmalı ki programa birdenbire son verildi. 1970-1973 yılları arasında otomobiller için 16 yeni güvenlik önlemi şart koşuldu ve o günden bu zamana pek bir ekleme yapılmadı. Yukarıda belirtildiği gibi, harcanan her 300,000 dolar için bir hayat kurtaran hava yastığı sistemi uygulanmadı.

Hayat kurtarabilecek birçok otoyol inşaat önlemi vardır. Örneğin her yıl yaklaşık 6,000 Amerikalı yol kenarındaki bariyerlere çarparak ölüyor. Çarpma etkilerinin çoğunu absorbe edebilecek, böylece de birçok hayat kurtartabilecek bariyer yapım teknikleri bilinmektedir [23]. Biz yine kurtarılan her hayatın mal olduğu parasal miktarlara dönelelim.

1976'da yayınlanan "Milli Otoyol Güvenlik İhtiyaçları Raporu" (National Highway Safety Needs Report) [55], çeşitli otoyol güvenlik önlemlerinin fiyat/fayda oranını tahmin etmek amacıyla federal hükümetin gösterdiği çabayı temsil ediyordu. Belirli bölgelerde bariyerlerin geliştirilmesinin yılda

her biri 34,000 dolara mal olacak 300 hayat kurtaracağı bulguları. Düzenleyici işaretlerde ve uyarı işaretlerinde yapılacak geliştirmeler, aynı birim maliyetine daha çok hayat kurtaracaktı. 50,000 dolarlık birim maliyetine her yıl yüzlerce hayat kurtaracak diğer önlemler, kaymaya karşı direnci geliştirmeyi ve daha güvenli trenyolu köprüleri ve korkuluklar tasarlamayı gerektiren inşaat tekniklerini içeriyordu. Ekspres otoyollara yanlış yönden girişi önleyecek standart teknikler, yılda 80 hayatı bu maliyet karşılığı kurtaracaktı.

Eğer kurtarılan her hayat için 100,000 dolarlık maliyeti kabulleniyorsak, yol kenarlarının kritik noktalarına konacak, çarpma etkisini absorbe edici aletlerle yılda 680 hayatı kurtarabilirdik. Yol ayrımlarına işaretler koyarak ve yüksek hız otoyollarındaki sert işaret ve ışık direklerini, kırılabilir olanlarla değiştirerek yılda 325 hayat kurtarabilirdik.

Belki de otoyol güvenliği için hükümet, otomobil güvenliği için ise vatandaş para ödediğinden dolayı otoyol güvenlik sistemleriyle kurtarılan bir hayatın maliyeti, otomobilin güvenliğine göre çok daha hızlı artar.

Sürücü eğitimi üzerine orta dereceli okullarda işlenen derslerin, yılda yaklaşık 6,000 ölümü önlediği ve bunun kurtarılan her hayat için 100,000 dolardan daha aza mal olduğu bulgulanmıştır [56]. Üstelik bu maliyete, harcadağı zaman ve çaba karşılığında her öğrenciye ödenecek 50 dolar da dahildir. Oysa bu programlara, tasarruf etmek için son verilmektedir.

Trafik güvenliği konusunu bitirmeden önce şunu da belirtmek gerekir; trafik kazaları sonucu meydana gelen her ölüme karşılık 40 ciddi yaralanma olur [2]. Bahsettiğimiz önlemler, ölümler kadar yaralanmaları da azaltacaktır. Hayat kurtaracak her türlü maliyetin karşılanması konusunda bir noktayı belirtmemekle de hata ettik; kurtarılan her hayat başına düşen maliyet, yukarıda verilenlerden daha düşüktür.

Görülüyor ki bazı hükümet kurumları, 50,000 doların altında bir maliyet karşılığında hayat kurtarmanın anlamını gör-

Konu	Kurtarılan her hayatın maliyeti	20 yıllık ömür beklentisinin fiyatı
Tıbbi kontrol ve bakım		
Dölyatağı kanseri	25,000	13,000
Göğüs kanseri	80,000	60,000
Akciğer kanseri	70,000	70,000
Kolorektal kanser		
Kan testleri	10,000	10,000
Proktoskopi	30,000	30,000
Çeşitli kontroller	26,000	20,000
Yüksek tansiyon kontrolü	75,000	75,000
Böbrek diyalizi	200,000	440,000
Hareketli yoğun bakım üniteleri	30,000	75,000
Trafik güvenliği		
Araba güvenlik malzemeleri- 1966-1970	130,000	65,000
Direksiyon milinin geliştirilmesi	100,000	50,000
Sadece sürücüye hava yastığı	320,000	160,000
Tekerlek kontrolü	400,000	200,000
Kurtarma helikopterleri	65,000	33,000
Üç noktalı emniyet kemeri	250,000	125,000
Diz seviyesinde koruyucu çubuk	110,000	55,000
Sürücü eğitimi	90,000	45,000
Otoyol inşaatları onarım çalışmaları	20,000	10,000
Düzenleyici ve uyarıcı işaretler	34,000	17,000
Bariyerlerin düzenlenmesi	34,000	17,000
Kaymaya karşı dirençlendirme	42,000	21,000
Köprü rayları ve korkulukları	46,000	23,000
Ters yönden girişin engellenmesi	50,000	25,000
Yol kenarında çarpmayı absorbe edici düzenekler	108,000	54,000
Yol ayrımı levhası, ışıklandırılmalar	116,000	58,000
Orta bariyerlerin geliştirilmesi	228,000	114,000
Yol kenarında açık alan	284,000	142,000
Radyasyonla ilgisiz çeşitli maddeler		
Endonezya'da bağışıklığın yaygınlaştırılması	100	50
Denizaşırı ülkelere yiyecek yardımı	5,300	2,500
Güç santrallerine yerleştirilecek sülfür filtreleri	500,000	1,000,000
Evlere yangın alarmları	60,000	40,000
Riskli işlere daha yüksek maaş	260,000	150,000
Kömür madeni güvenliği	22,000,000	13,000,000
Diğer madenlerin güvenliği	34,000,000	20,000,000
Kok kömürü dumanı	4,500,000	2,500,000
Hava kuvvetleri pilotunun güvenliği	2,000,000	1,000,000
Sivil uçaklar (Fransa)	1,200,000	600,000
Radyasyonla ilgili etkinlikler		
İçme suyunda radyum	2,500,000	2,500,000
Tıbbi röntgen ışını donanımı	3,600	3,600

OMB ²² önerileri	7,000,000	7,000,000
Radyoaktif atık çalışmaları -genel	10,000,000	10,000,000
Radyoaktif atık çalışmaları - ¹³¹ I	100,000,000	100,000,000
Yüksek seviyeli atığa karşı korunma	200,000,000	200,000,000

Tablo 2. Çeşitli toplumsal etkinliklerle kurtarılabilecek her hayatın maliyeti (1975 dolar kuruna göre) (sol sütun) ve ortalama ömre eklenen her 20 yılın maliyeti (sağ sütun)

mezden geliyorlar ve 200,000 dolarlık maliyetlere zaten yaşıyorlar. Ancak bu, Çevreyi Koruma Dairesi'nin insanları kirlilikten koruma çabası için geçerli değildir. Termik santrallerin hava kirliliğini kontrol gereçleri ile ilgili yönetmeliğinde, her durum için sülfür temizleme makinelerinin kurulması önerilmekte ve bu da kurtarılan her hayat için 500,000 dolarlık maliyete karşılık gelmektedir. Üstelik hava kirliliği, genelde ortalama 7 yıl ömrü kalmış yaşlı insanları etkilerken otomobil kazalarında daha yaşayacak ortalama 40 yılı olan insanlar ölmektedir.

Radyasyon söz konusu olduğunda Çevreyi Koruma Dairesi, daha da öteye gitmeye kalkışır. Radyum, tüm doğal sularda bulunan, doğal olarak ortaya çıkan bir elementtir. Bu hep böyle olmuştur ve hep de böyle olacaktır. Yine de ÇKD, radyum oranının normalin üstünde olduğu içme suları için, bunun bir kısmını arıtacak önlemler talep etmektedir. Bu da, kendi tahminlerine göre kurtarılabilecek her hayat için 2.5 milyon dolarlık maliyet demektir [57].

Bununla birlikte ÇKD, radyasyon etkilemini azaltmak için halkın cebinden bir yığın para harcamayı isteyen tek organ değildir. İdare ve Bütçe Bürosu, 1972'de kurtarılabilecek her hayat için 8 milyon doların söz konusu olduğu, her yerde nükleer reaktör güvenlik sistemleri kurulmasını talep eden bir öneride bulundu [58]. Nükleer güç santrallerinden normal radyoaktivite yayılımını kontrol etmek için, kurtarılabilecek her hayat başına 88 milyon dolarlık harcama talep eden Nükleer Yönetmelik Komisyonu da ondan aşağı kalmadı [59]. Ancak bunun ötesinde, NYK'nin özel maddeler

için özel kuralları vardır. Radyoaktif iyot ile ilgili yönetmelikler, kurtarılan her hayat için 100 milyon dolar demek olur.

Radyasyona maruz kalma yüzünden ölecek insanların hayatlarını kurtarmak için para harcama konusunda ortaya yeni bir şampiyon çıktı: nükleer atık. Bu, bir sonraki bölümde anlatılacak ve bu alanda kurtarılabilecek her hayat için nasıl yüzlerce milyon hatta milyar harcadığından bahsedilecektir.

Kurtarılan hayat başına maliyetlerin özeti burada verildi. Kaynak 36'da yer alanlar da Tablo 2'de gösterilmiştir. Ortalama ömrün 20 yıl artması için gereken maliyetler de verilmiştir. Sonuç olarak korkunç miktarlarda paranın boşa harcanması ve hayat kurtarma konusundaki mantıksız kararsızlıklarımız yüzünden birçok hayatın boşuna yitirilmesi söz konusudur. Tıp programlarına ve trafik güvenliği alanına harcanan paranın yetersizliği yüzünden her yıl binlerce Amerikalı boş yere ölmektedir. Oysa onları kurtarabilecek para, diğer tehlikeler yüzünden yitecek tek bir hayatı kurtarmak için harcanmaktadır.

Birinci bölümde, bu korkunç durumun nedenlerinden bahsedilmişti. Hükümet yetkilileri halkın ilgi gösterdiği alanlara karşı duyarlılık göstermek zorundadır. Böylece halk, otoyol güvenliği ve tıbbi tehlikelerden çok radyasyonun tehlikeleri ile ilgileniyorsa, hükümet, onları bu tehlikelerden korumak amacıyla diğer tehlikeler için harcadığından çok daha fazla para harcayacaktır. Bizimki gibi bir demokraside hedefleri halk belirler.

Sorun, halkın hangi alanda koruma gerekeceği konusundaki yanlış fikirlerinden; riski anlama, niceleme ve çeşitli riskleri uygun açıdan görme konusundaki başarısızlığından kaynaklanır. Ben bu yanlış anlama yüzünden basını suçluyorum. Eğer nükleer gücün hayali riskleri ile uğraşmak yerine toplumumuzdaki gerçek risklere daha çok önem verselerdi; her yıl Amerika'da binlerce hayat ve milyarlarca dolar boşa harcanmamış olurdu.

İlaveler

İlgilenen okurlar için burada, bu bölümde bahsedilen bazı sonuçların nasıl hesaplandığını göstereceğiz.

Önce reaktör kazalarının yol açtığı ortalama ömür kaybını, Nükleer Yönetmelik Komisyonu'nun çalışmasına göre hesaplayalım [20]. Bu çalışmaya göre her 20,000 reaktör yılı işleyiş için bir kor erime kazası ve bir kor erime kazası sonucu 400 ölüm beklenmektedir. ABD'deki tüm elektriğin nükleer güç santrallerinden elde edilebilmesi için 250 istasyona gerek vardır. Bu da yılda 250 reaktör yılı işleyiş demektir. Bu durumda her 80 yılda (20,000/250) bir kor erimesi olmasını bekleriz; dolayısıyla ortalama ölüm oranı da (400/80=)yılda 5 kişidir. Eğer ABD mevcut nüfusunu uzun zaman için muhafaza edecek olsaydı; her yıl 3,000,000 ölüm olacaktı. Yani, (5/3,000,000) her bir milyon ölümün 1.7'si nükleer kazalara bağlı olarak gerçekleşecekti. Nükleer kazaların kurbanları, ortalama ömürlerinden yaklaşık 20 yıl kaybederler (radyasyonun yol açtığı kanserler genelde maruz kalmadan sonraki 15 ile 50 yıl içinde gelişir). Bu da ortalama bir Amerikalı için ($1.7 \times 10^{-6} \times 20 =$) 34×10^{-6} yıllık bir ortalama ömür kaybı demektir. Bunu 365 gün/yıl $\times$ 24 saat/gün $\times$ 60 dakika/saat ile çarparsak, OÖK biraz önce belirttiğimiz gibi 18 dakika olacaktır.

DBB'nin tahminlerine göre her 2,000 reaktör yılı işleyiş için bir kor erime kazası ve her erime kazası için de 5,000 ölüm olasıdır. Bu rakamlar, NYK tahminlerinden sırasıyla 10 ve 12.5 kat daha yüksek olduğundan, [20] OÖK da $10 \times 12.5 = 125$ kat daha fazladır. Bunu 18 dakika ile çarpığımızda 2,250 dakika yani 1.5 gün sonucuna varırız. Dileyenler bir önceki paragrafta yapılan hesaplamaları deneyebilirler.

Yılda 0.2 mrem'e yani tüm bir hayat boyu (71 yıl $\times$ 0.2 mrem/yıl =) 14 mrem'e maruz kalmanın yol açtığı OÖK'yı he-

saplayalım. 2. Bölüm'de her bir mrem'in yol açtığı kanser riskinin 8 milyonda bir olduğunu bulguladık. Bunu 14 mrem ile çarparsak, tüm bir ömür için 1 milyonda 1.7 kanser riski demek olur. Yani NYK'nın reaktör kazalarının yol açmasını beklediği sonuçla aynıdır. Hesaplamanın geriye kalan kısmı da aynıdır; dolayısıyla da aynı sonucu yani 18 dakikalık OÖK'yı verir.

Bu, her milirem için 1.2 dakikalık OÖK'ya karşılık gelir (18 dakika /14 milirem). Three Mile Island kazasında bu bölgede yaşayan insanlar için söz konusu ortalama etki 1.2 mrem idi. Yani OÖK (1.2×1.2 yaklaşık $=$) 1.5 dakika idi.

Risk karşılaştırmaları, OÖK oranlamasına dayanır. Örneğin ağırlığa eklenen her kilo, 60 günlük bir OÖK demektir. Öte yandan DBB tahminlerine göre reaktör kazalarının yol açtığı OÖK 1.5 gündür. Bu da 1 kilo almanın 60 / 1.5 = 40 kez daha tehlikeli olması ya da alınan 1/40 kilonun eşit derecede tehlikeli olması demektir. Bunu her kilogram için 1000 gramla çarpmak alınan her 25 gramın aynı derecede tehlike içerdiği sonucunu verir.

Kurtarılan her hayat başına düşen maliyeti hesaplama konusunda bir örnek olarak, hava yastığı kullanımını düşünün. Allstate Sigorta Şirketine göre [38] bir hava yastığı kullanımı, gidilen her 100 milyon kilometre için beklenen ölüm miktarını 0.87 oranında azaltır. Dolayısıyla bir araba 50 bin kilometre boyunca kullanıldığında, 1 hayat kurtarma olasılığı ($0.87 \times 50,000 / 100,000,000 =$) $1/2,300$, yani 2,300'de bir olasılıktır. Bir hava yastığı yaklaşık 200 dolar ise, $1/2,300$ ile bölündüğünde 460,000 dolar olacaktır. Bunu başka bir şekilde ifade edersek, hava yastığına sahip her 2,300 araba karşılığında, ortalama bir hayat kurtarılacaktır. Maliyet de $2,300 \times 200$ dolar = 460,000 dolardır.

Bir başka örnek olarak Nükleer Yönetmelik Komisyonu'nun bir nükleer santralde kurulacak olan ve halkın³³ tüm üyeleri için söz konusu toplam etkiyi, harcanan her 1 dolar için 1 mrem azaltacak olan donanım talebini düşünün [59]. 2. Bölüm'de, maruz kalınan her 8 milyon mrem için 1 ölümcül kanser vakası bekleyebileceğimizi anlatmıştık. Yani bu talep, önlenen her ölüm için 8 milyon dolar harcamayı gerektirir.

5. BÖLÜM

Yüksek Seviyeli Radyoaktif Atığın Tehlikeleri - Büyük Masal

Halkın nükleer gücü yanlış anlamasının dördüncü ana nedeni, radyoaktif atıktan gelebilecek tehlikeler konusundaki yersiz korkudur. Enerji konusunda zeki ve bilgili olduğunu bildiğim kişiler bile bana, nükleer güç kullanımı ile ilgili en önemli endişelerinin, radyoaktif atıkların ortadan kaldırılması konusunda olduğunu söylediler. Buna genelde “çözümlelenmemiş sorun” denir ve birçokları da nükleer gücün, Achilles’in topuğu niteliğinde olduğunu düşünür. Bugün birkaç eyalet, atıkların ortadan kaldırılma sorunu çözülmediği sürece nükleer güç santrallerinin inşaatını yasaklama kararı almış durumdadır. Öte yandan atık idaresiyle ilgilinen bilim adamları radyoaktif atıkların ortadan kaldırılmasının önemsiz, teknik bir konu olduğu görüşündeler. Bu, benim yedi yıldır üzerinde araştırma yaptığım başlıca alanlardan biridir ve kesinlikle eminim ki nükleer gücün işleyişi sonucu çıkan radyoaktif atıklar, herhangi bir diğer büyük teknoloji sanayinin atıklarına göre çok daha az bir sağlıksal tehlike arz etmektedir. Açıkçası önümüzde anlatacak uzun ve karmaşık bir hikâye var.

İlk Bakış Açısı

Bu kadar çok tartışmaya açık olan bu madde nedir? İlk öğrenim yıllarında verilen fizik derslerinden biliyoruz ki madde ne yaratılabilir ne de yok edilebilir. Yakıt, enerji üretmek üzere yandığında yok olmaz; “atık” dediğimiz diğer formlara dönüşür. Uranyum, kömür ya da herhangi başka bir maddeyi yaktığımızda da durum aynıdır. Nükleer alanda “yüksek seviyeli atık” denilen bu kalıntılar, halkın başlıca ilgi odağıdır.

Başlangıç olarak nükleer atığı, tek bir büyük santralden çıkan benzeri bir atıkla karşılaştırmak ilginç olacaktır. Kömürün yanması sonucu çıkan atığın en yüksek oranda bulunan bileşeni, saniyede 250 kilogram dakikada 15 ton oranında ortaya çıkan karbon dioksit gazıdır. Karbon dioksit, özellikle tehlikeli olan bir gaz değildir; ancak kömür, petrol ve gazın yanmasıyla ortaya çıkan büyük miktarların, dünya iklimi üzerinde önemli etkileri olacağı konusunda büyük bir endişe vardır. Deniz seviyesini yükseltmesi sonucu New York, Miami, New Orleans ve Los Angeles gibi sahil şehirlerimizi sel basabilir ve Ortabatı tahıl alanımızı kurak bir yere dönüştürebilir [1]. Kömürün yanması sonucu yayılan en *tehlikeli* gaz, her beş dakikada 1 ton oranında çıkan sülfür dioksittir. ABD Senato Komitesi [2] tarafından yürütülen Bilimler Milli Akademisi'nin bir çalışmasına göre, tek bir santralden çıkan yıllık miktar 25 ölüme, 60,000 solunum hastalığı vakasına ve 25 milyon dolarlık maddi hasara yol açmaktadır. Kömürün yanması sonucu çıkan diğer bir tür kirlletici gaz, otomobillerden çıkan en önemli kirlletici olarak da bilinen, nitrojen oksittir -arabalarda pahalı kirlilik kontrol donanımı bulunmasının ve kurşunsuz benzin kullanımının önerilmesinin nedeni de budur. Bir tek santral 200,000 otomobilin yayacağı kadar çok nitrojen oksit yayar [3].

Bir de minik katı parçacıklar içeren duman söz konusudur. Termik santrallerden çıkan dumanın büyük ölçüde temizlendiği yolunda yaygın bir izlenim vardır. Oysa bu, yalnızca gözle görülür kirlilik yaratan büyük parçacıklar için geçerlidir. Daha zararlı olan küçük parçacıklar düşünüldüğünde, durum çok daha olumsuzdur. Çünkü bunlar, vücudun savunma sistemini aşır; akciğerin içlerine kadar ulaşabilirler [4]. Kömürün yanmasından çıkan diğer bir tür kirlletici, sonraki kuşaklarda kansere ve genetik bozukluklara yol açabilen "çokdöngülü hidro karbonlar"dır. Bunlardan en bilineni sigaranın içerdiği başlıca kanser yapıcı etken olduğuna inanılan benzpirendir. Kül ise, dakikada 2,200 kg oranında [5] üretilen bir katı madde yığınıdır ve ortadan kaldırıl-

ması sırasında çok güç bazı çevresel sorunlara, daha sonra anlatılacak olan ciddi ve uzun vadeli sağlıksal etkilere yol açar. Son olarak da, doğal olarak radyoaktif olan ve bir sonraki bölümde anlatılacağı gibi sağlıksal etkiler arz eden radon gazı içeren uranyum ve toryum vardır. Üstelik bunların sağlıksal etkileri nükleer santrallerden çıkan tüm radyoaktivitenin verebileceği zarardan çok daha fazladır.

Bir nükleer santralin atıkları, termik santral atıklarından çok büyük iki farkla ayrılır. Birincisi, söz konusu miktarlar bakımından farklıdır. Nükleer atık ağırlık olarak 5 milyon kez; hacim olarak da milyarlarca kez daha küçüktür. Bir yıllık işleyiştan çıkan nükleer atık, 1.5 ton ağırlığındadır ve hacimce 380 litrelik bir alanı işgal eder; yani sıradan bir oyun masasının altına rahatlıkla sığar, hatta yer bile kalır. Miktarları çok küçük olduğundan bu atıklar, benzer bir termik santralden yılda çıkan milyonlarca tonluk atık için asla söz konusu olmayacak bir itina ve yetkin bir yaklaşım ile ele alınır.

İkinci büyük fark, nükleer atıkların yaydığı radyosyona bağlı olarak bir sağlıksal tehdit unsuru oluşturmalarına neden olan *radyoaktiviteleridir*. Oysa kömür atıklarının sağlığa yönelik başlıca tehditi, kimyasal aktivitelerinden kaynaklanır. Bu, nükleer atıkların daha tehlikeli olduğuna gelmez -birçok karşılaştırmada temel alınan yaklaşıma göre, bunun tersi doğrudur. Örneğin bir termik santralden bir günde yayılan tüm kirlilik insanlar tarafından solunsaydı, 1.5 milyon insan ölebilirdi [8] ve bu, bir nükleer santral tarafından bir günde üretilen atığın insanlar tarafından yutulması ya da solunması sonucu ortaya çıkacak rakamın 8 katıdır[9].

Her iki tür atığın da tamamının insanlara ulaşması imkansız olduğundan, bu gerçek dışı bir karşılaştırmadır. Basit, ucuz ve kolay ortadan kaldırma teknikleri temel alınarak, daha gerçekçi bir karşılaştırmayı yapılabilir. Termik santraller için bu, hiç hava kirliliği önemi alınmamak ve atıkları süzmeden doğrudan açığa çıkarmak anlamına gelir. Za-

ten bu, birçok termik santraldeki en önemli kirlilik kontrolü olan duman arıtma tekniklerinin sağlık korunumuna çok az katkısı olması nedeniyle, bugün yapılmakta olandan çok daha kötü değildir. Hava kirliliğinin sonucu, yukarıda belirtildiği gibi, yılda her santral başına 25 ölümdür. Nisbeten ciddi olan bazı diğer sorunlar, bu bölümün sonraki kısımlarında ele alınacaktır.

Nükleer atıklar için kolay bir ortadan kaldırma yöntemi³⁴, -elde bulunan iyi bir teknoloji- cama dönüştürülen atığı okyanusta rastgele yerlere atmak olacaktır [10]. Bunu nasıl yapacağımızı bilmediğimizi kimse iddia edemez! Bu şekilde bir ortadan kaldırma yöntemiyle bir güç santralinde bir yılda üretilen atık, sonuç olarak, milyonlarca yıl zarfında deniz ürünlerini kirlletme yoluyla ortalama 0.6 ölüme neden olacak ve okyanus ekolojisine hiçbir zarar vermeyecektir. Aslında dünyanın tüm elektriği nükleer güçle üretilse ve tüm atık da okyanusa atılsa, deniz canlıları için söz konusu radyasyon dozu, bugün doğal radyoaktivite yüzünden var olan dozun %1'i oranında bile olmayacaktır.

Sonuç olarak nükleer ve kömür atıklarının ucuz, basit ve kolay ortadan kaldırma teknikleri bazında karşılaştırdığımızda, kömür atıkları insan sağlığına ($25 / 0.6 =$) 40 kat daha zararlıdır. Bu yaklaşım, termik santrallerin, sonra anlatılacak olan ve oranlamayı yüzün üzerine çıkaran bazı uzun vadeli sağlıksal etkilerini de hesaba katmamıştır.

Nükleer ve kömür atıklarının tehlikeleri arasında yapılabilecek en adaletli karşılaştırma, her biri için bugün geçerli teknolojiyi ele almaktır. Bu bölümün sonraki kısımlarında buna değineceğiz ve nükleer atıkların bu bağlamda binlerce kez daha az zararlı olduğunu göstereceğiz.

Nükleer ve kömür atıklarının karşılaştırılması konusunda diğer farklı yol, hangisinin bizi zehirli etkenlere daha az maruz bıraktığını düşünmektir. Amerikan şehirlerinin atmosferinde bulunan tipik sülfür dioksit seviyesi normal miktarın 10 kat üzerindedir ve bu oranlamanın aynısı, başlıca nitrojen oksitler için de geçerlidir [11]. Kanser yapıcı kimya-

sal maddeler için oran çok daha yüksektir [12]. Bu etkenlerin sağliksal etkilerini tam olarak bilmediğimizden, ciddi olarak endişe duymamız doğaldır. Öte yandan iyi işleyen bir nükleer sanayiden çıkan atıklar için radyasyonun etkileri doğal seviyelerin üzerine, yüzde birin bir kısmı kadar çıkacaktır [13].

Nükleer ve kömür atıklarını karşılaştırma konusunda başka bir temel, “güvenlik derecesi” ya da ortalama etkilenimlerin, insan sağlığına zarar vereceği kanıtlanmış olan oranın ne kadar altında olduğudur. Kömür atıkları için bu 10 faktöründedir. Beklenenin üzerinde yüzlerce ölümün görüldüğü ve sülfür dioksit seviyelerinin bir metre küp başına 1,000 mikrogram (mg/m^3) olduğu birkaç hava kirliliği olayı yaşanmıştır. Oysa Amerikan şehirleri için yalnızca on kat daha az yani metre küpte 100 mg küplük seviyelere çok rastlanır [14]. Öte yandan, radyasyon için, nükleer atıkla ilgili varsayımsal sorunlar çıkması sonucu beklenen etkilenimler 1 mrem ya da daha azdır; yani insan sağlığına zarar vereceği yolunda kesin kanıt olan seviyelerden binlerce kat daha düşüktür [13].

Kömür atığının nükleer atıktan daha tehlikeli olmadığı - potansiyel, varsayımsal, gerçekçi olarak ya da ne dersiniz deyin- sonucuna vardığım tek karşılaştırma şekli, kilograma kilogram bazındadır. Bu aslında adil bir karşılaştırma değildir; çünkü belirli bir miktar elektrik üretimi sonucu çıkan her bir kilogram nükleer atık karşılığında 5 milyon kilogram kömür atığı çıkmaktadır.

Yüksek Seviyeli Radyoaktif Atık - Tehlikeleri ve Koruyucu Önlemler

Nükleer güç hakkında bana en sık sorulan soru “Radyoaktif atıkları ne yapacağız?” şeklindedir. Cevap çok basit: Atıkları kayaya dönüştürüp; kayaların doğal ortamı olan, yerin altına gömeceğiz. İkinci soru da genelde, “Bunun güvenli olacağını nereden biliyorsunuz?” olur. Bu sorunun cevabı, bu kısmın ve sonrakinin konusudur

Tüm anlatacaklarımız, bir yılda, bir büyük güç santrali tarafından üretilen yüksek seviyeli atıkla ilgili olacaktır. Bu tip bir santraldeki atıklar, yakıt çubuğunda; yani içinde uranyum yakıtı silindirlerinin yer aldığı 3.7 metre uzunluğunda, 1.5 cm çapında tüplerin içinde bulunur. Bunların üçte biri, yani yaklaşık 30 tonu her yıl reaktörden çıkarılır ve gemiyle, bir kimyasal tekrar işleme tesisine gönderilir. Burada yakıt, asit içinde çözülerek, ileride tekrar kullanılmak üzere uranyum ve plutonyumun %95'i ayrılır. Geriye kalan 15 tonluk yüksek seviyeli atık, her biri 36 cm çapında, 3 metre uzunluğunda ve 450 kg ağırlığında [15] 30 silindir formunda cama dönüştürülür. Atık formu olarak camdan daha üstün malzemeler üzerinde birçok çalışma vardır; ancak bugün hakkında en çok bilgiye sahip olduğumuz malzeme olan, üretimi basit ve gelişmiş camın yetersiz olduğu konusunda hiçbir kanıt yoktur [16]. Doğal birçok kaya camdır ve diğer kayalar kadar dayanıklıdır.

Yaklaşık bir kamyon yükü olan bu 15 tonluk atık cam, gemiyle bir federal depoya gönderilir ve burada sürekli kalmak üzere toprağın derinlerine gömülür. ABD Enerji Bakanlığı, bu atık depolama teknolojisini geliştirmek ve uygun yerler seçmek için yılda 200 milyon dolar harcamaktadır. Bu para da nükleer elektrik için ödenen vergilerden karşılanır. Bir kamyon dolusu atığı yüklemenin ve depolamanın maliyeti 5 milyon dolardır [17], bu da kilowat/saat başına 0.07 cent; yani elektriğin tüketiciye maliyetinin %1'i kadar demek olur. Bana sık sık "bölgemizde atık çöplüğü olan bir alan istemiyoruz" deniyor. Bu akla, yukarı tırmanıp arkalarındaki çöprü yerdeki bir çukura boşaltan çöp kamyonlarının görüntüsünü getiriyor. Eğer böyle yapılıyor olsaydı, her bir kamyon yük 5 milyon dolara mal olmazdı. Aslında dikkatli bir araştırma ve ayrıntılı bir mühendislik incelemeden geçirildikten sonra atıkların yeraltına kazılan bir boşluğa yerleştirilmesi planlanmaktadır.

Burada şunu da belirtmek yerinde olur: bugün bir yıllık atığın depolama maliyeti, 1960'ta yapılan orijinal planın

maliyetinden *birkaç* yüz kat daha yüksektir. İlk planı ayrıntılarıyla bilenler, bunun hâlâ yeterli güvenlik sağladığı görüşündedirler; buna karşın, artırılan maliyetlerle daha fazla güvenlik sağlanmıştır. Proje alanındaki harcamaların bu derece artırılmış olması, bizimki gibi demokrasilerde, halkın yaptırım gücüne karşılık ödenmiş bir bedeldir -bu konuda haklı olsalar da olmasalar da. Bu aynı zamanda Parkinson Kanunu'nun da bir uygulamasıdır -elektrik maliyetinin yüzde bir ya da ikisini, atığın ortadan kaldırılması için kullanmak uygundu, yani para "mevcut"tu ve devlet de, onu kullanmanın uygun yollarını buldu.

Yakıt depolarının birçok güvenlik analizi yapılmış [19] ve hepsinin sonucunda da en büyük tehlikenin, atığın bir şekilde yeraltı suyuyla temas etmesi, çözünmesi ve yeraltı suyuyla birlikte kuyulara, nehirlerle ve toprağa taşınması olduğu saptanmıştır. Böylece atık içme suyu kaynaklarını kirletir ve bitki kökleri yoluyla yiyeceklere bulaşır; dolayısıyla da insan vücuduna gider.

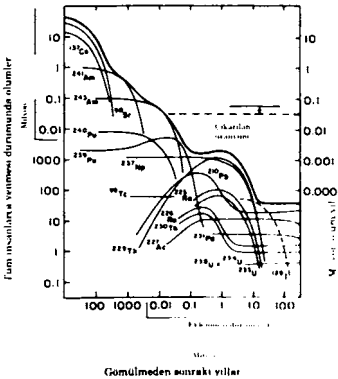
Havada toz olarak asılı kalıp, insanlar tarafından solunma olasılığı çok daha düşüktür, çünkü yeraltı suyu ender olarak yüzeye çıkar; üstelik günde 0.001 gram toz yutarız³⁵ (ve bunun %95'i burundaki tüyler, gırtlak, nefes borusu ve bronşlar tarafından süzülür ve salgı ile dışarı atılır; [18]) oysa günde 1,000 gramdan fazla yemek yeriz. ABD toprağının üst kısımlarında bulunan bir atomun toz olarak havada asılı kalıp, bir insan tarafından solunma olasılığı, ortalama olarak yılda 10 milyarda birdir. Oysa yeraltı suyunun, çözül-müş atığı getirip içine boşaltacağı bir akarsuda bulunan atomun insan midesine girme olasılığı 10 binde birdir. Dolayısıyla bir atık atomunun insan vücudu içine yiyecek ya da suyla girme olasılığı, solunum yoluyla toz olarak girme olasılığından çok daha yüksektir.

Yerdeki radyoaktif maddelerin harici olarak etkilenmeye yol açması çok daha küçük bir sorundur. Kaya ve toprak, mükemmel kalkan maddeleridir; atık gömülü kaldığı sürece, bir tek radyasyon parçacığının yüzeye ulaşması düşünüle-

mez³⁶ -bunu, her saniye bize çarpan doğal kaynaklı 15,000 radyasyon parçacığı ile karşılaştırınız (bkz. 2. Bölüm). Radyoaktivite yeraltı suyu ile açığa çıksa bile, yeraltında akar-suda çözülmüş halde kaldığı sürece bu kalkan görevi gören maddeler etkilerini sürdürür. Eğer radyoaktivite, bir şekilde zemin yüzeyinde birikirse yağın yağmurlarla kısa sürede toprak içine tekrar girer. Radyasyonun büyük kısmı, bina malzemeleri, giysiler ve hatta hava tarafından absorbe edilir. Dolayısıyla zemindeki maddelere bağlı olarak, insan vücudu için çok az etkilenim söz konusu olacaktır.

Nicel hesaplamalara göre [20] yiyecek ve su alımı, radyoaktif atıkların yol açtığı etkilenimlerin en önemli yoludur. Bu durum, tüm güvenlik analizlerinde kanıtlanmıştır [19]. Biz de ele alacağımız konuyu bununla sınırlandıracağız. Tehli-ke konusunda tahmin yürütebilmek için, atıktaki çeşitli radyoaktif maddeleri yemenin ya da içmenin getireceği kanser riskini belirlemekle işe başlayalım.

Bu hesaplamayı yapmak için kullanılan yöntem İlaveler kısmında verilmiş; sonuçlar da [21] Şekil 17'de gösterilmiştir. Şu an için diğer çizgilerin üzerinde yer alan kalın çizgiye bakmamız yeterlidir. Bu, bir santral tarafından bir yılda üretilen tüm atığın, insanlar tarafından alınması durumun-da beklenecek olan kanserlerin sayısını gösteren bir plandır.



Eğer bu, gömülmeden hemen sonra gerçekleşirse, Şekil 17'ye göre 50 milyon kanser bekleriz; 100 yıl sonra yapılırsa 300,000 ve bir milyon yıl sonra da 2,000 ölüm bekleriz. Bu rakamın kaç kişilik nüfus için geçerli olduğu farketmeyeceğinden belirtilmemiştir³⁷.

Bugün ABD'deki tüm elektrik nükleer güçten elde edilseydi, 250 santrale ihtiyacımız olurdu. Böylece her yıl üretilen atık (250 x 50 milyon =) 10 milyarın üzerinde insanı öldürmeye yeterdi. Son 35 yıldır, onbinlerce veri sunan 200 bilimsel rapor yazdım, ancak bu "10 milyarın üzerinde" ifadesi en sık kullanılmış olanıdır. Ender kullanılanlar, bununla birlikte verilen rakamlardır [20] -her yıl 400 trilyon insanı öldürecek kadar klor gazı, 20 trilyonu öldürecek kadar fosfor, her biri 6 trilyonu öldürecek kadar amonyak ve hidrojen siyanid, ve 10 milyarı öldürecek kadar da arsenik trioksit üretiriz. Tüm bu rakamlar, radyoaktif atık için olduğu gibi, *hepsinin* insan vücudu tarafından alınması varsayımı üzerine hesaplanmıştır. Umarım bu karşılaştırmalar, "nükleer elektrik üretmekle görülmemiş miktarlarda zehirli madde de üretmiş oluyoruz" şeklindeki korkuyu da çözümler.

Şekil 17'nin bir uygulaması, sindilir şekle dönüştürülmüş atık camın ne kadarının yenmesi durumunda, bir insanı öldürmek için yüksek bir olasılığa sahip olacağını tahmin etmektir -buna "öldürücü doz" denebilir. Bunu, atık cam miktarını, yani 16 tonu, Şekil 17'deki eğriyle ifade edilen değerlere bölerek kolayca hesaplayabiliriz ve sonuçlar da şöyledir:

gömmeden hemen sonra:	0.28 gr
100 yıl sonra:	2.8 gr
600 yıl sonra:	28 gr
20,000 yıl sonra:	0.5 kg

İyi bilinen kimyasal maddelerin öldürücü dozları da şunlardır [22]:

Selenyum bileşikler:	0.28 gr
potasyum siyanid:	0.56 gr
arsenik trioksit:	2.8 gr
bakır:	19.86 gr

Nükleer atıkların zamanla daha az zehirli hale gelmeleri önemlidir; çünkü radyoaktif maddeler çürür ve zararsız bir posa bırakırlar. Ancak listede belirtilen kimyasallar sonsuza kadar zehirli kalırlar.

Bu iki listeyi karşılaştırdığımızda görüyoruz ki radyoaktif atık sonsuz derecede zehirli değildir ve aslında her zaman kullanılan bazı kimyasallardan daha zehirli de değildir. Örneğin bazı bitki ve böcekleri yok etmek için kullanılan arsenik trioksit, bitkilerin yetiştiği yerlere aralıklı olarak dökülür ya da meyve ve sebzelerin üzerine püskürtülür. Ölümcül dozları bir gramdan küçük olan diğer zehirli kimyasallar gibi o da, toprakta doğal mineral olarak bulunur.

Atık, 600 yıl sonra zehirliliğinin %99'unu kaybettiğinden, bizim asıl ilgi alanımızın *kısa vadeyle* yani ilk birkaç yüzyılla sınırlı olması gerektiği sık sık söylenir. Bazı insanlar, yüzyıllarla ifade edilebilecek bir zaman dilimi için söz konusu olan güvenlik gereksinimi konusunda bile aşırı telaşlanırlar. Kurduğumuz yapıların çok azının onca zaman ayakta kalacağını; siyasal, ekonomik ve sosyal yapılarımızın bu süre içinde belki de tamamen değişmiş olacağını belirtirler. Bu yargıdaki yanlışlık, çevremizin, birçok şeyin gerçekten birkaç yüzyıl boyunca dayanamayacağı dünya yüzeyinde yer almasından kaynaklanır. Bununla birlikte, yeryüzünün 600 metre altında bir kaya olsaydınız, çevreyi çok farklı bulurdunuz. ABD'nin 300 metre altındaki tüm kayaların birer gazetesisi olsaydı, 1 milyon yılda bir kereden fazla basılmazdı, çünkü bildirecek haberleri olmazdı. Bu derinlikteki kayalar, on milyonlarca yıl boyu hiçbir şey olmadan orada dururlar. Nadiren depremler ve diğer yeraltı olayları sonucu sallanabilir, hatta çatlayabilirler; ancak bu onların konumlarını ya da çevreyle olan etkileşimlerini değiştirmez.

Atıktaki *uzun vadeli* zehirliliği açıklamanın bir yolu, onu zemindeki doğal radyoaktivite ile karşılaştırmaktır. Zemin daima, doğal olarak radyoaktif maddelerle doludur -özellikle potasyum, uranyum ve toryum. Uzun vadeli düşünürsek (binlerce yıl ya da daha fazla) radyoaktif atığımızı gömmek,

ABD kayaları ve toprağının 600 metre üzerindeki toplam radyoaktiviteyi yalnızca 10 milyonda bir artıracaktır [5]. Radyoaktivite, bir atık deposunda daha yoğun miktarda bulunur; ancak bu önemli değildir. Kanser sayısı yalnızca insanlarca alınan toplam radyoaktif atomlara bağlıdır ve bu atıkların tüm ülkeye yayılmak yerine bir bölgede toplanmaları halinde bu sayının artması için hiçbir neden yoktur. Aslında durum tam tersidir: dikkatle seçilmiş bir alanda eğitimli birçok güvenlik elemanı gözetiminde yerin *çok altına* gömülmüş ve düzenli denetim altında tutulmakta olan atıklardan bir atomun insan midesine girme olasılığı, rastgele bir yerde bulunan atomunkinden çok daha düşüktür. Sırası gelmişken, yerin çok altındaki doğal radyoaktivitenin insan sağlığına hiçbir zararı olmadığını belirtmek gerekir [5]. Bu da onun zararsızlığı konusunda bir küçük artı puandır.

Atığın bir bölgede yoğunlaştırılmasının tehlikeyi artırmayacağını belirttiğimde dinleyiciler genelde, bunun risklerin orada yaşayan nisbeten az sayıdaki insan için yoğunlaşmayacağı anlamına gelmediğini söylerler. Bu doğrudur tabii; ama herhangi bir diğer çevresel sorun için de geçerlidir. Biz Pittsburg'ta yaşayanlar, tüm ülke için çelik üretimi yapılması sonucu çıkan hava kirliliğinden muzdaribiz, Houston ve birkaç diğer şehirdeki insanlar petrol ürünlerimizi sağlayan petrol rafinelerinin yol açtığı sağlık tehlikelerinin sıkıntısını çekmekte ve benzer daha birçok örnek verilebilir. Bu haksızlıkların sağlığa verdiği zarar, bir nükleer atık deposu yakınında yaşamının vereceği zarardan binlerce kat daha büyüktür.

Şekil 17, atığı çıkaran yakıtı elde etmek üzere yerden çıkarılan uranyum filizinin zehirlilik oranını gösterir. Bu oran, atığın 15,000 yıl sonra sahip olacağı zehirlilik oranından daha yüksektir. Sonuç olarak gömülü atığın tehlikesi, filizin hiç çıkarılmamış olması durumunda doğacak tehlikeden daha düşüktür³⁸. 100,000 yıl sonra deponun üzerindeki zeminde (örneğin gömülü yakıt ve yüzey arasında) depoya değil; kayadaki doğal radyoaktiviteye bağlı olarak daha fazla radyoaktif zehirlilik olacaktır [5].

Gömülen atığı paketlemenin şematik bir diyagramı Şekil 18'de gösterilmiştir. Bu, tehlikeyi en aza indirmek için sistem içine yerleştirilen önlemleri algılama konusunda da aydınlatıcı olacaktır. Zehirliliğin oldukça yüksek olduğu ilk birkaç yüzyıl için, atığın yeraltı suyu aracılığı ile kaçmasını önleyecek birçok önlem alınır. Bunların ilki ve en önemlisi olarak atık, çok az yeraltı suyu akışı olan ya da hiç olmayan ve jeologların bu konuda kesinlikle emin oldukları bir kaya formasyonu içine gömülür. Eğer jeologlar yanılırsa ve atığın gömülü olduğu kaya formasyonu içinde önemli miktarda bir yeraltı suyu akışı olursa, önce kayanın büyük bir kısmını çözmesi gerekecektir -atığın yarısı çözülmeden önce kayanın yaklaşık yarısının çözülmesi gerekir. Atık, tuza gömülmüşse bu unsurun çok az koruma sağlayacağı düşünülebilir. Çünkü tuz suda hemen çözünür. Bununla birlikte deneysel bir depo alanı olarak bilinen New Mexico bölgesinde, yeraltından akan tüm suyun tuzun içinden geçmesi sağlansa bile bir depoyu çevreleyen tuzun erimesi bir milyon yıl alacaktır [20]. Tuz miktarı çok fazladır; oysa su akışı bir dereden çok, zemin içinde yavaşça ilerleyen rutubet şeklindedir.

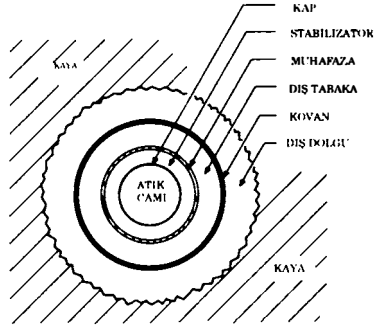
Bir sonraki koruma tabakası olan atık paketini saran dış dolgu maddesi (bkz. Şekil 18) ıslandığında suyu dışarıda tutmak için şişecek olan bir sıvadır.

Eğer su, dış sıvayı aşacak olursa atığa ulaşmak için camın içinde bulunduğu metal muhafazayı aşması gerekecektir. Bu muhafazanın malzemesi, aşınmaya karşı çok etkin dayanıklılık sağlamak üzere geliştirilmiştir. Bugün en uygun malzeme, çok sıcak (bir depo içinde beklenen en yüksek sıcaklık 120°C olmasına karşın 250°C'de) bir yüksek aşındırıcı solüsyonda test edilmiş olan titanyum alaşımıdır. Olağanüstü koşullarda elde edilen bu aşındırma oranları bile sızıntıyı bin yıl önleyecek derecededir [23]. Daha normal yeraltı suyu koşulları söz konusu olduğunda bu muhafazalar, bütünlüklerini yüzbinlerce yıl koruyacak ve hepsi başarısız olsa bile kendi başlarına oldukça yeterli bir korunma sağlayacaklardır.

Diğer koruma tabakası, cam formunda olan ve çözünmeyen atıktır. Eski Babil'den kalma camdan, küçük heykeller, nehir yataklarında sürekli akan nehir suyuyla -yavaş yavaş yayılan ve daha çok yeraltı suyunu ifade eden rutubetle değil- 3,000 yıl boyunca yıkanmış ve çözünmemiş olarak bulunmuştur [24]. Toprağa gömülü ve yeraltı suyuyla ıslanmış olan atık camı ile ilgili olarak Kanadalılar'ın yaptığı bir deney [25], bunun yüz milyonlarca yıl dayanacağını gösteriyor- örneğin yılda yalnızca 100 mil yonda biri çözünür.

Ancak diyelim ki her nasılsa atığın bir kısmı yeraltı suyunda çözündü. Yeraltı suyu çok yavaş ilerler; günde 30 cm'den az -New Mexico bölgesinde ise günde 25 cm kadar [26]. Üstelik yerin çok altındaki su, hiç neden yokken dikey olarak yüzeye yönelmez; yatay olan kaya tabakalarını izler, dolayısıyla da yüzeye ulaşmadan önce 80 km yol alması gerekir- New Mexico bölgesinde ise 160 km'den fazla [26]. Herkes 80 km almasının günde 30 cm hızla 1,000 yıl alacağını kolaylıkla hesaplayabilir; yani yine, bizi en çok ilgilendiren birkaç yüzyıl için koruma sağlanmış olur (uzun vadeli etkilerden daha sonra bahsedilecektir).

Ancak radyoaktif madde, yeraltı suyunun hızıyla hareket etmez. Kaya maddesi tarafından sürekli süzülür ve sonuçta yeraltı suyundan yüzlerce hatta binlerce kez daha yavaş yol alır [27]. Yeraltı suyunun yüzeye ulaşması için 1,000 yıl ge-



Şekil 18. Gomülen atığın paketlenmesini gösteren şematik diyagram. Bileşenler şöyledir: -cama çevrilen atığın kendisi. Kap- camı ilk olarak saran paslanmaz çelik tabaka. Stabilizatör- atığın fiziksel ve kimyasal dayanıklılığını artırmak için dolgu maddesi. Muhafaza- suyun aşındırmasına karşı aşırı dayanıklı özel malzeme (su geçirmezdir). Dış Tabaka- aşınmaya karşı ekstra dayanıklılık ve yapısal destek sağlar. Kovan- delinmeye karşı destek ve yapısal destek sağlar. Dış Dolgu- atık paketi ve kaya arasındaki boşluğu doldurur ve suyu dışarıda tutmak için ıslandığında, eğer atık çözülürse, suyla birlikte gitmesini engeller.

rekiyorsa, radyoaktif maddenin yüzeye ulaşması için yüzbinlerce hatta milyonlarca yıl gerekir. Üstelik yol boyunca atık maddelerin solüsyon içinden çıkıp kayanın *sabit* bir parçası haline gelmesini sağlayacak birçok durum vardır [28].

Böylece atığın, çok zehirli olduğu birkaç yüzyıl içinde dışarı çıkmasını önleyecek 7 koruma tabakasını gördük- (1) yeraltı suyunun olmaması (2) çevredeki kayaların çözünmezliği, (3) dış dolgu maddesinin tam olarak kaplanması, (4) metal muhafazanın aşınmaya olan dayanıklılığı, (5) atık camının kendisinin çözünmezliği, (6) yeraltı suyunun yüzeye ulaşması için gereken uzun zaman ve (7) kayanın süzücü özelliği. Ancak tüm korumalar başarısız olsa da sudaki artan radyoaktivite, rutin kontrollerle kolayca tetkik edilir ve içme amacıyla ya da yiyecek maddelerinin sulanması için kullanılmaz; sonuçta insan sağlığına hiçbir zarar vermez.

Yüksek Seviyeli Atık İçin

Nicel Risk Değerlendirmesi

Şimdi yapacağımız, gömülü atığın neden olduğu tehlikenin tahmini için *nicel* bir yöntem geliştirmektir. Yöntemimiz, [28] gömülü radyoaktif atık ile yeraltı suyu içinde bulunan sıradan, ortalama kaya arasındaki bir karşılaştırmaya dayanır. Bu karşılaştırmayı daha sonra açıklayacağız, ancak bu, oldukça kullanışlı bir yöntemdir; çünkü ortalama bir kayanın nitelikleri ve yeraltı suyu ile ilişkisi konusunda çok şey biliyoruz. Bu bilgileri, flaveler kısmında belirtilen bir hesaplama kullanırsak görürüz ki yeraltı suyu içinde bulunan ortalama bir kayanın bir atomunun çözünerek kaya dan ayrılıp; bir akarsu aracılığı ile insan midesine ulaşma olasılığı *yılda bir trilyonda birdir*[28].

Ortalama kaya ve gömülü radyoaktif atık arasındaki karşılaştırmamızın özünde, bu olasılığın radyoaktif atık için de var olduğunu; yani radyoaktif atığın bir atomunun insan midesine ulaşma olasılığının bir trilyonda bir olduğunu varsayabiliriz. Hesabımızın geriye kalan kısmı oldukça kolaydır; çünkü Şekil 17'den, bu atığın insan midesine ulaşmasının yol

açacağı sonuçları biliyoruz. Tüm yapmamız gereken Şekil 27'deki eğriyle ifade edilen değeri, her yıl beklenen ölümcül kanser sayısını bulmak için trilyonda biri ile çarpmaktır. Şekil 17'nin sağındaki dikey eksen de gösterildiği gibi bu basitçe yapılabilir. Örneğin Şekil 17'nin solundaki ölçeğe göre, gömülmesinden bin yıl sonra tüm atık insan midelerine girseydi, 300,000 ölüm olacaktı; ancak her yıl bunun sadece trilyonda biri insan midelerine ulaşabildiği için, Şekil 17'nin sağındaki ölçeğe göre eğriyi incelersek, her yıl $(300,000 \div 1 \text{ trilyon} =) 1 / 3,000,000$ ölüm bekleriz. Sonuç olarak da her yıl tek bir ölüm olma olasılığının, 3 milyonda bir olduğunu buluruz.

Sonuç olarak bizim bilmek istediğimiz, her yıl toplam kaç insanın atık yüzünden öleceğidir. Her yıl kaç insanın öldüğünü zaten bildiğimizden, yapacağımız sadece bunları birbiriyle toplamaktır. Bunları milyonlarca yıllık bir süre için topladığımızda, 0.014 oranında ölüm sonucuna varırız [21]. Bu hesaplamaları yaparken ne kadar uzak bir geleceği göz önüne almak gerektiğini merak edebilirsiniz. İşte burada, açıklama gerektiren bir karışıklık söz konusudur.

Akarsuların, çözünmüş ve karışmış maddeleri okyanuslara her yıl ne oranda taşıdıkları ölçümünden yola çıkarak, kıtaların yüzeyinin her 22,000 yılda *ortalama olarak* 1 metre aşındığı sonucuna varırız [29]. (Tüm bu süre boyunca kıtaların yüksekliği de arttığından, yüzey ortalama olarak aynı düzeyde kalır.) Bu aşınmanın neredeyse tamamına nehir yatakları, küçük akarsular ve bunların kaynakları neden olur. Bununla birlikte akarsular, sık sık yönlerini değiştirirler; değişen iklimler sonucu yeni akarsular doğarken bazı eski akarsular kaybolur (örneğin 10,000 yıl önce Arizona çölü bir yağmur ormanı idi); toprak alanları, akıntı yönünü değiştirmek için jeolojik basınç altında alçalır ve yükselir. Dolayısıyla çok uzun zaman dilimleri üzerinden ortalama alındığında, toprak alanlarının, ortalamaya yakın bir oranda, yani 22,000 yılda bir metre (daha sonra birkaç yerde kullanacağımız bir sonuç) aşındığını varsaymak mantıklıdır. Bundan hemen, yer yüze-

yinin sonunda radyoaktif atığın bulunduğu seviyeye dek ereceği sonucu çıkarılabilir. Atık 600 metre derinliğe gömüleceğinden, bunun ancak $(600 \times 22,000 =)$ 13 milyon yıl sonra olması beklenebilir. Olduğu zaman da, kalan radyoaktivite akarsulara yayılacak, İlaveler kısmındaki tahminlere göre, 10,000'de bir parça insan midesine ulaşacaktır.

Dolayısıyla, her yıl meydana gelen ölümlerin sayısını toplama süreci, 13 milyon yıl sonrası için son bulmalıdır; bu, yukarıda sonucu 0.014 olarak verilen ölümlerin sayısını hesaplama işlemi sırasında dikkate alınmıştır. Buna, geriye kalan radyoaktivitenin açığa çıkması sonucu meydana gelen ölümlerin sayısını da eklemeliyiz. İlaveler kısmında verilen basit bir hesaplama ile de bunun sonucunu 0.004 olarak buluruz. Bu rakamı ilk 13 milyon yıl içinde meydana gelecek 0.014 oranında ölüm rakamına eklersek 0.018 sonucuna ulaşırız ve bu da bir güç santralının bir yılda üreteceği atığın yol açacağı toplam ölüm oranıdır [21]. Bu kısmın vardığı sonuç, 0.018 oranında ölüm beklenebileceği şeklindedir. Hatırlatmak isterim ki termik santrallerin etkilerinden biri olan hava kirliliği, aynı miktarda elektriği üretebilmek için 25 kişiyi öldürmektedir [4]; belki yeni kirlilik kontrol teknolojisi bu oranı yılda 5 ölüme düşürebilir. Bu işe yarasa bile sonuçta görüyoruz ki termik santrallerin atıkları insan sağlığı için, yüksek seviyeli nükleer atıklara göre yüzlerce kez daha tehlikelidir.

Analizimizi anlamamanın bir başka yolu da, bugün Birleşik Devletler'de kullanılan tüm elektriğin, milyonlarca yıl boyunca sürekli olarak -bunun için yaklaşık 250 santral gerekir- nükleer güç santralleri tarafından üretildiğini düşünmektir. Bu durumda *yılda* biriken tüm atıkların sonucu olarak $(250 \times 0.018 =)$ 4.5 kanserden ölüm vakası bekleyebiliriz. 2. Bölümde anlatıldığı gibi, tüm vücudun 8 milyon mrem'e maruz kalması sonucu 1 kanserden ölüm vakası beklendiğinden [30]; ABD halkı için söz konusu olacak toplam radyasyon etkilenimi $(8 \text{ milyon} \times 4.5 =)$ 36 milyon mrem, yani yılda kişi başına 0.15 mrem olacaktır. Bu durumda her

Amerikalı, tüm hayatı boyunca ($70 \times 0.15 =$) 10 milireme maruz kalacak ve bu da ona, ($10 / 8$ milyon $=$) milyonda 1.3 kanser riski getirecektir. Hayatımızın *her* günü var olan, bir kazada ölme riski de aşağı yukarı buna eşittir³⁹. Gelecek birkaç bin yıl için, radyasyon etkilenimi ve riskler çok daha az olacaktır.

Bu kısmı bitirmeden önce, tahminimize ulaşmak için kullandığımız temel varsayımla, gömülü radyoaktif atık ve yeraltı suyunun içinde bulunan ortalama bir kayanın karşılaş-tırması ile ilgilenen ve bilime eğilimi olan okurlarımız için bir kaç açıklama yapmak yerinde olacaktır. Aslında atığı daha az güvenli kılacak üç neden vardır:

(1) Atıkta bulunan radyoaktivite, gömüldükten sonra bir süre daha ısı üretmeye devam eder, bu da gömülü atığın kayadan daha sıcak olmasına neden olur. Isının, atığı çevreleyen kayayı çatlatarak yeraltı suyunun içeri girmesine olanak sağlayacak yollar açıp; suyun çözünmüş atığı alıp götüreceğine dair bir korku olmuştur. Bu sorun 1960'larda ciddi olarak ele alındı ve bugün [32] varılan sonuç, sıcaklık 340 santigrata çıkmadığı sürece kayanın çatlaması gibi bir sorun olmayacağı şeklindedir. Atığın gerçek sıcaklığı, dur-gun camla ne derece seyreltileceğinin ve atık paketlerinin hangi aralıkla gömüleceğinin belirlenmesi yoluyla kontrol edilebilir. Daha fazla seyreltmek ve daha fazla boşluk bırakmak sonucu sıcaklık düşer. Bugün depolarda sıcaklığı 120 santigratın altına düşürecek bu etmenlerin düzenlenmesi ile uğraşılmaktadır ve bu rakam, tehlikeli nokta olan 340'in çok altındadır. Eğer aradaki farkın daha fazla olması gerektiğine karar verilirse, uygulanacak en kolay yöntem, gömme işini ertelemektir; çünkü atıktan yayılan ısı yüz yıl sonra on kat, 200 yıl sonra da yüz kat düşer [20]. Atık paketlerini depolama işleri zaten tasarlanmıştır ve bunların inşasında hiçbir zorluk ve maddi yükü karşılaşılmayacaktır.

(2) Atık camı, çevresine yabancı bir madde olduğundan, çevresindeki kaya ya da yeraltı suyu ile arasında kimyasal

bir denge⁴⁰ olmayacaktır. Bununla birlikte kimyasal denge, bir yüzey olayıdır [28]. Yeraltı suyu yabancı bir maddeye ulaşınca, mikroskobik incelikte bir tabakayı hemen çözer ve onun yerine çevredeki kayalardan çözünüp ayrılan bir madde koyar. Bu yüzey tabakası kalınlaşarak, altındaki madde-nin suyla temasını engeller. Bu işlem, yabancı maddenin yalnızca küçük bir miktarı çözündükten sonra durur ve bundan sonra yabancı madde, yüzeyi çevresiyle kimyasal dengede olduğundan artık “yabancı” değildir. Dolayısıyla atık camının çevresindeki kayalara yabancı olduğu gerçeği önemsizdir.

(3) Atığın yerleştirilmesi sırasında saftlar çıkartılmalıdır; çünkü bunlar, suyun içeri sızmasına ve sıradan kaya için uygun olmayan çözünmüş atığın birbiri ardına kaçmasına olanak sağlar. Bu sorunun ciddiyeti, saftların ne derece iyi kapandığına bağlıdır. Bu, mühürleme uzmanlarının bilebileceği bir şeydir ve ben bu konuda uzman biri değilim. Yine de uzmanlar arasındaki genel kanı, orijinal, dokunulmamış kaya kadar güvenli mühürleme yapılabileceği şeklindedir [33].

Gömülü atığın, karşılaştırmamızda kullanılan ortalama kayadan *daha az* güvenli olabileceği üç şekli anlattığımıza göre, *daha güvenli* olduğu şekillerden bahsetmek de uygundur. İlk aşamada atık, yeraltı suyu akışının olmadığı bir yere gömülecektir; oysa bizim bahsettiğimiz kaya zaten suyun içindedir. İkinci olarak gömü alanı dikkatle seçilmiş bir kayalık alanda olacaktır, oysa karşılaştırmamızdaki kaya *ortalama* bir çevrede; örneğin kaya çatlaklarının çok olduğu bir bölgededir. Üçüncü olarak atık paketi, suyun sızmasına karşı aşırı bir dayanıklılığı olan, kayadan daha güvenli özel bir kap içinde güvenlikte olacaktır. Bu kap, akla gelebilecek herşey kötü gitse bile yeterli güvenlik sağlayacaktır. Son olarak da, radyoaktif atık sızıp, yiyecek ve su kaynaklarına ulaşsa bile, ciddi sonuçlara yol açabilecek durumları hemen önlemek için sürekli olarak yürütülen kontrol programları ile anında tetkik edilecektir.

Gömülü atığın, suya gömülü kayadan daha çok ve daha az güvenli olduğu durumları dengeleme konusunda, kullandığımız anolojinin adil olduğu sonucuna varabiliriz; üstelik atığın tehlikeleri konusunda yaptığımız tahminler gerçeğin çok üstündedir.

Yerde bulunan bir maddenin bir atomunun, insan midesine ulaşma olasılığının nicelenmesi konusunda burada anlatılanlardan başka yöntemler de vardır. Örneğin [20] kadvrılar üzerinde yapılan incelemelerden, insan vücudunda ve toprakta bulunan uranyum ve radyum miktarlarını biliyoruz. Bu oranlardan, toprakta bulunan elementlerin bir atomunun insan vücuduna girmesi olasılığını tahmin edebiliriz. Sonuç, bizim yaptığımız hesaplamanın sonucuyla aynıdır.

Gömülü radyoaktif atığın güvenliği ile ilgili bir gösterimi tamamladıktan sonra bazen dinleyicilerden biri, gösterimin geçersiz olduğunu; çünkü atığı nasıl gömeceğimizi bilmediğimizi söyler. Bu aslında haber basınında sürekli olarak belirtilen bir bakış açısidir. Bir insan, nasıl bizim basit bir paketi gömmeyi bilmediğimizi düşünecek kadar saf olabilir; benim aklım bunu gerçekten almıyor. Birçok diğer hayvan gibi insanlar da milyonlarca yıldır birşeyler gömüyor. Sokaktaki adam bile atık paketini gömmek için birkaç farklı yol önerebilir. Öyleyse neden bir atık gömme teknolojisi geliştirmek için bunca zaman ve çaba sarfediyoruz? Bunun nedeni, güvenliği artırmak için *en iyi* atık gömme tekniğini seçme çabasıdır. Çözümü en iyi hale getirmenin bunca sıkıntıya değip değmeyeceği de işin başka bir yönüdür. Çünkü biraz önce de bahsettiğimiz gibi atığın doğal süreçlerle, ortalama bir kayanın içine gömülmesi bile yeterli güvenlik sağlayacaktır. Ancak halkımızın mantıksız kaygıları yüzünden hükümetimiz, sorun üzerinde (daha sonra elektrik faturlarımızdan çıkarmak üzere) büyük miktarlarda para harcamak zorunda kalmaktadır. Radyoaktif atığın gömülmesi konusunda en iyi olasılığı belirlemek için bu kadar çok zaman ve para harcanmasının nedeni budur.

Kimyasal Kansorejenlerin Yol Açtığı Uzun Vadeli Atık Sorunları

Geçen bölümde varılan “her santralin bir yıllık işleyişi 0.018 oranında ölüme yol açar” sonucunu değerlendirmek açısından, bunu, diğer elektrik üretim yöntemleri sonucu çıkan atıklarının yol açtığı uzun vadeli kanser riskleri ile karşılaştırmak yararlı olacaktır. Burada kansere yol açan bazı kimyasalları ele alacağız; diğer örnekler bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

Radyoaktif atık için radyasyon etkilenimleri, göstermiş olduğumuz gibi, yılda bir milyonun küçük bir bölümü; yani doğal radyasyondan etkilenimimizin yüz kez daha azı kadardır. Bunun hesaplanabilir bir etkisinin olmasının tek nedeni doza duyarlı, doğrusal ilişki kullanıyor olmamamızdır. Örneğin bir milyon millirem belli bir riske yol açıyorsa; bir millirem, bu riskin milyonda birine neden olur. Bu doğrusal ilişki, karbon monoksit zehirlenmesi gibi zararlı olabilmeleri için bir “eşik” değer gerektiren, birçok zehirli kimyasallara uygulanmaz. Bununla birlikte bugün, doğrusal, eşige bağlı olmayan bir ilişkinin, radyasyon kadar kimyasal kanserojenler için de geçerli olduğuna yaygın olarak inanılmaktadır (ör. kanser etkisi olan kimyasallar). Temelde bunu iki durum için de göz önüne almanın nedeni, kanserin, tek bir hücrenin çekirdeğinde bulunan tek bir kromozomunun tek bir molekülündeki hasar sonucu ortaya çıkmasıdır. Bu olay da genellikle, hücreye tek bir radyasyon parçacığının ya da bir kanserojen molekülün çarpması ile başlar. Bu basit sürecin olasılığı, kanserojen moleküllerin başka bir yerde hasara yol açıp açmadıklarına bağlı değildir. Kanser olasılığı, doğrusal ilişki ile açıklandığı gibi, vücuda giren kanserojen moleküllerin sayısına oranla da görelidir. Bu doğrusal, eşige bağlı olmayan, doza duyarlı ilişki, ABD Hükümeti tarafından halk sağlığını koruma gibi sorumluluklarla görevlendirilmiş Çevreyi Koruma Dairesi, Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi, Gıda ve İlaç İdaresi gibi organlarca resmi olarak kabul edilmiştir [34].

Konumuzla ilgili özel kanserojenler kadmiyum, arsenik, berilyum, nikel, ve krom gibi kimyasal elementlerdir. Bunların kansere yol açtığına dair oldukça önemli miktarda bilgi vardır ve alınan her gram için riskin ne olacağını hesaplamak üzere de yeterli nicel bilgi mevcuttur [35,36]. Hepsi de kömürde küçük miktarlar halinde bulunur. Dolayısıyla kömür yandığında açığa çıkar; önünde sonunda toprağa ulaşır ve küçük miktarlar halinde gıda maddelerinin de içine girerler. Gıdaların içindeki tüm maddeler gibi, bunlar da topraktan, bitkinin kökleri aracılığı ile alınır.

Radyoaktif atık sorununda da olduğu gibi, toprakta bulunan bu elementlerin bir atomunun insan midesine ulaşma olasılığını tahmin, tehlikeyi değerlendirmede karşılaşılan temel sorundur. Yine de buradaki sorun daha basittir; çünkü bu kanserojen elementlerin sahip olduğu zehirlilik, radyoaktif atıkta olduğu gibi zamanla yok olmaz, (bkz.Şekil 17). Her yıl bu elementlerin bir kısmı insanlar tarafından sindirildiğinden; bir atom toprakta sürekli olarak kalırsa, sonuçta uzun süre sonra insan midesine ulaşma olasılığı artar. Bununla birlikte, maddeleri topraktan çıkaracak başka süreçler vardır. Bunların en önemlisi, maddeleri toprakla birlikte akarsular yoluyla okyanuslara taşıyan, toprak erozyonudur. Topraktaki bir atomun insan midesine girme olasılığı, aynı zamanda bunun, toprak okyanusa taşınmadan önce gerçekleşmesi olasılığıdır. Yani, insan midesine girme oranının, erozyonla taşınma oranına göreli olarak değerlendirilmesidir.

İki durum için de oranlar bilinmektedir. Gıdaların kimyasal analizlerinden ve her yıl tüketilen miktarlardan, örneğin kadmiyumun, ABD'de insan midesine ne oranda girdiğini hesaplayabiliriz [37]. Amerika'da toprağın okyanusa ne oranda taşındığından ve kadmiyumun toprakta ölçülmüş miktarından, kadmiyumun okyanuslara ne oranda taşındığını çıkarabilir [29]; dolayısıyla, topraktaki bir kadmiyum atomunun insan midesine ulaşma olasılığını belirleyebiliriz. Sonuç oldukça yüksektir: yaklaşık %1.3. Bu arsenik için beş

kez, berilyum ve nikel için 20, krom için 60 kez daha düşüktür [35] (kimyasal özellikleri nedeniyle kadmiyum atomları, bitki kökleri tarafından daha kolay alınır).

Termik santraller yüzünden toprağın üst tabakalarında biriken bu kanserojen elementlerin her birinin miktarlarını bildiğimizden [38]; bunların topraktan insan midesine geçme olasılığını ve sindirimden sonra yol açtıkları kanser riskini hesaplamak, termik santrallerin neden olduğu ölümleri hesaplamak demektir. Sonuç [35], bir büyük santralden bir yılda açığa çıkan miktara bağlı olarak, 50 ölümdür. Bu ölümler, toprağın en üst birkaç metresinin erozyonla gideceği yaklaşık 100,000 yıllık zaman süreci içine yayılmıştır¹¹.

Daha uzun süreleri söz konusu eden bir bakış açısı kullanacak olursak, kömür çıkarılıp yakılmasaydı da bu ölümler olacaktı; çünkü birkaç milyon yıl sonra erozyon bu kömürü, içindeki kadmiyum, arsenik, berilyum, krom ve nikel ile birlikte yüzeye yakın bir yere getirecek ve bunlar yine bitki kökleri ile alınıp; gıda maddelerine ulaşacaktı. Bununla birlikte, kömürün yerden çıkarılması gerçeği, yüzeye yakın olan kısmının, kanserojen elementleri içerdiğini varsaydığımız bir başka kaya tarafından alınması demektir [39]. Bu kanserojen madde, kömür kullanımına bağlı olarak, insan soyu için fazladan bir sağlık riski teşkil eder. Bunu dikkate aldığımızda sonuç [35], beklenenin üzerinde 70 ölüm olacağı idi. Bu sayının, yüksek seviyeli radyoaktif atığın yol açtığı 0.018'lik ölüm oranından binlerce kez daha yüksek olduğuna dikkatinizi çekmek isterim.

Kimyasal kanserojenlerin, güneş enerjisi ile üretilen elektriğin uzun vadeli sağlıksal etkileri konusunda da önemli bir etkisi vardır. Güneş enerjisinin yayılması için gerekli malzemenin üretimi, doğrudan, termik santralle elektrik üretmenin %3'ü kadar kömür yakılmasını gerektirtedir [40]. Dolayısıyla açığa çıkacak kanserojenler de %3'ü kadardır. Bir yılda bir nükleer güç santralının ya da bir termik santralin üreteceğine eşit miktarda elektriğin güneş enerjisi ile üretilmesi sonucu, uzun vadede 2 ölüm (70'in %3'ü) bekleriz.

Ancak çok daha önemli sorunlar olabilir. Gelecekte güneş pilleri için başlıca alternatif madde, kadmiyum sülfiddir. Piller bozulduğunda bu madde, bir şekilde toprağa atılacaktır. Toprağa bu şekilde giren kadmiyumun [41], büyük bir nükleer santralde bir yılda üretilen miktarda elektrik üretimi karşılığında verdiği zarar, 80 ölümdür [35]. Bu ülkede kullanılan kadmiyumun büyük bir kısmı ithal edilir. Kömür için geçerli durumun aksine bu madde, ABD toprağının yüzeyine bu teknoloji olmadan ulaşamayacaktır. Sonuç yine, radyoaktif atığın yol açacağı 0.018 ölüm oranından binlerce kez daha yüksektir.

Milyonlarca Yıllık Bir Süreç İçin Söz Konusu Etkileri Hesaba Katmalı mıyız?

Birçoklarının bu bölümde yaptığımız gibi, milyonlarca yıllık bir süreç için söz konusu etkileri hesaba katma fikrine canı sıkılıyor olabilir. Ben de onlara katılıyorum. Bu fikir, nükleer karşıtı kuramcılar tarafından sık sık ortaya atılmıştır. Yukarıda sunulan analizler, bu tip bir yöntemin nükleer gücün lehine olduğunu gösteriyor. Bununla birlikte ilgi alanımızı “öngörülebilir gelecek” ile sınırlı tutmak için birçok iyi neden vardır. Öngörülebilir gelecek de 100-1,000 yıl arası olarak belirtilir. Çoğu hükümet organlarını da içeren birkaç grup, 500 yıllık bir süreyi yeterli buldular; biz de bu kısım için bu değeri kullanacağız.

Uzak gelecekte yitebilecek hayatları dikkate almamanın nedeni, o hayatları kendimizinkinden ya da yakın gelecekteki soyumuzdan daha az değerli saymamız *değildir*. Şüphesiz böyle bir iddia için ahlaki bir temel yoktur. Ancak uzak geleceği dikkate almamak için en azından üç mantıklı ve ahlaki neden vardır [42].

Bunlardan biri kanser tedavi oranlarındaki gelişmedir. 1960-1964, 1970-1973 yılları arasında teşhis edilmiş kanserleri karşılaştırsak, teşhisten beş yıl sonra yaşamını sürdürenlerin oranı, erkeklerde %31'den %37'ye, kadınlarda %47'den %52'ye yükselmiştir. En çok görülen kanser türleri

olan, erkeklerde akciğer kanseri (hâlâ tedavisi pek mümkün değildir) ve kadınlarda meme kanseri (%50'si tedavi edilebilmektedir) için de teşhisten sonra yaşamı sürdürebilme oranı, erkeklerde %37'den %45'e, kadınlarda %42'den %46'ya çıkmıştır. Bu da kabaca, kanserden ölme riskini yılda %1 oranında düşürmüştür. Eğer bu oran geçerliliğini korumaya devam ederse risk, 20 yıl sonra bugünkünün %81'i, 40 yıl sonra %66'sı, 100 yıl sonra %35'i ve 500 yıl sonra %1'i kadar olacaktır. Tabii ki tedavi oranları sabit bir şekilde gelişmeye devam edecek değildir. Hatta çok geçmeden duraklaması, ya da öte yanda dramatik bir gelişmeye yol açacak bir keşfin yapılması çok daha olası görünmektedir. Ancak bilgisine güvenilir birçok insana göre 500 yıl sonra kanser çoğunlukla tedavi edilebilir bir hastalık olacaktır. Bu tarihten sonra olacağını hesapladığımız ölümler de, dolayısı ile hiçbir zaman gerçekleşmeyecektir.

Uzak gelecekte olacak ölümleri dikkate almamak için ikinci neden, "güven fonu" dediğim yaklaşımdır. Bir önceki bölümde, kişi başına 100,000 dolarlık maliyet karşılığında hayat kurtarılabilecek birçok alan olduğunu göstermiştik. Ancak gelecekte kurtarılacak tek bir hayat için 1 milyon doların tahsis edileceği gelişmeler vardır (tüm hesaplamalarımızda enflasyonu göz ardı etmekteyiz; bu durumda 1 milyon dolar, bir insanın tüm hayatı boyunca kazanacağı ya da harcayacağı miktardan çok fazladır). Para, 500 yıllık bir süreç içinde %3 gerçek (enflasyon hesaba katılmadığında) faiz ile alınabilmektedir [44]. Şimdi harcanan her dolar, yıllık %3 faizle, 500 yıl sonra 2.5 milyon dolar olacaktır ve bu da bir tek hayattan daha fazlasını kurtarır. Bir güven fonunda parayı, gerekeceği zaman kullanmak üzere saklayarak uzak gelecekteki hayatları kurtarmak, onları atıklarımızdan korumak için şimdi harcamaktan çok daha etkilidir. Güven fonunu kurma işinin nasıl yapılacağı ve uygulanacağı merak konusu olabilir; ancak bu bir sorun değildir. Gereğinden çok harcama yaparak, onlara ödemeleri gereken borçlar bırakıyoruz. Gerçekte bir güven fonu yaratmaktansa, sadece har-

camaları kısararak gelecek kuşakların hayat kurtarmak için daha fazla paraya sahip olmalarını sağlayabiliriz.

Hesaplarımızda uzak geleceği dikkate almamamız için üçüncü bir nedense, “biyomedikal araştırma” yaklaşımıdır. “Güven fonu” ile paraları gelecekte harcanmak üzere bir kenara koymak içimizi rahatlatmazsa, biz de gelecekteki hayatları biyomedikal araştırmalarla koruyabiliriz. Bir çalışma [45], bu tip araştırmalara 1930 ile 1975 arası harcanan 68 milyar doların, şimdi yılda 100,000 hayat kurtardığını göstermektedir; yani harcanan her 680,000 dolar için *yılda bir hayat*. Bir başka çalışma [46], harcanan 200,000 dolar başına yılda bir hayat kurtarılabileceği sonucuna varmıştır. Yaşa göre ölüm oranı, ABD’de sürekli olarak düşmektedir; bunun dörtte biri biyomedikal araştırmalara bağlanacak olursa, bu şekilde de her 1 milyon dolar karşılığında yılda bir hayat kurtarıldığı görülür [42]. Kolay tıbbi sorunlar çözülüp daha zorları ele alındıkça, fiyat artacaktır. Öyleyse, yakın gelecek için diyelim ki, ABD’de *yılda bir hayat* kurtarmak için 5 milyon dolar harcanacaktır; diğer ülkelerde kurtarılanları hesaba katmıyorum. Gelecek 500 yıl içinde, yılda bir hayattan toplam 500 hayat, her hayat başına 100,000 dolar masrafla kurtarılabilecektir. Eğer 500 yılın sonrası da hesaplanacak olursa, masraf görelî olarak düşecektir. Radyoaktif atığı işlemek için, gelecekte kurtarılabilecek her hayat başına milyonlarca dolar harcadığımıza göre, bu parayı biyomedikal araştırmalara ayırmamız gelecek kuşaklar için daha yararlı olacaktır. Şimdiki durum oldukça komiktir, ancak hesaplarımızı 500 yıldan öteye taşımak, durumu iyice garip kılacaktır.

Nükleer sanayi, bu alternatifi doğrudan hayata geçirmek için, radyoaktif atıkların uzun süreçlerdeki güvenliği yerine, biyomedikal araştırmalara yatırım yapabilir, ne var ki bu gerekli olmayabilir. Nükleer sanayi, parayı hükümete vergi olarak vermekte ve hükümet yaklaşık olarak eşit miktarda bir parayı biyomedikal araştırmalara harcamaktadır. Geleceğin halkının bakış açısına göre gereken tek şey, adil bir programla, nükleer sanayiden hükümete, hükümetten biyo-

medikal araştırmalara olan bu para akışının % 0.1'ini nükleer sanayinin biyomedikal araştırmalara katkısı olarak tanımlamaktır. Eğer insanları mutlu kılacaksa, nükleer sanayiden sağlanan verginin %0.1 artırılmasıyla toplanacak para da doğrudan, hükümetin biyomedikal harcamalara ayrılan bütçesine eklenebilir. Değişimi kimse hissetmeyecektir; çünkü bu, vergilerdeki ve bütçelerdeki yıllık oynamalardan daha küçük bir değerdir.

Yukarıdaki üç nedenin sonucu veya bir bileşimi olarak ben dahil birçok insanın, sadece gelecek 500 yılda ortaya çıkacak etkiler için endişe duyulmasını yeterli bulduğu söylenebilir. Bir güç santralinin bir yıllık çalışması sonucu çıkan atıkların, bu zaman süresince yaratacakları etkiler hakkında tahminler üretelim: Yüksek seviyeli atık için, sağdaki skala kullanılarak Şekil 17'den yıllık etkiler alınır ve ilk 500 yıl için toplanır. Sonuç, çoğunluğu ilk yüz yılda olan 0.003 ölümdür. Ancak bu, daha önce değinilmiş olan ilk zamanlardaki gecikmeleri ve özel korumaları göz ardı etmektedir. Jeologlar, atık deposuna en azından bin yıl boyunca hiç yeraltı suyu ulaşmayacağından eminler; aşınmaya dayanıklı kap birkaç yüzyıl boyunca aşamaz, yeraltı suyunun yüzeye varması birkaç yüzyıl alır vb... Üstelik, bu süre içinde bir şekilde gözetim yapılacağı da oldukça kesin olduğundan, bir radyasyon kaçağı çok kısa bir sürede tespit edilip gerekli uyarılar yapılacaktır. Bu unsurlar, tehlikeyi en azından 30'da birine, yani 0.0001 ölümden aza indirir.

Kömürün yanması sonucu toprağa yayılan kimyasal kanserojen maddeler, ilk 500 yıl içinde verebilecekleri zararın yüzde birini verirler; bu dönemde 0.5 ölüm bekleriz [35]. 500 yıllık bir perspektifte, insanlarca çıkarılmadıysa, erozyon sonucu yeryüzüne çıkacak kömürün gelecekteki etkilerini ele almaya gerek yoktur.

Benzer bir mantıkla, güneş enerjisinin getireceği kimyasal kanserojenler, malzemelerin yapımında kullanılacak kömüre bağlı olarak 0.015 ölüme yol açaktır; eğer kadmiyum sülfütlü güneş pilleri kullanılırsa, bu oran 0.8 olacaktır [35].

Halk Neden Korkuyor?

Eğer bu bölümde çizdiğim tablo doğruysa; sorunun önemli yönlerini atlamıyor ve yanlış yönlendirmiyorsa, bu durumda halkın neden yüksek seviyeli radyoaktif atığın tehlikeleri konusunda endişe duyduğunu anlamak benim için oldukça zordur. Bu konu bir süre bilimsel yayınlarda yer aldı ve uzman bilim adamları ve yayıncılar tarafından, endişe duyacak bir şey olmadığı kanıtlandı. Eleştiriye yol verecek hiçbir yanları da yoktu. Ben de bunu uluslararası, ulusal ve bölgesel konferanslarda ve belli başlı birkaç üniversitede yapılan seminer konuşmalarında sundum; üstelik hatırı sayılır hiçbir eleştiri ve olumsuz yorum almadım. Dolayısıyla, soruna yaklaşımımın yanlış ya da geçersiz bir değerlendirme olduğuna ilişkin hiçbir kanıt olmadığını biliyorum.

Yüksek seviyeli radyoaktif atığın tehlikeleri konusunda, benimkine göre daha az geçerliliği olduğuna inandığım yaklaşımlar kullanan başka bilimsel analizler de vardır, ancak vardıkları sonuçlar benimkine oldukça yakındır [19]. Sağlık-sal etkilerinin de önemsenmeyecek kadar az olduğunu bul-gularlar.

Öyleyse karşıtlık nereden geliyor? Halkın bu konuda endişe duymasına neden olan unsur nedir? Halk sağlığına ciddi ölçüde -ama felaket derecesinde değil- zarar verebilecek sonuçları olan özel senaryolar içeren, az sayıda bilimsel rapor mevcuttur; ancak senaryolarının olabilirliğini hesaplamaya asla kalkışmamışlardır. Hepsi de kesinlikle ve inanılmaz ölçüde olasılık dışıdır. Şuna da dikkat çekmek isterim ki aynı şekilde ortalama kaya kullanan tüm senaryoların olasılıkları, yaklaşımında otomatik olarak dikkate alınmıştır.

Bununla birlikte, ortada hiçbir sorun olmamasına karşın, çok fazla korku duyulmaktadır. Bir keresinde TV yayınının sabah programı şu ifade ile açıldı: "[bu atık], çevreyi rahatlıkla kirletebilir. Vereceği korkunç zarar düşündürücüdür; bunun dünyanın sonu anlamına geleceği de bugün bilinmektedir." Bu son ifadenin doğru olabileceği; dünyadaki tüm insanların doğrudan atık yutacağı bir durum düşünmüyorum.

Daha önce de belirtildiği gibi, böyle bir duruma daha etkin olarak yol açabilecek başka maddeler vardır.

Büyük bir olasılıkla bu korkunun en iyi kanıtı, hükümetimizin sorun üzerinde çok büyük miktarlarda para harcama eğilimidir. Belki de bunun en önemli nedeni, yüksek seviyeli atığın ortadan kaldırılmasının sıklıkla “çözülmemiş sorun” olarak anılmasıdır. İnsanlar bana bunu söylediğinde onlara, kömürün yanmasıyla çıkan atığın -hava kirliliği olarak yayılan ve her yıl 10,000 Amerikalı’nın ölümüne neden olan atığın- ortadan kaldırılmasının “çözölmüş bir sorun” olup olmadığını soruyorum. Genelde “hayır” derler; fakat hava kirliliğinin azaltıldığını belirtirler. Aslında, hava kirliliğini, yılda 2,000’den az insanı öldürecek kadar azaltabilmek fikri biraz gerçek dışıdır. Dolayısıyla bunun, nasıl olup da “çözölmüş bir sorun” olarak değerlendirildiğini anlamak da oldukça zordur. Bilinen birçok çözüm olduğu için atık sorununun çözölmemiş bir sorun olarak ele alınamayacağını belirttimde aldığım cevap “öyleyse onu neden şimdi gömmüyoruz” oluyor. Bu soruya verilecek iki cevap vardır: (1) en iyi çözüm mü seçme aşamasındayız ve (2) şu anda gömülecek atık yok; çünkü kullanılan reaktör yakıtını yeniden işlemiyoruz (bkz Bölüm 7). Bu noktaya, tartışma ilerledikçe varılıyor; ancak asıl sorun tartışmanın ender olarak bu kadar ilerlemesi. İnsanların büyük bir çoğunluğu hâlâ “bu çözölmemiş bir sorundur” yaklaşımında takılı kalmıştır.

Hiç kimsenin yüksek seviyeli atık yüzünden yaralanmadığını ve yakın gelecekte de, insanların bu yüzden zarar görmesi için bir neden olmadığını -bunu termik santraller yüzünden her yıl 10,000 kişinin ölmesi durumu ile karşılaştırdırın- ifade etmeyi seviyorum. Genelde aldığım karşılık “kim senin yaralanmadığını nereden biliyorsunuz”dur. Yanıt şöyle: nükleer tesislerin içinde ve civarında, genel çevrede, radyasyon dozlarını sürekli olarak ölçüyoruz ve insanların yüksek seviyeli atıklardan doz etkilenimi görüp görmediğini kontrol ediyoruz. Eğer hiç radyasyon dozu yoksa, zarar da yoktur. Hiçbir bilim adamının bu noktaya itiraz edeceğini

sanmıyorum, ancak eminim ki çoğu kişi, yüksek seviyeli atığın (ya da atığın asıl kaynağı olan yakıtın) şu anda zarar vermekte olduğuna inanmaya devam etmektedir.

Halkın, yüksek seviyeli atığı anlamasıyla ilgili gerçek sorun, bilim adamlarının bakış açısının halka aktarılmamasıdır. Bilim adamlarından halka bilgi aktarma işi, bu konuda bilgi aktarmamayı seçmiş olan gazetecilerin elindedir. Onları yönlendiren yaklaşımlar üzerinde fikir yürütmekten hiç hoşlanmıyorum, ancak öte yandan ulusumuza çok büyük zarar veriyorlar. Bu gazeteciler, hükümetin nükleer enerji konusunda bilgi vermediği şeklinde yaygara çıkaranlarla aynı kişilerdir. Halka önemli sorunlar hakkında bilgi aktarmaktan daha aşağılık bir şey olabilir mi? Bu, en az yalan söylemek kadar etkilidir.

İlaveler

İnsan Vücuduna Girme Olasılıkları

Yaklaşık olarak günde 20 metreküp (m^3), ya da yılda 7,000 m^3 hava soluruz [36]. Yerdeki maddelerden havalanıp asılı kalan toz miktarı yaklaşık olarak $35 \times 10^{-6} m^3$ 'dür. Yani günde ($20 \times 35 \times 10^{-6} = 0.7 \times 10^{-3}$ gram, yılda da 0.25 gram toz soluruz.

ABD yüzölçümü yaklaşık olarak $10^{13} m^2$ 'dir, böylece üst 2.5 santim ($0.025 m$) toprağın hacmi ($0.025 \times 10^{13} = 2.5 \times 10^{11} m^3$ 'dür. Toprağın yoğunluğu $2 \times 10^6 g/m^3$ olduğuna göre, bu toprak ($2 \times 10^6 \times 2.5 \times 10^{11} = 5 \times 10^{17}$ gram ağırlığındadır. Her insan bu toprağın 0.25 g/yıl kadarını her yıl içine çektiğine göre, Amerikan halkı (230×10^6) tarafından içe çekilen miktar ($230 \times 10^6 \times 0.25 = 6 \times 10^7$ g/yıl'dır. Üst 2.5 santimdeki herhangi bir atomun insan vücudu içine girme olasılığı, ($6 \times 10^7 / 5 \times 10^{17} = 1.2 \times 10^{-10}$, yani milyarda bir olasılıktan biraz fazla olacaktır.

Bir nehirdeki herhangi bir atomun insan vücuduna girme olasılığı, çok daha büyüktür. ABD'deki nehirlerde yıllık toplam akış miktarı 1.5×10^{16} litre [29], insanlar tarafından içilen miktar ise 2.2 litre/gün [37] $\times 365$ gün/yıl $\times 230 \times 10^6$ (nüfus), 1.8×10^{11} litredir. Sonuçta bir nehirdeki bir atomun içilme olasılığı ($1.8 \times 10^{11} / 1.5 \times 10^{16} = 1.2 \times 10^{-4}$, ya da yılda 10,000'de birden biraz fazladır.

Gömülmüş Atıktan Radyasyonun Yüzeye Çıkması

Kayalar ve toprak, gama ışınlarını her 30 santimde 3 kat azaltır [47]. Atık, yerin 600 metre ($2,000$ tane 30 santim) altına gömülü olacağına göre, atıktan gelen gama ışınları $3^{2000} = 10^{1000}$ kat seyrelmiş olacaktır ve bu oldukça büyük bir rakamdır. ABD'de bir milyon yıl boyunca tüm elektrik sadece

nükleer enerji ile üretilseydi, sonuçta çıkan atıklar 10^{36} gama ışını yayacaklardı [20]; böylece bir tek gama ışınının yer-yüzeyine varma olasılığı yaklaşık olarak ($10^{36} \div 10^{1000} =$) 10^{-964} , yani son derece küçük bir sayı olurdu (ondalık noktasından sonra 964 sıfır).

Şekil 17'nin Hesaplanması

Örnek olması amacıyla, atıkta bulunan plutonyum-239'un (^{239}Pu) [7], Q kadar bir miktarını yiyen insanlarda beklenen karaciğer kanseri sayısını hesaplayalım. ^{239}Pu tarafından üretilen ve *alfa parçacıkları* olarak adlandırılan radyasyon, pek uzağa gidemediğinden -ince bir parça kağıttan bile geçemez- bu madde ancak karaciğere girerse karaciğer kanserine yol açabilir. Araştırmalara göre [48], yutulan ^{239}Pu 'nun %0.001'i gastroentestinal sistemin duvarlarından geçerek kana karışabilir ve kandaki maddenin %45'i karaciğerde birikir; yani karaciğere varma olasılığı, ($Q \times 0.0001 \times 0.45 =$) $0.000045Q$ 'dur. Buradan saniyede kaç alfa parçacığının karaciğere çarptığını bulabiliriz. ^{239}Pu , karaciğerde ortalama 40 yıl kalır [48]; 40 yıldaki saniyelerin sayısı ile çarparak, toplam radyasyon etkilemini milirem cinsinden ifade edilebilecek şekilde verebiliriz. Sonra bu sayı, ^{239}Pu 'dan Q miktarda alan insanlarda beklenen akciğer kanseri sayısını bulmak için, tıbbi nedenlerle etkilemin görmüş hastalar üzerinde yapılan çalışmalardan bilinen, her millirem alfa parçacığına karşılık olan akciğer kanseri riski ile çarpılır; sonuç 1,400'dür.

Ancak ^{239}Pu bir kez kan dolaşımına girdikten sonra kemiğe de girer -%45'i burada birikir ve hayatın sonuna kadar orada kalır[48], dolayısıyla da kemik kanserine yol açar. Yukarıda gösterilen bir hesaplama sonucuna göre de 700 vaka beklenir. Vücudun diğer organları da göz önüne alındığında, beklenen kanserlerin toplam sayısı 2,300'ü bulur, bu da Şekil 17'de erken evrelerde " ^{239}Pu " olarak adlandırılmış eğrinin değeridir.

İki nedenden dolayı atıktaki ^{239}Pu miktarı sabit kalmaz. Her bir radyasyon parçacığının yayılımında, bir ^{239}Pu atomu yok olur ve bu da miktarı düşürür. Ancak ^{239}Pu , bir başka

radioaktif atomun; yayıldığı anda miktarı artıran ²³⁹Am'ın bir tortusudur. Bu iki atom birleştiğinde zamana karşılık miktar, Şekil 17'de gösterildiği gibidir.

Atıktaki ²³⁹Pu'un yanısıra birçok diğer radyoaktif tür vardır; bunlar için de benzer eğriler hesaplanmış ve Şekil 17'de gösterilmiştir. Bu durumda, kanserlerin toplam sayısı, her seferinde eğrilere eklenerek elde edilen her bir türün yol açtığı sayının bir toplamıdır. Sonuç Şekil 17'de en üstteki kalın eğri ile verilmiştir. Bu bir yılda bir reaktörün ürettiği tüm atığın insanlara sindirim yoluyla ulaşması sonucu beklenenecek kanser sayısının ifadesi olan ve tüm anlattıklarımızın da esas aldığı eğridir.

Topraktaki Bir Atomun İnsan Midesine Girme Olasılığı

Ortalama bir kayadan geçerek sonunda nehre varan ve "damar" olarak adlandırılan bir yeraltı suyu düşünün. Su damarları ile ilgili olarak oldukça büyük miktarda bilgi mevcuttur; kayalardan geçen yolları ile ilgili ayrıntıları her yıl nehirlerle taşıdıkları su miktarı ve içlerinde çözünmüş çeşitli maddelerin miktarları gibi [50]. Son iki bilgidir, ortalama bir damarın her yıl nehre taşıdığı her bir kimyasal elementin miktarını hesaplayabiliriz -ne kadar demir, ne kadar uranyum, ne kadar alüminyum, v.b.

Yeraltı suyundaki bu demir, uranyum, vb nereden geliyor? Cevabı basit: kayalardan çözünüyor. Damarın kaya boyunca izlediği yol ve kayanın kimyasal bileşimi konusundaki bilgimizden yola çıkarak, damarın aştığı kayanın içerdiği her bir kimyasal elementin miktarını bilebiliriz. Dolayısıyla da her yıl kayadan çözünerek nehre taşınan her bir elementin miktarını hesaplayabiliriz. Örneğin belirli bir damar her yıl nehre 85 km'lik yolu boyunca, 200 milyon tonluk kayanın içerdiği 500,000 kg'lık saf olmayan uranyumdan aşındırdığı 0.0015 kg'lık uranyum taşıyabilir. (Bu, sıradan kayadaki ortalama uranyum miktarıdır). Her yıl aşındırılan uranyum bu durumda $0.0015 \div 500,000$ yani milyarda 3 birim uranyumdur. Benzer hesaplamalar, [28] milyarda 0.3 birim de-

mir 20 birim kalsiyum, 7 birim potasyum, 10 birim magnezyum, vb.sonuçlarını verir. Konumuzu basitleştirmek için, diyelim ki her bir elementten, yılda milyarda 10 birim taşındı -bu birçok elementin gerçek taşınma hızından daha fazladır. Bu durumda sonuç, yeraltı suyuna gömülü sıradan kayanın, bir milyon yılda yalnızca %1'inin $[(10 \div 1 \text{ milyon}) \times 1 \text{ milyon} = 0.01]$ taşındığı,yani bu işin 100 milyon yıl süreceği anlamına gelir.

İlaveler kısmının ilk başında, nehir suyunun ortalama bir molekülünün okyanusa ulaşmadan önce insan midesine girme olasılığının, 10,000'de bir olduğu belirtilmişti. Suda çözünen maddeler için bu olasılık daha da küçüktür; çünkü bir kısmı, içme suyunu arıtma evresinde ayıklanır; ancak nehirdeki bazı maddelerin, yine bu yolu izleyerek yiyeceklere ve insan midesine ulaşmayı başarabildikleri gerçeği de olasılığı yükseltir. Biz de dolayısıyla nehirlerde çözünen maddelerin insan midesine ulaşma olasılığını 10,000'de bir olarak hesaplarız⁴².

Bir kaya molekülünün her yıl nehre ulaşma olasılığı, bir milyarda 10 ve nehre varması halinde de insan midesine girme olasılığı 10,000'de bir olduğundan, sonuç olarak bir kaya atomunun insan midesine girme olasılığı, bu rakamlarla yapılacak işlemin sonucu, yani $[(10 \div 1 \text{ milyar}) \times (1 \div 10,000) =]$ yılda bir trilyonda birdir [28]. Anlattıklarımızda dikkate alınan değer budur.

Erozyonun etkilerini ele alırken, tüm atığın nehirlere ancak 13 milyon yıl sonra varabileceğini varsaydık. Şekil 17'ye göre, o zamana kadar kalabilen atığın tümü insan midesine girecek olsaydı; 40 ölüm vakası beklenecekti. Ancak hemen yukarıda söz konusu madde nehirlere yayıldığında yalnızca 10,000'de bir atomun insan midesine ulaşabileceğini gösterdik; dolayısıyla beklenebilecek ölüm oranı $(40 \div 10,000 =)$ 0.004'tür. Bizim dikkate aldığımız değer budur[14].

6. BÖLÜM

Radyoaktif Atıklar Konusunda Dahası

5. Bölüm’de anlatılan yüksek seviyeli atıklar konusu asıl ilgi odağı olan sorun olsa da, nükleer güçle ilgili tek atık sorunu değildir. Doğrusunu söylemek gerekirse en önemlisi bile değildir. Bu bölümde bazı diğer nükleer atık konuları ele alınarak, sorun bir bütün halinde anlatılacaktır.

Ölümlerin sayısı göz önüne alındığında, en önemli atık sorunları, radyoaktif gaz olan radondan kaynaklanmaktadır. Konuya onun hikâyesiyle başlayalım.

Radon Sorunları [1]

Uranyum, doğadaki tüm taşlarda ve toprakta; bunlardan elde edilen tuğla, çimento ve sıvada küçük miktarlarda bulunan bir elementtir. Genelde nükleer reaktör yakıtı olarak tanınır, ancak onu bu amaç için yararlı kılan özelliklerinin yanı sıra, doğal olarak *radyoaktif* bir malzemedir. Yüksek hızda hareket eden radyasyon parçacıkları saçarak, bazı diğer elementlere dönüşür. Bozunumu takiben oluşan atomlar da radyoaktiftir; uranyumun bozunumundan oluşan bu zincir, peşpeşe gelen 14 radyoaktif bozunum boyunca devam eder. Bu bozunumlar zincirinin bir halkası da, *gaz* olması nedeniyle özellikle üzerinde durulması gereken *radon*’dur. Gaz formunda bulunması nedeniyle, bir radon atomu, içinde olduğu konumdan uzaklaşıp topraktan sızarak havaya karışma eğilimi gösterir⁴³. Uranyum her yerde olduğuna göre, radon atomları -ve onun dönüştüğü radyoaktif elementlerde havada uçmakta ve herkes tarafından sürekli solunmaktadır. Gaz olduğu için radon, solunumla kolayca dışarı atılır. Ne var ki onun dönüştüğü elementler gaz değildir; yani solunum yollarındaki yüzeylere yapışmaya ve onları rad-

yasyona maruz bırakmaya eğilimlidirler; böylece akciğer kanserine yakalanmak da kolaylaşır.

Madencilerin yüksek miktarda radona maruz kaldığı kötü havalandırılmalı madenlerdeki çeşitli durumlar sayesinde, bu sorun hakkında oldukça fazla bilgi edinilmiştir [2]. Özellikle uranyum madenlerindeki kayalarda, normalden yüksek konsantrasyonda uranyum vardır. Kayalardan çıkan radon madene sızar ve çıkış yolları sınırlı olduğu için orada bir süre kalır. Bu sorun üzerindeki en iyi çalışma, 1945 ve 1969 yılları arasında, Colorado platosu bölgesinde çalışmış olan 4146 uranyum madencisinden oluşan bir grubu ele almıştır; bu kişiler arasında, 1974 yılına kadar göğüs kanserinden 159 ölüm vakası olmuştur; oysa ortalama Amerikan erkeklerinden oluşan bir gruptan, sadece 25 ölüm beklenir [3]. 1960'ların sonlarında bu durum farkedildiğinde, havalandırma ile, radon seviyesini 20 kat azaltan ve böylece radon etkilenimini madencilikteki birçok belirgin riskten daha az önemli hale getiren, büyük gelişmeler sağlandı [4].

Madencilerdeki akciğer kanseri araştırmalarından, çeşitli radon etkilemi durumlarının risklerini tahmin edebiliriz. Bunlardan en önemlisi, özellikle yeterince havalandırılmayan evlerimizde hepimiz için söz konusu olan doğal etkilenimdir. Radon zeminden sızarak, genellikle yerdeki çatlaklardan ya da boru girişlerinden girer; bir kısmı da küçük miktarda uranyum içeren sıva ve diğer yapı malzemelerinden gelir. Bazı bölgelerde yeraltı kaynaklarından alınan suyla da evlere girer. Evlerin içinde hapsolması nedeniyle, kapalı yerlerdeki radon seviyeleri, açık alanlara göre birkaç kat daha yüksektir [5,6].

Madenciler hakkındaki bilgiyi ve doğrusal hipotezi kullanarak, doğal radon etkileniminin, ABD'de 10,000 ölümcül akciğer kanserine yol açtığı sonucuna varırız.

Yakıt tasarrufu için, havanın evlere giriş-çıkışını engellemenin de radon seviyesini yükselttiğinden daha önce bahsetmiştik. Hükümetin önerilerine uygun olarak bunun, tüm evlerde uygulanması, her yıl birkaç bin ölüme neden olacak-

tı [7,8]. Birçok bilim adamının, tam bir nükleer programının yılda sadece yirmi-otuz ölüme neden olacağı (nükleer karşıtları, yılda 600 ölüm tahmin ediyor) sonucuna vardığı hatırlanırsa, radyasyon etkilenimi açısından ele alındığında tasarrufun, nükleer güçten daha tehlikeli olduğunu görürüz.

Bu doğal radon sorunlarının, nükleer güçle doğrudan hiç bir ilişkisi yoktur kuşkusuz; fakat bazı diğer konularla bağlantısı vardır. Bunların en çok bilineni ise uranyum öğütümü artığı (tailing) sorunudur [9]. Uranyum cevheri, çıkartıldıktan sonra, yakındaki bir öğütücüye götürülür ve uranyumu ayırıp saflaştırmak için çeşitli kimyasal işlemlere tabi tutulur. “Artık” denilen atıklar, suyun içinde çözünmüş veya suya karışmış olarak havuzlara pompalanır. Havuzlar, sonunda kuruyarak, kum birikintileri bırakır. Ancak, bunlar uranyumun bozunumu sonucu ortaya çıkan radyoaktif maddeleri içermektedir -sadece uranyumun kendisi ayrılmıştır. Bu bozunum ürünlerinin en önemlisi, ortalama yarı ömrü 110,000 yıl olan ve radonu da içeren bir bozunum zinciri olan toryum-230 izotopudur. Aslında, gelecek 10,000 yıl içinde üretilecek radonun çoğunluğu şimdiye değin uranyum bozunumu sonucu ortaya çıkmış olan toryum-230 tarafından üretilecek; yani uranyumun çıkarılması bu dönemde çok az bir etki yapacaktır. Öte yandan uranyumun çıkarılmasının bir önemli etkisi, radonun kaynağının, cevherin bulunduğu yeraltı konumundan alınarak, öğütüm artığının bulunduğu yeryüzeyine çıkarılmasına dayanır. Bu, daha fazla miktarın havaya karışarak sağlık sorunları yaratması anlamına gelmektedir.

Bu etkinin sayısal bir hesabı, bir büyük nükleer güç santraline yakıt sağlanması sırasında çıkan öğütüm artığının, radon yayılımı sonucu yılda 0.003 ölüme neden olacağını gösterir [10]. Bu rakam pek büyük görünmeyebilir; ancak 100,000 yıl devam edecek ve sonuçta yaklaşık olarak 300 civarında ölüm olacaktır! Şükürler olsun ki, bu sorunla ilgili yapılabilecek ve yapılmakta olan şeyler vardır. Eğer artık yığınları bir metre kadar toprakla (belki de başka bir malze-

meyle) örtülürse, neredeyse tüm radon yüzeye sızana kadar bozunacaktır -bir radon atomunun ortalama ömrü yalnızca 5.5 gündür. Kanuna göre [11] artığın üstünün toprakla (ya da başka bir malzemeye) örtülerek radon yayılımının 200 kat azaltılması gerekmektedir. Böylece ölüm vakalarının yol açacağı düşünülen 0.018 ölümden 100 kat daha fazladır. Nükleer sanayinin atıkları konusunda rahatsızlık duyan birinin, aslında yüksek seviyeli atıklar yerine, uranyum artığı konusunda daha büyük bir rahatsızlık duyması gerekmektedir. Ne var ki, bazı nedenlerden dolayı ilki, basın ve halkın daha fazla ilgisini çekmektedir. Bunlar, hükümetimizin tavrını belirleyen etkilere dir. Öğütüm artığının kontrolü konusundaki hükümet araştırma programı, yüksek seviyeli atıklarla ilgili programın ancak küçük bir yüzdesi kadar kapsamlıdır. Para, tehlike arzeden durum için değil; basının ilgi gösterdiği işler için harcanmaktadır.

Uranyum madenciliğinden çıkan radonun, bir başka önemli özelliği daha vardır. Uranyum, nükleer yakıt haline getirilmek üzere yerden çıkarılmasından itibaren, radon yayan bir kaynak olmaktan çıkar. Bu, yakın zamanlara kadar farkedilememiş bir durumdur, çünkü yerden sızan radonun çoğunluğu, yüzeyin 1 metre altındadır. Yerin çok altından gelenler, yüzeye varmadan önce bozunur. Önceleri, uranyumun çoğunluğunun, 1 metrenin çok altındaki derinliklerden çıkartılması nedeniyle, çıkacak radonun zararsız olacağı düşünülüyordu. Bu mantığın hatalı yönü, erozyonu göz ardı etmesidir. 22,000 yılda, zeminin bir metresi erozyonla gittiğine göre, onun içindeki uranyum sonunda yüzeye çıkacak ve 22,000 yılı, oldukça fazla zarara yol açabileceği üstteki bir metrelik tabakada geçirecektir [12]. Bu zararın büyüklüğü, büyük bir nükleer güç reaktörüne bir yıllık yakıt sağlayacak kadar uranyum çıkarmanın, sonuçta 500 hayat kurtaracağına gösterildiği ilaveler kısmında ifade edilmiştir. Bu durum, çok uzun vadeli bir bakış açısından ele alındığında, tüm diğer sağliksal etkilerini gölgede bırakarak, nükleer

teknolojiyi tarihin en büyük hayat kurtarma girişimlerinden biri haline getirir.

Bu hayatları kurtarılmış saymadan önce, bugünün nükleer reaktörlerinde sadece küçük bir miktarı tüketilen uranyumun arta kalanına ne olduğunu belirtmeliyiz. Hayat kurtarma yönünden bakıldığında, bütünüyle başarılı sonuç verecek iki yol vardır. Kabul edilebilir olanı, uranyumu üreten reaktörlerde yakarak enerji elde etmektir. Kolay olan diğer bir alternatif de onu denize atmaktır. Uranyum, alt katmanlara tamamen oturmadan önce, denizde yaklaşık olarak 3,000,000 yıl kalacaktır [13]. Yerdeki tüm uranyumun kaderi, en sonunda akarsular tarafından denize taşınmak ve orada 3,000,000 yıl geçirmektir. Uzun vadeli bakış açısına göre, bu sürecin şimdi ya da birkaç milyon yıl sonra gerçekleşmesi, insan sağlığına çok az etkiyecektir. Ancak bu arada, uranyumun yeryüzünde 22,000 yıl kalmasını engellerek, milyonlarca hayatın radona bağlı olarak kaybedilmesini önleyorz!

Etkilerinin yalnızca gelecek 500 yıl için önemli olduğu görüşü benimsense bile, uranyum madenciliğinin önemli bir etkisi vardır; çünkü uranyumun yarısı, yüzey madenciliğiyle çıkarılmakta ve bunun yaklaşık olarak %1'i, yüzeyin 1 metre altından, yani *şu an* radon kaynağı olarak bulunduğu yerden gelmektedir. Bu etkilenim kaynağının kaldırılmasının, gelecek 500 yılda 0.07 hayat *kurtaracağı*; ancak aynı sürede üstü kapatılmış artıktan çıkacak radonun 0.01 ölüme yol açacağı *İlaveler*'de gösterilmiştir. Sonuç olarak uranyum madenciliğinin radon konusundaki net etkisi, büyük bir nükleer güç santralinin bir yıllık çalışmasının neden olduğu 0.06 oranındaki ölüm vakası önlenecektir.

Radonun tartışılması gereken bir yönü daha vardır: kömür yakılırken çıkan radon. Kömürün içerdiği uranyum, yakıldığında *şu ya da bu yolla* yüzeye çıkacaktır. Yakılmaması durumunda bile kömürün erozyon sebebiyle sonunda yüzeye çıkacağı gerçeği sorunu yine karmaşıktırmaktadır. *İlaveler*'de varılan sonuç [14], büyük bir güç santralinde bir yıl

süreyle kömür yakılmasından kaynaklanacak radon yayılımının, neticede 30 ölümcül akciğer kanserine yol açacağı şeklindedir. Bu değer, burada karşılaştığımız diğerleri gibi, aynı miktarda elektriğin nükleer yakıtla üretilmesi sonucu ortaya çıkan yüksek seviyeli atıkların neden olacağı 0.018 ölümden binlerce kat daha fazladır.

Güneş enerjisinden elektrik elde edilirken de, hazırlanması sırasında ihtiyaç duyulan malzemelerin -çelik, beton, cam ve aliminyum- üretiminde büyük miktarda kömür kullanılması gerekmektedir. Doğrusu bunlar, aynı miktarda elektrik üretilmesi için yakılması gereken kömürün %3'ü kadar kömür tüketmektedirler. Buna göre güneş enerjisinden elde edilen elektrik, radon nedeniyle yılda (30'un %3'ü =) 1 ölümden sorumlu olacaktır. Bu, yüksek seviyeli radyoaktif atığın neden olduğu, yılda 0.018 ölüm vakasından çok daha fazladır.

Rutin Radyoaktivite Yayılımları

Nükleer güç santralleri ve daha da önemlisi yakıtın yeniden işlendiği tesisler, sürekli olarak küçük dozlarda radyoaktif malzemeyi havaya ve yakın akarsulara, göllere veya denizlere yaymaktadırlar [5]. 1970'lerin başlarındaki nükleer karşıtı propaganda sırasında bundan çokça bahsedilmişti [16]; fakat son yıllarda bu konuda daha az yayın yapılmaktadır. NRC (Nükleer Yönetmelik Komisyonu) harcanan her 8 milyon dolar başına radyasyon etkileniminden bir hayat kurtaracak şekilde; radyoaktiviteyi azaltacak donanımı da içeren çeşitli şartları ile, yayılan radyoaktivite miktarına sınırlama getirmiştir [17]. Yeni ve daha yeterli kontrol teknolojileri geliştirilmekte olduğundan, bu yayılımlar son on yıl içinde oldukça azalmış ve azalmaya da devam etmektedir. Toplumun her bir bireyinin alabileceği maksimum dozu, kişinin doğal kaynaklardan aldığı radyasyonun çok küçük bir yüzdesiyle sınırlayan NRC kararları da vardır; nükleer santrallere çok yakın oturan kişiler için bu, yüzde birdir ve yılda fazladan 7 kilometre yol almanın veya her üç ayda bir,

karşıdan karşıya bir kere fazladan geçmenin getirdiği riskle aynıdır.

Sağlık açısından önemli yayılımlar, havadan çok zor ayrılabilen asal gazlar olan kripton ve xenonun (Kr-Xe) radyoaktif izotoplarından; hidrojenin radyoaktif bir izotopu olan ve suyun ayrılmaz bir parçası haline gelebilen, ancak çok büyük miktarlarda kullanılması nedeniyle ayrıştırıldığında kullanışsız olan tirityumdan (T) ve her yerde bulunan karbondioksit gazının ayrılmaz bir parçası olan karbon-14'ten (C-14) kaynaklanır. Bunlardan sadece C-14, gelecek kuşakları radyasyona maruz bırakacak kadar çok dayanır. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Komisyonu (UNSCEAR) tarafından kısa bir süre önce yapılan araştırmaya [5] göre, bir güç santralinin bir yıllık çalışması sonucu olan yayılımlar, Kr-Xe nedeniyle 0.036, T nedeniyle 0.022, C-14 nedeniyle ise 0.045 oranında ölüme; ilk 500 yılda 0.045 ve sonraki onbinlerce yılda da 0.56 ölüme yol açacaktır. Bu, ilk 500 yıl için toplam 0.1, uzak gelecek için de 0.6 oranında ölüm demek olur. Bu yayılımları 2 ile 4 kat azaltacak ve yakın gelecekte de yasal yollarla kullanılması şart koşulacak olan, geliştirilmiş teknolojiler vardır [18]. Bu rakamların, gelecek 500 yıl içinde yüksek seviyeli atığın yol açacağı 0.0001 ve toplam 0.018 ölümden çok daha fazla olduğuna dikkat ediniz. Bunlar, Rasmussen Çalışması'nın, reaktör kazalarının ortalama olarak 0.02 ölüme neden olacağı şeklindeki varsayımsal sonucundan daha büyük bir sayısal değer taşır. Burada yine halkın ilgisinin basın tarafından yönlendirildiğini ve telkin edilmeye çalışılan sonuçların, gerçek tehlikelerle bir ilgisi olmadığını görebiliriz.

Düşük Seviyeli Atık

Bir önceki bölümde de anlatıldığı gibi, doğaya radyasyon sızmasını elden geldiğince azaltmak için nükleer tesislerdeki radyoaktif madde, çeşitli türlerde filtrelerle havadan ve sudan ayrılmaktadır. Bu filtreler, süzdükleri maddeler itibarıyla *düşük seviyeli atık* konusundaki ana güvenlik unsuru-

nu oluştururlar. Bu kısımda, düşük seviyeli atığın ortadan kaldırılmasından bahsedeceğiz. Diğer unsurlar, radyoaktif malzemeyle⁴⁴ temas sonucu kirlenmiş fırçalar, bezler, eldivenler, laboratuvar malzemeleri, aletler, borular ve vanalar gibi nesnelerdir. Ayrıca *reaktöre çok yakın oldukları için* nötronlara maruz kalan çeşitli malzemeler de vardır⁴⁵. Buna ek olarak hastanelerden, araştırma laboratuvarlarından, radyoaktif malzemelerin endüstrideki kullanım alanlarından çıkan atıklar da vardır ve bunlar toplam atık miktarının %25'ini oluştururlar. Düşük seviyeli atıklardaki radyoaktivitenin yoğunluğu, yüksek seviyeli atıktakinin milyonda biri kadardır -ismi de buradan gelir-, ancak metre küp cinsinden ölçüldüğünde, ilkinin miktarı binlerce kat daha fazladır. Bu nedenle düşük seviyeli atığa, yüksek seviyeli atık için söz konusu güvenlik önlemlerini uygulamak, oldukça anlamsız ve gereksizdir. Bunlar, 7 metre kadar derinlikte sığ hendeklerden oluşan, federal hükümetin veya eyalet hükümetlerinin lisansladığı, ticari amaçla işletilen yerlere gömülürler.

Zarar verme potansiyeli nisbeten küçük olduğundan, düşük seviyeli atıklardaki radyasyon konusu yakın bir zamana kadar biraz gelişigüzel bir şekilde ele alındı. Paketlenmele-
rinde, taşınmalarında, ya da hendeklere dizilmelerinde çok az standardizasyon vardı ve üstlerinin örtülmesine de pek özen gösterilmezdi. Sonuçta, hendekler sık sık toprağın derinliklerine kadar sızan yağmur suyu ile dolarlardı ve su, küçük bir miktar radyoaktiviteyi atıktan aşındırırdı. Görevliler, düzenli olarak bu suyu dışarı pompalayıp, içindeki radyoaktiviteyi filtrelerle süzerek sızıntıyı önlerlerdi.

1970'lerde meydana gelen ve zararsız olmasına karşın basının abarttığı iki kazadan sonra, durum oldukça değişti. Maxey Flats denilen bir doğu Kentucky gömü alanının dışında küçük miktarda radyasyon bulundu [19]. Miktarlar o kadar küçüktü ki; hiç kimsenin 0.1 mrem (kansere olmak için 80 milyonda bir olasılık) bile radyasyona [20] maruz kalmış olmasına olanak yoktu. Radyasyonun yerden mi sızdığı, yok-

sa dikkatsiz yüzey işlemlerinin [21] bir sonucu mu olduğu kesin olarak bilinmemektedir, ancak basın bu olaya muazzam bir tepki gösterdi. *Washington Star*'ın 18 Ocak 1976 günkü baskısında, "Nükleer Atık Gömülü Kalmayacak" başlıklı, "Radyoaktif atıklar ülkemizin havasını, suyunu ve toprağını kirletiyor," cümlesiyle başlayan bir hikâye yayınlandı. ABD Enerji Araştırma ve Geliştirme Dairesi (Enerji Bakanlığı'nın önceki şekli) başkanının, yıllık bütçe konusunda bilgi verdiği toplantıda, soruların ilk 25 dakikalık kısmı, Maxey Flats hakkındaydı, ve NRC'nin (Nuclear Regulatory Commission: Nükleer Yönetmelik Komisyonu) başkanı da daha sonra benzer bir tavırla karşılaştı. Başka bir Meclis komitesi bu konuda bilgilendirildikten sonra [22] başkanı, basına bunun "yüzyılın en önemli sorunu olduğunu" söyledi. Ben de ona, meclis binasındaki granitin içerdiği yüksek uranyum yoğunluğu nedeniyle çalışanların her gün, Kentucky eyaletinde herhangi biri için söz konusu olandan çok daha fazla radyasyona maruz kaldığını anlattım. Bunun üzerine daha fazla kışkırtıcı ifadede bulunmadı; ancak toplantıya katılan basın mensuplarının yazıları nedeniyle gömü alanı kapatıldı.

İkinci kaza, batı New York'ta bir gömü alanında meydana geldi. Hendeklerdeki suyu dışarı pompalamak için bir devlet dairesinden izin alınması gerekiyordu. Bir keresinde alanda görevli operatörler tarafından durumun acil olduğu yolunda uyarı yapılmasına karşın, bu izin geciktirildi. Sonuçta, sağlıksal etkileri yok sayılabilecek kadar küçük olan (en yüksek doz 0.0003 mrem'di), çok az kirlenmiş su taşarak olayın başında yaygın ve yanlış bir şekilde yer almasına; gömü alanının da kapatılmasına yol açtı.

Basının bu kazaları ele alış yöntemi, inanılmaz derecede bayağıdır. Bir TV haber programı, orada yaşayan bir kadını, nehrin suyunun renginin değiştiğini anlatırken yayınladı, ancak hiçbir bilim adamının bu renk değişiminin radyoaktiviteye bağlı olamayacağı yolundaki görüşüne yer vermedi; üstelik renk değişiminin yakındaki bir kazı işlemi sebebiyle

ortaya çıktığı da yönetmene anlatılmıştı [24]. Aynı program, sığırlarının hastalığından dolayı yakının bir çiftçiyi götürtüledi -"Tüyları grileşiyor, dişlerini gıcırdatıyorlar ve neredeyse ölüyorlar, sütleri de azalıp çoğalıyor". Öte yandan bir veterinerin daha sonra sorunu bakır ve fosfor yetersizliği olarak teşhis ettiğı, sığırların tedavi gördüğü ve iyileştikleri gibi gerçeklerden hiç bahsedilmedi; oysa TV çalışanları, program yayınlanmadan çok önce bundan haberdar edilmişlerdi [24]. Gazete haberlerinin en göze çarpan kısmı [24] ise, sızıntıdan kaynaklanan radyasyon yüzünden ölmekte olduğunu anlatan bir kadına ayrılmıştı. 0.1 mrem radyasyon dozunun kansere neden olma olasılığı 80 milyonda birdir ve her beş kişiden biri, başka sebeplere bağı kanserlerden ölmektedir; yani kadının kanserinin sızıntıya bağı olması olasılığı 16 milyonda birden fazla değildir. Aslında bu sayı daha da düşüktür, çünkü kanseri, normalde radyasyonun neden olduğı kanser türlerinden biri değildi. Dahası, 0.1 mrem, bu olayda herhangi bir insanın alabileceğı maksimum dozdu; bu kadının maruz kaldığı doz, büyük bir olasılıkla çok daha azdı.

Gazetecilerin bu konudaki en büyük günahları, bakış açılarının yetersizliğiydi. Kişinin bu kazalardan alabileceğı maksimum doz olan 0.1 mrem, 0.12 dakikalık ya da 7 saniyelik bir ortalama ömür kaybının karşılığı olmaktadır. 4. Bölüm'de anlatılanlara göre bu, karşıdan karşıya geçmenin, yani günde birkaç kez yaptığımız bir işin taşıdığı riskin üçte biri kadar bir risk taşır. Bu kadar küçük bir riskin üzerinde neden bu kadar çok duruluyor?

Nükleer sanayi kaynaklı en küçük bir radyasyon etkilenimi durumunda bile basında bu kadar çok yazı çıkmasının, halkın çok hassasiyet göstermesinin ve bazı hükümet görevlilerinin güvenliği artırma konusundaki iyi niyetli çalışmalarının sonucunda, yakın bir geçmişte, yeni bir yönetmelik hazırlandı [26]. Buna göre, (1) hendeklerin suyla dolmasını engellemek amacıyla, hendek diplerinin herhangi bir yeraltı suyunun birikim yerinden (yani su düzeyinden) yüksekte ol-

ması; (2) hendeklerden su geçişini azaltmak amacıyla yüzey örtüleri yerleştirilmesi; (3) atık paketinin, yüksek dış basınçlarda bile boyutlarını ve şeklini muhafaza edecek, ıslanmaktan ya da uygun olmayan kimyasal ve biyolojik durumlardan etkilenmeyecek şekilde hazırlanması; (4) paket malzemesinin karton veya fiberden daha sağlam olması; (5) atıkta hiçbir şekilde sıvı bulunmaması; (6) atık paketleri arasındaki boşlukların özenle doldurulması ve benzeri birçok şey şart koşuldu.

Suyun akış yönü aşağı doğru olacağından, paketlerden sıran radyoaktivite, birikim yerine varıncaya kadar sadece aşağıya doğru hareket eder [28] ve bundan sonra bir akarsuya dökülünceye kadar yeraltı suyuyla yatay bir hareket yapar. Bu hareket, yüksek seviyeli atıklar konusundaki tartışmada da belirtildiği gibi, binlerce yıl alabilir; çünkü su yavaş hareket edecektir ve radyoaktif malzeme de taşlar ve toprak tarafından sürekli filtre edilerek ayrılacaktır.

Düşük seviyeli atığın gömü yerinin yol açacağı tehlikeleri tahmin edebilmek için [29], topraktaki maddelerin insan midesine ulaşması ile sonuçlanacak iki olası yolu göz önüne alırız: (1) bitki kökleri tarafından emilip yemeklerimize ve (2) akarsu tarafından taşınıp su kaynaklarımıza girmesi⁴⁶. Atığın yiyecek yoluyla insan midesine ulaştığı durumun bir değerlendirmesini yapabilmek için, tüm atığın paketten dışarı çıktığını ve bir şekilde toprağın en üst tabakası ile su yüzeyi arasındaki bölgeye gelişigüzel olarak dağıldığını varsayalım. Doğal maddeler için, kimyasal elementlerin toprakta [30] ve yiyeceklerde [31] ne miktarda bulunduğunu biliyoruz; dolayısıyla bunların, topraktan yiyeceklere geçme olasılığını hesaplayabiliriz. Bu olasılık hesabı, aynı elementin radyoaktif olan izotoplarına ve kimyasal olarak benzer özellik gösteren diğer maddelere de uygulanabilir. Sonuç, 5. Bölüm'de anlatılan yöntemleri kullanarak varılan ve düşük seviyeli atıkların *tümünün*, insanlar tarafından yutulması durumunda ortaya çıkacak kanser sayılarını veren sonuçla çarpıldığında çarpım sonucu, radyoaktivitenin yiyecekler yo-

luyla insan midesine ulaşmasıyla ortaya çıkacak ölüm vakalarının sayısını verir.

Radyoaktivitenin bir kısmının akarsuya varmasının yaklaşık olarak 800 yıl süreceği tahmin edilmektedir [28]. Konservatif bir yaklaşımla su yoluyla gelecek radyoaktivitenin zararlarını belirleyebilmek için, 800 yıl sonra varlığını sürdüren *tüm* radyasyonun bir nehre varacağı varsayılır⁴⁷ ve 5. Bölüm'de açıklanan yüksek seviyeli atık için olduğu gibi, 10,000'de birinin, insan midesine girme olasılığı olduğu bulunur.

Radyoaktivitenin yiyecek ve içme suyu yoluyla insan midesine ulaşmasının etkilerini toplarsak, bir nükleer güç santrali tarafından bir yılda üretilecek düşük seviyeli atığın yol açacağı toplam ölüm sayısını, ilk 500 yıl için 0.0001 ve toplam olarak da 0.0005 şeklinde buluruz.

Bu kısımda birçok ayrıntıya yer verilmemiştir; ilgi duyan okuyucular, burada temel alınan araştırma raporunu inceleyebilirler [29].

Transuranik Atık

Transuranikler (TRU) olarak adlandırılan ve uranyumdan daha ağır olan elementler doğada bulunmazlar; ancak reaktörlerden çıkan hem yüksek hem de düşük seviyeli atığın bir parçası olarak karşımıza çıkarlar. Plutonyum, amerisyum ve neptünyum gibi bu tip elementlerin, vücuda girmeleri halinde diğer radyoaktif maddelerden çok daha tehlikeli olmalarına neden olacak bazı özellikleri vardır. Bunlar, diğer düşük seviyeli atıklardan görece olarak daha kolay ayrıldıklarından hükümet, bu işlemi yaparak TRU atıklarını, yüksek seviyeli atıklar için planlanana benzer şekilde derine gömmeyi yeğler. Bu amaçla kullanılmak üzere hazırlanan ilk depo, New Mexico'da inşa edilmektedir. TRU atıklarındaki radyoaktivite çoğunlukla, yüksek seviyeli atıkta bulunan miktardan kat kat daha düşüktür. Dahası, yüksek seviyeli atık için önemli bir tehdit oluşturan yüksek sıcaklıklar, TRU için pek etkili değildir. Böylece, henüz ticari bir TRU

atık tesisi olmasa da TRU'nun (yeniden işleme tesisleri faaliyetine geçinceye kadar TRU atığı olmayacaktır), yüksek seviyeli atıktan çok daha küçük bir tehlike arz ettiği görülmektedir.

Sonuçların Özeti

Bu ve önceki bölümlerde anlatılan elektrik üretiminin sağlıksal etkileri, büyük bir güç santralının bir yıllık işleyişinin, ilk 500 yılda ve milyon yıllık zaman aralıklarından sonraki uzak gelecekte yol açacağı ölümlerin sayısı cinsinden Tablo 1'de açıklanmıştır. Nükleer gücün yol açtığı radon yayılımı için konulmuş eksi işaretleri, ölüme neden olmasının söz konusu olmadığını; hatta hayat *kurtarıldığını* ifade etmektedir.

Bu tablo, atıklar konusundaki “son sözdür.” Sayısal olarak, nükleer enerjinin radyoaktif atıklarının, kimyasal atıklardan ve hatta termik santrallerin ve güneş enerjisinin *radyoaktif atıklarından* bile daha az tehlike taşıdığını göstermektedir. Teknoloji temelli sanayilerin neredeyse tümü,

Kaynak	Görülecek Ölümler	
	<u>İlk 500 Yıl</u>	<u>Uzak Gelecek</u>
Nükleer		
Yüksek seviyeli atık	0.0001	0.018
Radon yayılımı	-0.06	-500
Sürekli yayımlar (Kr, T, C-14)	0.05	0.3
Düşük seviyeli atık	0.0001	0.0005
Kömür		
Hava kirliliği	5	5
Radon yayılımı	0.11	30
Kimyasal kanserojenler	0.5	70
Güneş Enerjisi için Fotovoltaik Piller		
Malzemeler için kömür	0.9	3
Kadmiyum sülfid	0.8	80

Tablo 1. Bir büyük güç santralının ya da onun ürettiğiyle aynı miktarda güç üretiminin, bir yıl içinde yol açacağı ölüm rakamlarının özeti

kömürden elde edilen enerjiyi kullanır. Sonuç olarak ortaya kimyasal atıklar çıkar ve neredeyse tüm durumlarda bunlar, nükleer atıklardan daha zararlıdır. Uranyumun yeraltından çıkarılması sonucu kurtarılan hayatları göz ardı ettiğimizde de durum değişmez; eğer bu da eklenirse, nükleer güçle bir çok *hayat kurtarıldığı* sonucu çıkar ortaya. Herhangi bir sayısal risk hesaplaması standardına göre nükleer atıkların tehlikeleri, rahatsızlık duyulacak bir konu teşkil etmez.

Sorun, hiç kimsenin sayısal risk hesaplamalarına ilgi göstermemesinden kaynaklanmaktadır. Nükleer atıkların tehlikelerini konu alan, bu tehlikelerin sayısal değerlerine değinmeyen (çoğunlukla teknik konularda bilgisi olmayan yazarlar tarafından yazılmış), birçok kitap vardır. Bazı yazarlar benimle görüşmeler yaptılar ve ben de bu noktayı onlara açıklayabilmek için çok çaba sarfettim; ancak hiçbirinin de anladığını sanmıyorum. Ben tüm radyoaktif atığın insanlar tarafından yutulması durumunda neler olacağını anlatırken, onlar dikkatlice notlar alıyor; yeraltına gömülü bir atık atomunun insan midesine gitme olasılığının ne kadar küçük olduğunu anlatmaya çalıştığım durumlarda ise, sabırsızca başka konulara geçmeye çalışıyorlardı. Bende bıraktıkları izlenim, onların nükleer atıkların ne kadar berbat şeyler olduğunu topluma anlatmak için bir kitap yazmak istedikleri ve ilgi duydukları tek şeyin bu olduğu yolundaydı.

Bir keresinde, nükleer atıklar konusundaki bir TV programına konuşmacı olarak davet edilmişim. Bu daha da beter bir deneyimdi. Yapımı gerçekleştirenler, halka anlatmak istediklerinin ne olduğunu açıkça belli ettiler; benden istedikleri, onlara bu çabalarında yardımcı olacak bir malzeme ya da hiç olmazsa onların zıt görüşe sahip iki gruptan da insanlara danışarak adaletli davrandıklarını gösterecek bir şeydi. İstemedikleri ise, risklerin ne kadar küçük olduğunu sayısal olarak anlatan, buradakilere benzer analizlerdi. İstemedikleri bir başka şey ise, termik güçle nükleer enerjinin karşılaştırılmasıydı. Varmak istedikleri tek bir nokta vardı

ve istediklerini elde edeceklerinden de hiç kuşku yoktu - hiçbir bilim adamı, onları gerçekler ve hesaplarla yollarından döndüremeyecekti. Tabii ki onların görevi, seyirci çekmektir ve tehlikeler hakkındaki hikâyeler, tehlikelerin göz ardı edilebilir olduğunu gösteren bilimsel açıklamalardan daha ilgi çekicidir.

Gerçek Atık Sorunu

Basının ve hatta kitap yazarlarının davranışları, *gerçek* bir atık sorunu yaratmıştır: vergi mükelleflerinin paralarının, bizi nükleer atığın farazi tehlikelerinden korumak için sokağa atılması. Bir örnek, Güney Carolina'daki Savannah River tesisinde, nükleer bomba için malzeme üretiminin sonucu çıkan yüksek seviyeli atığın ne yapılacağı konusuydu. Oysa askeri amaçlı kullanım sonucu çıkan yüksek seviyeli atık, 5. Bölüm'de ele aldığımız ticari atıktan oldukça daha az oranda radyoaktiftir. Böylece birkaç farklı plan geliştirildi ve dikkatlice incelendi [33].

Nisbeten ucuz bir plan (500 milyon dolar), atık çözeltisini yerin derinlerine pompalamak şeklinde iken, çok daha pahalı bir tanesi (2.7 milyar dolar) ticari atığa da yapıldığı gibi bu atıkları camlaştıırıp, yerin derinliklerindeki bir depoya koymayı hedefliyordu. Birinci planın, sonuç olarak, gelecek binlerce yıla dağılmış şekilde (kanserle savaşta hiçbir gelişme olmayacağı varsayılarak) 8 ölümcül kanser vakasına sebep olacağı tahmin edilmişti [33]. ABD Enerji Bakanlığı, fazladan 2.2 milyar dolar harcayarak, gelecekte 8 hayatı, her hayat başına 270 milyon dolar maliyet karşılığı kurtarmaya karar verdi. Eğer bu 2.2 milyar dolar, kanser teşhisi veya otoyol emniyeti için harcanmış olsaydı, bizim kuşağımızdan on binin üzerinde hayatı kurtarırdı. Örneğin, bu yıl üretilecek tüm arabalara hava yastıkları koyabilir ve gelecek birkaç yıl içinde, her yıl binin üzerinde hayat kurtarabilirdik. Ya da Amerika'daki her eve yangın alarmı koyarak uzun bir süre için, her yıl 2,000 hayat kurtarabilirdik.

Ancak bu örnekler bile bizim dengesiz harcamalarımızın garipliğini tam olarak yansıtmıyor; çünkü binlerce yıl sonra yaşayacak insanlar bize, Hindistan'a ya da diğer gelişmemiş ülkelere, kişi başına 5,000 dolardan yiyecek göndererek kurtarabileceğimiz milyonlarca insandan daha yakın değiller. Bu 2.2 milyar dolar, *bir ihtimalle* kurtarabileceğimiz uzak gelecekteki 8 hayat yerine, oralandaki yarım milyon hayatı kurtarabilirdi. Aslında, *kronik* açlığın olduğu ülkelerde hayat kurtarılamayacağı, çünkü böyle yapmanın nüfusu artırarak sorunu daha da kötüleştireceği gibi bir iddia ile bu görüşe karşı çıkılabilir; ancak bu iddia, bir yıl süreyle felaket niteliğindeki kıtlıkların baş gösterdiği yerler için geçerli değildir. Örneğin, 1970'lerde Bengladeş'te 427,000 ve 330,000 insanı öldüren iki; Hindistan'da 829,000 kişiyi öldüren bir yerel ve Afrika Sahili ile Etyopya'da sırasıyla 100,000 ve 200,000'er kişiyi öldüren kıtlıklar oldu [34]. Eğer o insanların hayatlarına bu kadar az değer veriyorsak, nasıl binlerce yıl sonra yaşayacak kişilerin hayatlarını böylesine önemseyebiliyoruz? Onların doğrudan bizim torunlarımız olacağını düşünmemiz için hiçbir nedenimiz de yok.

West Valley - Büyük Atık Sorunu

Vergi mükelleflerinin paralarının nükleer atık idaresi adı altında sokağa atılmasının en çarpıcı örneği, Buffalo'ya 15-20 km uzaklıktaki West Valley, New York'ta yaşanmaktadır. West Valley sorunu basında oldukça fazla yer tuttuğundan, onu biraz ayrıntılı olarak anlatmamız yerinde olacaktır [35]. Burası, 1966 yılında açıldıktan sonra 1972 yılında, büyüterek kapasitesini artırmak için kapatılan, ilk ticari "yeniden işleme" tesisinin bulunduğu yerd. Sonraki birkaç yılda, hükümetin güvenlik koşulları, projenin maliyetini önemli ölçüde artırdı: tesisin maliyeti 32 milyon dolara çıktı. Başta düşünülen büyütme maliyeti ise 15 milyon dolardı; oysa depreme karşı yeni koruma önlemleriyle maliyet 600 milyon doları buluyordu. (Tüm alanların depreme karşı hassasiyeti vardır; ancak bu, West Valley bölgesinde minimum düzeyde-

dir.) Bu nedenle operasyonun durdurulmasına karar verildi ve bir yeraltı deposunda bulunan yüksek seviyeli atığın ne yapılacağı sorunu ortaya çıktı.

Radyoaktif maddenin bir şekilde sızıp, yeraltı suyuna karışarak yakında bulunan bir çay yoluyla Erie Gölü'ne ulaşması potensiyel bir tehlike oluşturunuyordu. Erie Gölü, önce Ontario Gölü'ne oradan da St. Lawrence nehrine dökülür ve bu üç nehir, milyonlarca insanın su kaynağı olarak kullanılır. Bu, ne kadar tehlikelidir?

West Valley'deki tüm radyoaktif atık, Erie Gölü'nde çözünüp hiç önlem alınmaksızın su kaynağı sistemlerimizin filtrelerinden geçecek olsaydı, 40,000 ölüm beklenebilirdi [36]. Bununla birlikte radyoaktivite, ilk birkaç yüzyılda on faktör oranında azalır, yani atıklar Erie Gölü'ne bundan 400 yıl sonra dökülecek olursa, yalnızca altı ölüm beklenebilir; bu olay 1,000 yıl sonra gerçekleşecek olursa, tek bir ölüm bile olmayacaktır.

Atıkların Erie Gölü'ne yakın gelecekte karışması ne kadar olasıdır? Diyelim ki koruma kabuğunda yer alan tüm özellikler bozuluyor ve tüm radyoaktif madde toprağa karışıyor. En yakın çay, yüz metre kadar ötede bulunmaktadır ve topraktaki suyun bu uzaklığı geçmesi, on ile yüz yıl arası bir zaman alacaktır. Ancak radyoaktif madde çok daha yavaş ilerler; üstelik de suyun toprakta yol aldığı süre içinde atık süzülecek ve çaya ulaşması 100 kez -yani en azından bin yıl- daha uzun sürecektir. Yalnızca bu bile, radyoaktivitesi yok olmadan önce atığın çaya ya da göle, büyük bir olasılıkla ulaşamayacağını anlamamız için yeterlidir.

Peki toprağa bir sızıntı olması ne kadar olasıdır? Buna karşı alınacak en büyük önlem, atığın içinde bulunduğu depoun kendisidir; fakat bundan daha sonra bahsedeceğiz. Ayrıca atığın toprağa sızmasını önleyecek daha birçok engel vardır: Öncelikle depolar, suyun girişini önleyecek olan beton bir tonozun içindedirler. İkinci olarak beton tonozların çevresi çakılla örtülüdür ve suyu bu çakılların arasından dışarıya pompalamak için yerleştirilmiş borular mevcuttur.

Eğer radyoaktivite bu bölgeye ulaşmayı başarırrsa, pompalarla tekrar geri pompalanacaktır; bunun gerçekleşmesi için de yeterince zaman -en azından birçok hafta- olacaktır. Üçüncü olarak tüm boşluk, oldukça yüksek bir geçirmezliği olan kil tabakası ile çevrilidir ve suyun önce normal toprağı aşip buraya ulaşması epey zaman alacaktır. Belirtmeye değer bir engel basamağı daha vardır; çaydaki su akışı öyle düşüktür ki yeraltı suyunun ona ulaşması on yıl ya da daha fazla sürecektir. Bu arada da çay suyundaki radyoaktiviteyi temizlemek için bir tesis kurulabilir.

West Valley'deki radyoaktivitenin iki katının, topraktaki bir kuyuya pompalandığı bir Rus programını göz önüne aldığımızda, toprağı sızıntı konusuyla ilgili olarak başka bir bakış açısı geliştirebiliriz. Bu, büyük ölçekli yüksek seviyeli atıkların ortadan kaldırılması konusunda, radyoaktivitenin topraktaki davranışını görmek için bir deney olarak yapılmıştı [37]. Alınan son raporlara göre sonuçlar, öngörülenlerle tutarlı idi ve plan uygulamaya konulmuştu.

Bu noktaya kadar radyoaktif maddelerin, atık deposunda solüsyon halinde bulunduğunu varsaydık, ancak gerçekte, %95 kadarı bu tankların dibinde, çamur halinde yatmaktadır. Bu çamurun, bir delikten dışarı çıkması, beton odadan geçmesi ve yeraltı suyu tarafından taşınması çok daha zordur; hatta doğrudan Erie Gölü'ne dökülseler bile, çoğu dibe çökecektir. Şehrin su kaynaklarına girmesi durumunda ise, büyük bir olasılıkla, filtre sistemleri tarafından süzülecektir. Erie Gölü'ne bir sızıntı olması olasılığı ile ilgili olarak daha önce verdiğimiz sonuçlar, gerçekte ortaya çıkacak sonuçlardan muhtemelen on kez daha abartılıdır.

Özetle, bir tanktan sızıntı olacak olursa, beton odada tutulacaktır. Tutulmazsa, çevresini saran çakıldan sızıp, gelen suyla birlikte dışarıya pompalanabilir. En sonunda çevresini saran topraktan geçse bile, topraktaki hareketi, bir çaya varmadan önce zararsız seviyelere ulaşmasına yetecek kadar yavaştır. Gerekirse bu radyoaktif maddeleri çay suyundan ayırmak da zor olmayacaktır; eğer atık maddenin Erie

Gölü'ne varması 400 yıldan kısa sürmezse (normal süre budur), bir ölüm vakası bile görülmeyecektir. Hiçbir şey işe yaramasa bile, Erie ve Ontario göllerindeki fazla radyoaktivite, normal gözlem işlemleri sırasında ölçülerek, toplum sağlığını koruyacak önlemler alınacaktır.

Bir tank, sızıntılara karşı ne kadar hassastır? Buna karşı, gelecek bölümde anlatılacak olan, oldukça sağlam korumalar vardır. Normal zamanlarda durum böyle olabilir, ancak büyük bir deprem olsa ne olurdu? Bir yapısal analize göre, olabilecek en büyük deprem bile bu atık depolarına zarar veremez. (Bu şiddette bir depremin, sadece 16,000 yılda bir ke-re olması beklenmektedir.) Deponun patlayıcılarla sabote edilmesi gibi bir senaryo düşünülebilir; ancak deponun üstü, gerekli önlemler alınmadığı takdirde kazılması oldukça tehlikeli olacak üç metre kalınlığında kille kaplıdır. Depo başa-ryla delinse de, diğer tüm koruyucu katmanlar sağlam kalacaktır ve hiçbir durumda zarara sebep olamayacaktır. İnsanlara zarar vermek isteyen sabotajcılar için, büyük bir binanın havalandırma sistemine zehirli gaz vererek binlerce insanı öldürmek gibi çok daha çekici hedefler vardır.

Bir uçaktan düşen büyük bir bomba atığa ulaşarak buharlaştırabilir; böyle bir durumda, birkaç yüz ölüm beklenecektir, ancak bu bomba şehre atıldığı takdirde çok daha fazla insanı öldürülebilir. Aynı mantık, büyük bir meteorun çarpması ya da bölgede bir volkan oluşması durumlarında da geçerlidir. Ne var ki bu olaylar son derece olasılık dışıdır.

Buraya kadar, sızıntı sırasında radyoaktif maddelerin toprağa dağılmasını göz önüne almadık. Topraktayken, bitkiler tarafından emilip insan besinlerine karışabilirler. Bu ne kadar zararlı olacaktır? Bugün West Valley atık deposundaki tüm radyoaktivite, yüzeyle gömülü olduğu yer arasındaki bölgeye gelişigüzel bir şekilde dağılacak olsa, toprak ABD'nin ortalama toprak özelliklerine sahipse ve toprak yüzeyi ekiliyse; hiçbir koruyucu önlem alınmadığı takdirde otuz ölüm görülecektir [35]. Bu durum yüz yıl sonra olacak olursa üç ölüm olur ve eğer 180 yıldan daha uzak gelecekte

olursa, hiç ölüm olmaz. Atığın, toprakta gelişigüzel dağılacığı yönündeki varsayımımız oldukça karamsardır. Pek olası olmayan bir sorun çıkması durumunda bile, bölgede yetiştirilen besin radyasyon kontrolünden geçirilerek, fazla radyo-aktivite içerenler toplanabilir.

1978'de, ABD Enerji Bakanlığı bu atık tankının ne yapılacağı konusunda bir karar vermeye çalıştı. En basit çözüm [35], depoya harç dökerek içindekileri çimentodan büyük bir bloğa dönüştürmektir. Bu, herhangi bir sızıntı tehlikesini ortadan kaldırıyordu. Tek olasılık suyun, kil katmanını, beton odayı ve paslanmaz çelik tankı peşpeşe geçerek, çimentodan bloğun bir kısmını çözündürmesiydi. Bu aşamaların her biri oldukça uzun zaman alacaktır. Örneğin, yüzme havuzları ve barajlar, çimentodan yapılmalarına ve sürekli suya maruz kalmalarına karşın, yıllarca farkedilir ölçüde aşınmazlar; dahası, yeraltı suyuyla temas, su basmasından çok, nemlenmeye benzer. Atık, yeraltı suyunda çözünecek olsaydı bile, Erie Gölü'ne giden yoldaki tüm engeller hâlâ yerlerinde duruyor olacaklardı ve herhangi bir zarara neden olmadan önce sorunun üstesinden gelinecekti. Bu çok uzak tehlike bile, sürekli bir gözlemlerle ortadan kaldırılabilirdi -sık sık beton odadaki su miktarını kontrol edip, eğer varsa dışarı pompalamak yoluyla. Çimentolaştırmak, 20 milyon dolara mal olurdu ve 15 milyon dolarlık bir tesis fonu da onu korumak istediğiniz sürece gereken gözlem masraflarını karşılamaya yetirdi.

Bu yapılsaydı, beklenen sağlıksal etkiler ne olurdu? Olasılıklar vererek risk analizleri yapmaya çalıştım; ancak bu durumun, 0.01 ölümden daha fazlasına neden olabileceği şeklinde bir rakam veren, inanılabilir bir sonuca varamadım. Bu sayıdan yüzlerce ya da binlerce kez daha düşük sonuçlar elde etmek çok daha kolaydı.

Ne var ki bu alternatif kabul edilmiyor. Bunun yerine Enerji Bakanlığı, atığı depodan alıp camlaştırarak, gelecekte yüksek seviyeli atık için yapmayı planladığı gibi, yerin oldukça altına gömmeyi tercih ediyor. Böyle bir program 1

milyar dolarlık bir maliyet demektir. 0.01 oranında ölüme engel olmak için 1 milyar dolar harcamak, kurtarılan her hayat başına 100 milyar dolar anlamına gelmektedir! Bu, harcanan her 100,000 dolar başına bir hayat kurtaracak projelerin hükümet tarafından geri çevrildiği bir zamanda oluyor! Bizim gerçek *atık* sorunumuz işte budur.

Burada son birşeyden bahsetmek gerekiyor: yukarıdaki planların uygulamaya geçirilişi sırasında, çalışanların maruz kalacağı radyasyon dozları. Görülüyor ki milyar dolarlık planda, çimentolaştırmaya oranla daha fazla etkilenim olacaktır; çünkü yol açacağı ölümler, 0.02 oranındadır (%2). Aslında, bir milyar dolarlık bu plan, toplum için daha fazla tehlike taşımaktadır!

Milyar dolarlık planı seçen hükümet yetkililerini tanıyorum ve bu sorunları onlarla tartıştım. Sanırım, işlerini iyi yapmaya çalışan bilgili kişilerdir. Ancak hayat kurtarmayı, çözmeleri gereken bir sorun olarak algılamıyorlar. Onların görevi, toplumsal ilgiye ve politik baskılara karşılık vermektir. Buffalo bölgesinde, birkaç bağnaz nükleer karşıtı, “Bu tehlikeli atığı bölgemizde istemiyoruz” diyerek ortalığı karıştırdılar -neden oradan biri onlara karşı çıksın ki? Kongredeki temsilcileri, mesajı Washington’a götürdü -başka bir şey yaparak ne kazanabilirlerdi ki? Enerji bakanlığındaki görevliler buna, bir milyar dolarlık bir program talebinde bulunarak karşılık verdiler -bu, onlara zarar vermiyordu; doğrusu, yönetecek oldukları bir milyar dolarlık yeni bir program da işlerine gelirdi. Kongreye, toplumu bu tehlikeli atıktan koruma konusundaki yükü üzerinden atabilmesi için bir milyar dolara ihtiyaç olduğu söyledi -böyle bir şeyin reddedilmesi nasıl mümkün olabilirdi ki?

Sorun hakkında bilgi ve anlayış kılığı çeken birkaç nükleer karşıtı etkili, hükümeti bir milyar doları “sokağa tamaya” işte böyle razı etti. Ben, tereyağdan kıl çekercesine gelişen bu sürecin her aşamasını izledim. Bana göre bu pisliği yaratan nükleer karşıtı mimarlar, aslında kınanması gereken yerel kahramanlardır.

Sızıntı Yapan Atık Depoları

Nükleer atık programlarının sorunları konusundaki hiçbir tartışma, sızıntı yapan atık depolarını ele almadan tamamlanamaz. Bu depolar hakkında, diğer atık işlemleri hakkında duyduğumuzdan daha fazla hikâye duymaktayız.

Yüksek seviyeli atık, kimyasal yeniden işleme tesisinde tecrit edildikten sonra camlaştırılmadan önce, yeraltındaki tanklarda birkaç yıl bekletilir. Bu tanklardan her biri, 50 güç santralinden birkaç yıl boyunca çıkabilecek tüm atığı alabilecek büyüklüktedir ve bu da oldukça büyük bir radyoaktivite miktarı anlamına gelmektedir. Bu durum, tanklardaki olası sızıntıların tehlikeleri konusundaki soruyu karşımıza çıkarıyor [38].

Sorun, nükleer enerji tarihinin ilk yıllarında belirdi. İkinci Dünya Savaşı sırasında, reaktörlerde bomba malzemeleri üretmek ve atıklarını yeraltı depolarında tutarak, kimyasal yeniden işleme tesislerinde ayırmak amacıyla, orta Washington eyaletindeki çölde Hanford Laboratuvarı kurulmuştu. Bu depolar, atık solüsyonu tarafından aşındırıldığı bilinen, sıradan çelikten yapılmışlardı ve sonunda sızıntı yaparak, bir miktar radyoaktif atığın toprağa karışmasına neden olacakları tahmin ediliyordu. O zamanki zihniyete göre bu, kabul edilebilir bir çözümdü -radyoaktif madde, nasılsa sonunda yeraltına gömülecekti; öyleyse neden bir kısmının sızıntılarla depolardan çıkmasına izin verilmesindi? Ancak radyoaktivite konusundaki toplumsal kaygı arttıkça, bu yöntem daha az kabul edilebilir hale geldi ve 1960'larda teknoloji değiştirildi. Bundan sonra yeni tanklar, daha zor aşınan, *paslanmaz* çelikten yapılmaya başlandı ve olası bir aşınmaya karşı yakından izlenmeleri için tesisler kuruldu⁴⁸. Fakat daha da önemlisi, yeni depolar artık çift duvarlı olarak yapılmaktadır. Yani, iç duvarda bir kaçak olursa sıvı, duvarlar arasındaki boşluğu doldurur ve sızıntının varlığını gösterir. Bu arada sıvı, dış duvar tarafından tutulmaya devam eder ve böylece onu yedek tanka pompalamak için yeterince zaman kalmış olur.

Daha önce bahsettiğimiz West Valley'in de dahil olduğu birçok yerde, yıllardır kullanılan bu yeni depoların hiçbir sorunu olmamıştı; ancak Hanford'daki bazı eski, tek duvarlı depolarda beklendiği gibi sızıntılar oluştu. Bu gibi durumlarda, deponun içindekiler yedek bir depoya aktarılıyordu. Bir tek durumda sızıntı yedi hafta boyunca belirlenemedi ve önemli miktarlarda radyoaktivitenin toprağa sızmasına neden olarak devam etti. Kaza hakkında olumsuz birçok yayın yapılmış olmasına karşın (sorumsuzca ihmalkarlık da vardı), hiçbir sağlıksal etkisi olmadı. Dahası, aşağıda anlatılacak nedenlerden dolayı, böyle bir etkisi olacağını düşünmek de oldukça zordur.

Şu an tüm radyoaktif maddeler, deponun birkaç metre civarında ve hâlâ su seviyesinin 50 metre yukarısında, toprak tarafından emilmiş durumdadır. Yağmur suyunun topraktan aşağıya sızması sonucu, radyoaktivitenin birkaç yüz yıl sonra su seviyesine varması beklenmektedir. Ancak bundan sonra, 17 kilometre uzaktaki Columbia nehrine doğru yatay harekete başlayabilir. Oysa, o bölgede yeraltı suyu oldukça yavaş ilerlemektedir; dolayısıyla atığın bu mesafeyi alması 800 yıl sürecektir. Burada sızan radyoaktif maddeler arasında, birkaç yüzyıldan uzun süre dayanacak olan tek madde, birkaç yüzbin yıl süreyle kalacak olan plutonyumdur; ne var ki yeraltı suyundaki plutonyum sürekli olarak kayalar tarafından süzüleceğinden, sudan 10,000 kat daha yavaş yol alacaktır. Sonuç olarak nehre varması, yaklaşık olarak bir milyon yıl alacak; bu arada da zaten bozunmuş olacaktır. Ancak, sızan tüm plutonyum (yaklaşık 50 gram), nehre şimdi ulaşacak ol- saydı bile, insan sağlığına yönelik tek bir etkisinin olma olasılığı, %1'den daha azdır. Burada verilen analizlerde hiç tutarsızlık olmamasına ve bildiğim kadarıyla bilimsel olarak hiç sorgulanmamış olmasına karşın Hanford'un sızıntı yapan tanklarından dolayı, şu andaki ve gelecekteki sağlıksal etkileri konusunda bana bizzat şikayetlerde bulunan kişiler oldu. Bu şikayetlerin hemen hepsi, radyoaktif atık konulu popüler kitaplarda veya dergi makalelerinde yer almaktadır.

Bazı okuyucular bir nehre dökülen 50 gram plutonyumun nasıl bu kadar zararsız olabileceğini merak edeceklerdir. Çünkü 5. Bölüm'ün İlaveler kısmında gösterildiği gibi, sonuç olarak 10,000 atomdan veya 0.005 gramdan sadece bir atomun insan midesine girme olasılığı vardır. Bir diğer neden de, insan midesine girdiğinde plutonyumun %99.99'unun birkaç gün içinde dışarı atılacak olması, yani hayati organları radyasyona maruz bırakmak için çok küçük bir olanağa sahip olmasıdır [39]. Plutonyumun çok zehirli olduğu yolunda anlatılan hikâyeler (7. Bölüm'de anlatılacaktır), plutonyumun yiyecek ya da suyla mideye değil; nefes alırken akciğere girmesi üzerine kuruludur [40].

Son bir nokta, Hanford atık depolarından gelecekte olacak sızıntılardan dolayı şimdiden kaygı duymakta olanları rahatlatacaktır. Depolardaki maddeler, bu sıralarda katılaştırılmaktadır. Bu, aşınma hızını oldukça düşürecek ve depolarda yeni delikler oluşması durumunda bile, önemli miktarlarda radyoaktivitenin sızmasını engelleyecektir.

Atığın Nakliyesi - Radyoaktivitenin

Toplum İçine Çıkması [41,42]

Kullanılmış yakıtın, reaktörlerden alınarak yeniden işleme tesislerine götürülmesi ve çıkan yüksek seviyeli atığın da gömülmesi için bir depoya taşınması gerekmektedir; burada mevcut *potansiyel* tehlikeler vardır. Hiç olmazsa radyoaktivite, tesislerdeyken toplumdan uzaktır, fakat nakliye sırasında halka yaklaşması engellenemez. Buna ek olarak, nakliye sırasında kazalarla, doğal olarak sık karşılaşılacaktır -kaza sonucu ölümlerin yarısı, zamanımızın yolculukla geçen bu küçük yüzdeler bölümü sırasında olmaktadır.

Dikkatimizi, hakkında en çok deneyime sahip olduğumuz, kullanılmış yakıtların nakliyesi konusunda yoğunlaştıracamız; diğer yüksek seviyeli atıkların nakliyeleri de, karşılaştırmalı olarak ele alınacaktır. Bir genel güvenlik kuralı, nakliyeyi elden geldiğince erteleyerek kısa süreli radyoaktivitenin bozunmasını beklemektir. Ancak en önemli güvenlik

düzeneği, içinde kullanılmış yakıtın taşındığı silindirik kap-
tır. Bu, genelde birkaç milyon dolara mal olur ve bu kadar
paraya gerçekten büyük miktarda korumanın satın alınabi-
leceği de düşünülebilir⁴⁹.

Bu kaplar, saatte 140 kilometreyle sağlam duvarlara
çarptırılmış; buna yakın süratlerde giden lokomotiflerle çar-
pıştırılmış; ancak içindekiler dışarı sızmamıştır. Bunların ve
benzeri testlerin devamında kaplar, benzin ateşinde 30 da-
kika tutulup, 8 saat boyunca suda bekletilmiş ve içindekile-
re yine hiçbir zarar gelmemiştir [43]. Gerçekte bu kaplar, 35
yıldan fazla bir süredir tüm ülkede atık yakıtların taşınma-
sında kullanılmaktadır. Onları taşıyan trenler ve tırlar, tah-
min edilebileceği gibi, her çeşit kazayla karşılaşmışlardır.
Sürücüler ölmüştür; kaplar yere yuvarlanmıştır; fakat
hiçbir zaman çevreye radyoaktivite yayılmamıştır ve toplu-
mun hiçbir üyesi, bu kazaların sonucunda radyasyona ma-
ruz kalmamıştır.

Eğer, halk için ciddi sağlıksal etkilere yol açacak durum-
ları hayal etmeye çalışırsak, tüm radyoaktivitenin, sızabile-
cek bir sıvı ya da gazdan değil, katı maddelerden oluştuğu
gerçeğiyle sınırlı kalırız. Kaptan çıkmayı başarsa bile, geniş
bir alana yayılmasını sağlayacak bir mekanizma da yoktur.
Akla gelen tüm durumlarda, önemli dozda radyasyon etkile-
nimi, kazanın olduğu yerin hemen yakınında dakikalarca
dolaşan insanlarla sınırlı bir toplulukta görülebilecektir; ya-
ni radyasyona maruz kalan insanların sayısı oldukça küçük
olacaktır.

Tüm ilgili unsurların göz önüne alındığı bir analize göre,
yakıtın nakliyesi sırasında meydana gelecek kazaların sonu-
cu olarak radyoaktivite sızıntıları, Amerika Birleşik Devlet-
leri'nde *birkaç bin yılda* 1 ölüme neden olacaktır. Tabii ki bu
kazaların normal sonucu olarak birkaç kez daha fazla ölüm
beklenebilir.

Bir şehrin içinden geçirilirken, teröristlerin atık kabını
havaya uçurma olasılığı üzerine tartışmalar olmuştu. Bunu
araştırmak için Sandia National Laboratory'de (Sandia

Ulusal Laboratuvarı), yüksek patlama gücü olan maddelerle, oldukça ayrıntılı testler yapıldı. Vardıkları sonuç [44], birkaç yüz kilo kaliteli patlayıcı, Manhattan'ın merkezinden geçmekte olan bir kap üzerinde patlatılırsa, beklenen toplam ölüm sayısının 0.2 olacağı şeklindedir; yani, (radyasyonun sebep olacağı kanserden) %20 olasılıkla bir tek ölüm olacaktır.

Daha önemli bir etki de otoyollarda radyoaktif atık taşıyan tırların yanından geçen kişilerin maruz kalacakları cüzi radyasyondur. Radyoaktif maddenin yaydığı gama ışınlarının bir kısmı, kabın duvarlarını aşarak çevreye yayılabilir (reaktörlerde kullanılan kalınlıkta bir kalkanı tırlara koymak pek kullanışlı olmayacaktır). Tamamen nükleer enerjiye dayalı bir programla bile, canlılar için söz konusu doz, bir miliremin çok küçük bir miktarı kadar olacaktır. Tüm etkiler, toplam olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde birkaç yüzyılda bir ölüme karşılık gelecektir.

Bu sonuçlar konusunda bir bakış açısı elde etmek için, nakliyeyle ilişkisi olan diğer enerji üretim sistemlerinin konu olduğu bir karşılaştırma yapalım. Yakıt kamyonu kazalarında, yılda ortalama 100 kişi ölmektedir [45] ve bunun 8 katı kadar insan da yaralanmaktadır. Kömür taşıyan trenlerin toplumun yılda 1,000 üyesinin öldümüne neden olduğu tahmin edilmektedir [46]. Enerjiyle ilgili nakliye sorunları arasında radyoaktif atıkların nakliyesi, açıkçası, en önemsizler arasında yer almaktadır.

Kullanılmış yakıt nakliyatının oldukça uzun ve mükemmel bir geçmişi ve çok az sağlıksal etkisi olmasına karşın, basın hikâyeleriyle büyük bir toplumsal korku yaratılmıştır. New York'dakinden, küçük bir köydekine kadar birçok belediye, atık yakıtların kendi sınırları içinden geçirilmesini yasaklamıştır. Taşıma rotalarının hazırlanmasında büyük sorunlar yaratmak için çok sayıda yasağa da gerek yoktur. New York şehrine ait bir yönetmelik, Long Island'dan ABD'nin herhangi bir yerine tren ya da tır nakliyatını engellemektedir.

Eyaletler arası ulaşım konusunda yasal yetkisi bulunan ABD Ulaştırma Bakanlığı, bu sorunu çözmek için yıllardır planlar hazırlamaktadır. Bu planların kısa zamanda sonuç vermesini umut ediyorum; ancak bu arada ağır maddi kayıplar olmaya devam edecek ve bunun faturasını da her zamanki gibi halk ödeyecektir.

Sovyetler Birliği'nde Bir Radyoaktif Atık Kazası

ABD'de birinin, radyoaktif atıktan zarar görmüş olduğunu ilişkin henüz bir bilgi olmanmasına karşın, Sovyetler Birliği'nde atığın rol oynadığı bir kazadan basında çokça bahsedildi. Kaza, 1957-1958 kışında, Güney Ural dağlarındaki Kyshtym nükleer silah tesisinde oldu. Bu konuda ilk bilgileri [47], şu anda İngiltere'de yaşamakta olan ve Rus bilim adamları arasındaki söylentilerle, Rus yazınında yayınlanan radyasyon zehirlenmesine ilişkin raporlardaki bilgileri bir araya getirerek bir sonuç çıkaran Sovyet bilim adamı Z.A. Medvedev verdi. Şu an İsrail'de yaşayan ikinci bir Sovyet bilim adamı [48], 1960'da bu bölgeden geçtiğini ve oranın boş olduğunu gördüğünü anlattı; şoförü orada büyük bir patlama olduğunu anlatmış. Medvedev bu durumun, radyoaktif atığın patlaması sonucu olabileceğini ortaya attı. Duyduğu söylentilere göre birçok ölüm ve binlerce kilometrekare alanda önemli ölçüde radyoaktif kirlenme olmuştu.

Bu raporları takiben, Oak Ridge National Laboratory [49] ve sonra da Los Alamos National Laboratory'de [50], Rus yazınının ayrıntılı incelemesi sonrasında toplanabilen ve ABD hükümetinden (CIA) alınan bilgilere dayanan geniş araştırmalar yapıldı. Kazanın, Ruslar'ın bomba yapmak için acele ederken, radyoaktif atığı dikkatsizce işlemeleri ve hatta yüksek seviyeli atığı üstü açık havuzlarda tutmalarının bir sonucu olduğuna karar verildi. Çeşitli yayılma yöntemleri, her iki grup tarafından da ele alındı, ancak kesin bir sonuç elde edilemedi. Oak Ridge çalışması, bu ülkede geliştirilmiş, fakat yüksek patlayıcı özelliği dolayısıyla kullanılmamış olan bir işlemi Ruslar'ın kullanması sonucu, büyük bir kim-

yasal patlama olduğu teorisine dayanıyordu. Los Alamos alışması da, atığın rüzgar ve suyun normal akışı ile dağıldığını varsayan bir teoriyi seçmişti. Grupların ikisi de, bunun Medvedev'in iddia ettiğı gibi, yeraltına gömülmüş atığın yol açabileceğı bir nükleer patlama olamayacağı sonucuna vardılar; çünkü çeşitli radyoaktif maddelerin miktarlarının oranı, bir nükleer patlamada olması gerekenden çok daha farklıydı. Üstelik, büyük bir nükleer patlama için çok özel bazı maddelerin, saniyenin milyonda biri gibi kısa sürede bir araya getirilmesi ve ortamda çok az su olması⁵⁰ gerekir; ancak atık genelde su içinde çözünmüş durumdadır ve maddelerin hareketleri oldukça yavaştır. ABD'li araştırmacılar, kirlenen alanın Medvedev'in tahmininden çok daha küçük olduğuna inanmaktadırlar -söylentiler genelde böylesi değerleri büyütür ve "kirlenme"nin tanımı da çeşitli yorumlara açık olabilir. Amerikalı araştırmacılara göre en küçük bir gerçekleşme olasılığına sahip bir kaza bile, ölümcül düzeyde radyasyon yayamazdı. Radyasyondan dolayı hayat kaybı olmuş olması, bu nedenle biraz şüpheli görünmektedir. Dahası, bilimsel Rus yazınında bu kaza sırasında radyasyon yayıldığı anlamına gelebilecek, radyasyonun tıbbi etkilerine dair hiçbir şey yoktur. Oak Ridge grubunca kabul edilen kimyasal patlama teorisi, birkaç ölüme yolaçmış olabilir; kullanıldığından kuşku duyulan kimyasal madde, bir gemi dolusunun 1947'de Texas City'de patlayarak 500'ün üzerinde kişinin ölümüne neden olan amonyum nitrattır.

İki çalışmanın da vardığı en kesin sonuç, Amerikan atık işleme yöntemlerine bağlı olarak böyle bir kazanın olamayacağıdır -bu soruya cevap vermek, çalışmaların asıl amacıydı. Kimyasal ya da nükleer patlamaya yol açabilecek maddelerden hiçbir ABD teknolojisinde mevcut değildir.

"60 Dakika" isimli CBS programı, bu konuya Medvedev ve Ralph Nader'ın yer aldığı bir bölüm ayırdı. Medvedev, patlama sonucunda binlerce kişinin öldüğüne değindi ve kaza hakkında hiç bilgisi olmadığı belli olan Nader da, bu durumun nükleer atıkların ne kadar tehlikeli olduğunu gösterdi-

ği iddiasını ortaya attı. Oak Ridge’de iki gün geçiren CBS çalışanları, bu grubun çalışmalarının böyle bir kazanın varlığını doğruladığını söylediler, ancak varılan sonuçlar hakkında hiçbir bilgi vermediler. Oak Ridge’dekiler, ABD sisteminde böyle bir kazanın olma olasılığının bulunmadığını tekrar tekrar anlattılar, ancak TV yayınında bu noktaya değinilmedi Aksine Nader’in açıklamaları, böyle bir kazanın rahatlıkla burada da olabileceğini ima ediyordu.

Bence böylesi bir kazanın bizim atık işleme sistemimizde de olup olamayacağı sorusu çok önemliydi. Tüm bilimsel analizler, olamayacağı sonucuna vardılar; fakat Nader TV izleyicilerine, olabileceği izlenimini verdi. Bilimsel analizlerin sonuçları toplumdan saklandı ve yerine, politik olarak desteklenen bir cevap verildi. TV yapımcıları tarafından yapılan bu acımasız aldatmaca için hiçbir özür kabul edilemez. Bilimsel sonucu aktarmamak, bir dikkatsizliğe dayandırılmaz, çünkü bu nokta onlara tekrar tekrar anlatıldı. Tabii “burada da olabilir mi?” gibi bir sorunun yersiz ve saçma olduğunu düşünememişlerdir. Arkadaşlarımdan birkaçı, takip eden haftalarda bana bu soruyu sordular ve program yayımlandıktan sonraki gün, ben sınıftan içeri girer girmez, öğrencilerimin sorduğu ilk soru “böylesi bir kaza bizim atık idare sistemimizde olabilir mi?” oldu.

Ben, bu kilit soruya karşılık olarak bilimsel çalışmaların getirdiği cevabın aktarılmasının, TV çalışanlarının dikkatsizliği değil; Amerikan toplumundan cevabın saklanması yolunda, amaçlı bir teşebbüs olduğuna eminim. Yerine Ralph Nader’in bilimsel olarak savunulamaz olan, önceden belirlenmiş cevabı verildi. Nader’in programa katılmasının da başka bir nedeni olamaz (kaza hakkında hiçbir bilgisi yoktu, bu konuyla hiç ilgilenmemişti ve radyoaktif atık idaresi konusunda bilimsel hiçbir temeli de yoktu). Onun bu durumla tek ilgisi, politik olarak istenilen bir propagandayı gerçekleştirmektir ve CBS-TV, bunu oldukça büyük bir kitle önünde yapabilmesi için, bu bedava şansı ona tanıdı. (Nader’in nükleer gücün bilimsel yönü konusunda herkesçe bili-

nen güvenilirmezliği, yeni bir kitapta anlatılmaktadır [51].) Bilim çevresinin bu durumda tek yapabildiği ise, hayal kırıklığı içinde dişlerini gıcırdatmak oldu.

Özet

Bu ve bundan önceki bölümde, radyoaktif atık sorununun ayrıntılı bilimsel analizleri sunuldu. Bu analizlerin birincil sonuçları Tablo 1'de, bölümdeki bazı ek bilgilerle birlikte verilmiştir. Bunlar nükleer atığın tehlikelerinin, diğer teknolojilerin atıklarının tehlikelerinden binlerce kez daha az olduğunu göstermektedir. Ne var ki basın, nükleer atık sorununu öylesine yaydı ve çarpıttı ki; bugün milyarlarca dolar bu uğurda sokağa atılmaktadır. Tüm bu paranın boşa harcanmasına karşın, nükleer güçten elde edilen elektriğin fiyatı, sadece yüzde bir oranında yükselmiştir.

İlaveler

Nükleer gücün şu ana kadar olan en önemli sağliksal etkisinin, uranyumun yeraltından çıkarılması sonucu, gelecek kuşakların radon etkilenimlerini azaltarak kurtardığı hayatlar olduğunu söylemiştik [12]. Şimdi bunun hesaplanışını gösteren işlemlere bir göz atalım.

Bizim şu an maruz kaldığımız radon, uranyumdan ve onun, ABD toprağının yüzeyin bir metre altına kadar olan bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır; çünkü daha derinlerden yukarı doğru gelen maddelerin yüzeye erişmeden önce bozunması olasılığı oldukça yüksektir. Uranyumun topraktaki miktarından (2.7 parts per million :ppm:1 milyon atomdan kaç tanesinin uranyum olduğunu gösterir) ve ABD'nin yüzey alanından (48 sınır komşusu eyalet), ABD toprağının üst bir metresinde 66 milyon ton uranyum olduğu sonucuna varabiliriz. Daha önce de anlattığımız gibi radon, her yıl 10,000 ölüm neden oluyor ve erozyonla yok olmadan önce bir 22,000 yıl daha durum böyle olmaya devam edecektir. Bu da 66 milyon ton uranyumun neden olduğu toplam ($10,000 \times 22,000 =$) 200 milyon ölüm, ya da her ton başına 3.3 ölüm demektir. Erozyon devam ettikçe topraktaki tüm uranyum, üst bin metrede 22,000 yıl kalarak ton başına 3.3 ölüme yol açacaktır.

Bir nükleer güç santralini bir yıl işletmeye yetecek kadar yakıt elde etmek için 180 ton uranyum çıkartılır. Bu işlemin ($180 \times 3.3 =$) 600 hayat kurtarması beklenebilir. Ancak tutarlı olmak için öğütüm artığının üstünü örten tabakanın da, erozyona uğrayacağını göz önüne almalıyız [12]. Bu da hesaba katıldığında, kazma ve öğütmenin uzun zaman sonucundaki etkileri, 500 hayat *kurtarmak* şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

Kısa süreli, yani 500 yıllık bakış açısına göre erozyonu göz ardı edebiliriz. Öte yandan yüzeydeki uranyum cevherinin yarısı yüzeyden çıkartılmış durumdadır ve bunun %1'i, yani

($0.005 \times 180 =$) 0.9 tonu üst bir metreden çıkartılmaktadır. Bu, gelecek 22,000 yılda ($0.9 \times 3.6 =$) 3.3 hayat, gelecek 500 yılda ($500 / 22,000 \times 3.3 =$) 0.07 hayat kurtaracaktır. Bundan, üstü örtülü öğütüm artığının yol açacağı radon yayılımını çıkarmalıyız; $0.003/\text{yıl}$ üstü açık, $\times 1/200$ de örten tabakanın etkisi ve $\times 500$ yıl = 0.01. Yani, bir güç santraline bir yıllık yakıt üretmek için gereken uranyumu çıkarmanın ve öğütmenin gelecek 500 yıl için geçerli net etkisi, ($0.07 - 0.01 =$) 0.06 hayat *kurtarmak* şeklindedir. Bu, tablomuzda kullanılan sonuçtur.

Şimdi de kömürü yakma sonucu çıkan radonun etkilerini ele alalım. Kömür, ortalama 1.0 ppm uranyum [53] içerir - bazı ticari kömürlerde bu 40 ppm'ye kadar çıkmaktadır. Kömür yakıldığında şu ya da bu şekilde toprağın üst tabakalarına yayılır ve yukarıda gösterildiği gibi radon yayılımıyla 3.3 ölüme yol açar. Büyük bir termik santral tarafından yakılan yıllık 3.3 milyon ton kömür, ton başına 3.3 ölüme yol açması beklenen 3.3 ton uranyumu açığa çıkaracak ve bu da toplam 11 ölüm demek olacaktır. Bunlar yaklaşık olarak 100,000 yıl boyunca etkili olacak ve etkilerin çoğunluğu daha önceki zaman dilimi içinde ortaya çıkacaktır; yani toplamın %1'i kadar olan 0.11 ölüm, gelecek 500 yıl içinde olacaktır. Tablomuzdaki rakam bunu ifade etmektedir.

Milyonlarca yıllık bir zaman aralığında [14], kömür çıkarılmamış olsa bile kömürün içindeki uranyum, erozyonun sonucu olarak yüzeye varacaktır. Bu 11 ölüm nasılsa gerçekleşecek olduğundan hesaptan çıkarılabilir. Ancak, kömürün ana bileşeni olan *karbon* yakılmaktadır. Oysa karbon yanmamış olsaydı, erozyon nedeniyle sonunda yüzeye vardığında kendisi hiç uranyum içermediği için radon yayılımını da azaltacaktı (kömürdeki uranyum zaten hesaba katıldı). Karbon çıkarıldıktan sonra yerini, ortalama 2.7 ppm oranında, bir başka deyişle 3.3 milyon tonunda ($3.3 \times 2.7 =$) 9 ton uranyum içeren diğer kayalar alacaktır. Bunu ton başına 3.3 ölümle çarparsak, 30 ölüm vakası sonucunu elde ederiz.

7. BÖLÜM

Plutonyum ve Bomba

Plutonyumun varlığından sıklıkla şeytanın işi olarak söz edilir⁵¹. Nükleer bombalarda en fazla miktarda kullanılan madde olduğu için de bir gün sayısız insanın ölümüne neden olabilir; ancak plutonyum var olmasa bile onun yerine geçecek maddeler vardır. İnsan vücuduna girdiği takdirde son derece zehirleyicidir. Öte yandan dünyamızın ihtiyaç duyduğu enerjiyi makul bir fiyatla *sonsuz* *dek* sağlayabileceği için de tek garantimizdir. Aslında ben, uzak gelecekte insanların ona Tanrı'nın insanlığa en büyük armağanı olarak bakacaklarından da eminim. Hayır ve şerrin bu uç noktaları arasındaki gerçek, nükleer güç programımızın bugünkü gibi işlemeye devam etmesi halinde, teknik hesaplamalar dışında plutonyumun varlığının bununla hiçbir ilgisinin olmayacağıdır.

Açıkçası plutonyum hakkında anlatacak birçok farklı hikâye var. Gelecekteki yararlarından başlayıp, silahlarla ilgisinden bahsedip, zehirlilik sorunu ile de bitirelim.

Geleceğin Yakıtı

Uranyum doğada iki şekilde bulunur: U-235 ve U-238; karışımın %1'inden azını oluşturan U-235 fisyon ile enerji üretmek üzere yakılabilir. Dolayısıyla bugün mevcut güç reaktörleri, yakıt üretmek için çıkarılan uranyumun yalnızca %1'inden azını yakarlar. Bu, müsriflik gibi görünse de, ham uranyumun bugünkü fiyatı nükleer elektriğin %5'i kadar olduğu için aslında ekonomiktir (bkz. İlaveler). Bununla birlikte, mevcut fiyata yakın olmak üzere uranyumun üretilebileceği sınırlı miktarda cevher vardır; belki de 2005 yılına kadar kurulacak reaktörlerin tümünün, kullanım dışı kalana kadar ihtiyaç duyacaklarına yetecek miktarda. Bundan sonra uranyum fiyatları hızla

artacak, nükleer elektriğin fiyatını birkaç on yıl içinde iki katına çıkaracaktır.

Neyse ki bu sorunun bir çözümü vardır. Mevcut Amerikan santrallerindeki yakıt, U-238 ve U-235'in bir karışımıdır. Reaktör işlerken yanamayan U-238'in bir kısmı plutonyuma çevrilir. Bu plutonyum fisyon yapabilir ve nükleer yakıt olarak kullanılabilir. Aslında reaktörün toplam enerji üretiminin üçte birine yetecek kadarı, yakıt reaktörde iken yakılır. Ancak kimyasal bir işlemle çıkarılacak olan bir kısım, kullanılmış yakıtın içinde kalır. Bu plutonyum, mevcut reaktörlerimizde yakılabilir; ancak bir başka alternatif de onu, kullandığı yakıt uranyum (U238) ve plutonyumun bir karışımı olan *üretken* reaktör tipinde kullanmaktır. Üretken reaktör diğerlerine oranla çok daha fazla U-238'i, yani yanarı telafi etmek için gerekenden fazlasını plutonyuma dönüştürür. Üretken reaktör elektrik üretmekle kalmaz, kendi plutonyumunu da fazlası ile birlikte üretir. Yalnızca yanamayan doğal uranyumun %99'u olan U-238 tüketir ve U-238'i yakmak için dolaylı bir yöntem de sağlar. Böylece mevcut reaktörlerdeki gibi %1'inden azı değil; uranyumun neredeyse hepsi enerji üretimi için yakılmış olur. Bu da uranyum kaynaklarımızın yalnızca 50 değil, binlerce yıl boyunca yeterli olacağı anlamına gelir. Üstelik de uranyum madenciliğinin ve ortaya çıkan uranyum atıklarının yol açacağı çevresel ve sağlık-sal sorunlar da 100 kez azalacaktır. Aslında, çıkarılmış ve stoklanmış U-238'i kullanacağımız 200 yıl boyunca uranyum madenciliği de yapmayabiliriz.

Aynı miktar uranyumdan 100 kez daha fazla enerji elde etmek demek, elektriğin kilowatt saati başına ham yakıt maliyetinin de aynı şekilde azalması demektir. Gerçekte, üretken reaktörde üretilen kullanılabilir enerjinin birim yakıt maliyetleri, 150 lt gazı bir kuruşa satın almaya eşdeğerdir!(bkz. İlaveler). Uranyumun maliyeti mevcut tip reaktörlerde olduğu gibi elektrik fiyatının %5'i değil; üretken reaktörde elektrik maliyetinin yalnızca %0.05'i kadar olur. Eğer kaynaklar kısa sürede tükenirse, biz de yirmi kat daha pahalı uranyum maliyetini karşılayabiliriz ve bu da elektriğin maliyetini yalnızca (20 x

0.05 =) %1 oranında artırır. Bu fiyata ne kadar uranyum elde edilir?

Cevap *sonsuzdur*; çünkü deniz suyuna dağılmış uranyum da işin içine girer [1]. Dünya okyanusları 5 milyar ton; yani tüm dünyanın elektriğini üretken reaktörler yoluyla birkaç milyon yıl karşılayacak kadar uranyum içerir. Üstelik akarsular, kayalardan uranyum çözündürüp okyanuslara taşıyarak okyanusların kaynağını, dünyanın mevcut toplam elektrik kullanımını 25 kez karşılamaya yetecek oranda yenilerler[2]. Aslında okyanus kaynaklı uranyumla işleyen üretken reaktörler, ham yakıt maliyetine bağlı %1'lik bir artış bile olmadan insanlığın ihtiyaç duyacağı tüm enerjiyi karşılayabilirler⁵².

Ham yakıt maliyetinin çok düşük olması üretken reaktörlerin üreteceği elektriğin de çok ucuz olduğu anlamına gelmez. Teknoloji oldukça karmaşıktır ve su ya da hava ile teması halinde korkunç tepki veren bir erimiş metalin (sıvı sodyum) yaygın kullanımını içerir. Bu sorunun gerektirdiği güvenlik önlemlerinin genel bir sonucu olarak, üretken reaktörün ürettiği elektriğin maliyeti, bugünün uranyum fiyatları üzerinden, bugün kullanılan reaktörlerin ürettiği elektriğe göre %30 gibi bir oranda daha ucuz olacaktır[3]. Bununla birlikte Fransa, İngiltere ve Sovyetler Birliği üretken reaktör kurmak için uygun olanaklara sahiptir; Almanya ve Japonya gibi birkaç diğer ülke de onları birkaç adım geriden takip etmektedir. Programımız 15 yıl önce bu konuma ulaşmıştı; ancak her yıl programın durdurulması konusunda baş gösteren politik çatışmalar yüzünden bugün çok geridedir.

Üretken reaktörlere karşı çıkış, ABD'de bugün üretken reaktöre gerek olmadığı şeklinde düşüncelere yol açan, fazla miktarda uranyum kaynağı olması temeline dayanır. Birkaç nedenden dolayı bu sorgulanabilir bir tartışmadır. İlk olarak gelişme, umulanın ötesine geçse bile, ilk ticari üretken reaktörün faaliyete geçmesi birçok yıl alacak ve yaygınlaşması da çok daha uzun sürecektir. Herhangi bir yeni teknolojiye, büyük miktarda tesis kurulmadan önce "dinleme cihazları"na da fırsat tanıyarak yavaş yavaş başlamak daha iyidir. İkinci olarak uranyum

kaynaklarımız konusunda çok da emin değiliz. Mevcut tahminlerin önemli ölçüde altında olabilirler. Hazırda bir üretken reaktör bulundurmak, uranyum fiyatlarında büyük bir artışa karşı ucuz bir sigorta poliçesi olurdu. Üçüncü olarak üretken reaktör gelişim programımız birçok bilim adamı, mühendis ve teknisyenin katılımı ile önemli bir hız kazanmıştır. Programı tamamlamak, durdurup tüm bu insanları dağıtmak ve sonra yeni bir personel kadrosu ile yeniden başlamaktan çok daha etkin olacaktır.

Plutonyuma duyulan antipati ve nükleer güce genel karşı çıkıştan dolayı, sudan denebilecek nedenlerle üretken reaktörlere de karşı çıkılmaktadır. Üretken reaktörlerin güvenliği konusunda da bazı endişeler duyulmaktadır. Ancak bu konuda uzman olanlar (ben onlardan biri değilim), bunların son derece güvenli; hatta mevcut reaktörlerden bile daha güvenli olduğunu belirtiyorlar[3,8]. Mevcut reaktörlerde olduğu gibi yüksek basınç yerine normal basınç altında işlemleri de bir güvenlik avantajı oluşturuyor. Dolayısıyla da çatlakları genişletecek ya da reaktördeki soğutucuyu boşaltacak (bu 3. Bölümde anlatılan buhar boşalmasıdır) hiçbir güç bulunmamaktadır.

Üretken reaktör alanındaki gelişmeler, ABD hükümetinin nükleer güç alanındaki mevcut en büyük yatırımını temsil etmektedir. Hükümetimizin ticari nükleer güce büyük ölçüde para bağladığı sık sık iddia edilir; ancak bu doğru değildir ve ilan edilen politikaya ters düşmektedir. Nükleer güç programımızın bazı alanları yüksek seviyeli atığın yok edilmesi ve uranyumdan izotop ayrımı, yakıt malzemesinde U-235'in U-238'e olan oranının artırılması, hükümetçe kanuni denetim altına alınmıştır. Ancak bu hizmetlerin tam maliyetleri, hükümetin sanayi ve diğer hizmetlerdeki düzenlemelerinde olduğu gibi, kamu kuruluşlarına ve onlar vasıtasıyla elektrik maliyetine yüklenir. Atığın ortadan kaldırılma maliyeti, nükleer kaynaklı elektrik karşılığında kilowatt saat başına 0.1 sentlik bir vergi ile karşılanır ve bugün için planlanan rakamdan yüksektir. İzotop ayrımı, 1950'lerde o günkü standartlarda askeri alanda kullanmak için malzeme üretmek üzere çok ucuz bir maliyetle ku-

rumuş tesislerde yapılmaktadır; ancak bu hizmetlerin kamu kuruluşlarına maliyetleri bugün kuruldukları varsayılarak hesaplanmıştır. Hükümet politikası nükleer teknolojinin gelecekteki araştırma ve gelişmelerini finanse etmektir; fakat sanayinin mevcut teknoloji ile işleyişi hiçbir şekilde karşılanmamaktadır. Öte yandan güvenlik ve doğurduğu yönetmelik kargaşası ile çevresel etkilerine yönelik olarak dışarıdan gelen büyük müdahale, bu sanayii ağır bir şekilde cezalandırmaktadır(bkz. Bölüm 8). Bu durum, ABD hükümetinin, bir vergi kredisi yoluyla, kullanan herkes için maliyetin %40'ını karşıladığı; hatta bazı eyaletlerde ek olarak %30'un daha karşılanarak kullanıcıya ödemesi için yalnızca %30'un bıraktığı güneş enerjisiyle çok çarpıcı bir şekilde ters düşmektedir.

Üretken reaktör döngüsünün kilit noktası, kullanılan yakıtın plutonyum telafisi için tekrar işleme girmesidir. Aslında bu, ilk kuşak üretken reaktörlere plutonyum sağlamak için mevcut reaktörlerin kullanılmış yakıtına da uygulanmalıdır. Yeniden işleme olmadığı sürece plutonyum, son derece seyrek olarak (toplamın %1'inin 1/2'si) ve dolayısıyla sürekli bahsedilen amaçların hiçbirisi için işe yaramayacak şekilde yalnızca kullanılmış yakıtta bulunur. Bunun da ötesinde yalnızca uzaktan yönetilen büyük ve pahalı donanımla idare edilebilen kullanılmış yakıt, (içerdiği plutonyumun dışında) son derece radyoaktiftir. Dolayısıyla çalınamaz ya da gizli koşullar altında kullanılamaz. Yeniden işleme girmediği sürece plutonyum iyi ya da kötü hiçbir işe yaramaz.

Plutonyumun atık sorununda çok küçük, reaktör kaza senaryolarında ise önemsiz bir rol oynadığı hatırdan çıkarılmamalıdır. ABD'de ticari nükleer güç programının mevcut statüsü olan yeniden işleme süreci gerçekleşmediği sürece, plutonyum sorunlarının nükleer gücün kabul edilirliliği ile doğrudan bir ilgisi de olmayacaktır. Bununla birlikte benim kişisel fikrime göre nükleer gücü kullanılmış yakıtı yeniden işlemeksizin kullanmak *ayıptır*. Eğer onu tekrar geri alınamayacak şekilde gömsedik, tüm zengin uranyum filizleri 50 yıl içinde tükenirdi. Böylece gelecekte insanların üretken döngü kurma gibi bir

şansları da kalmazdı. Emin olabilirsiniz ki üretken döngü, insanlığın geleceği için makul ölçüde düşük maliyetli tek enerji kaynağıdır. Bu tip bir yaklaşımla kuşağımız, insanlığı milyonlarca yıl yetecek ucuz enerjinin yararlarından mahrum bırakan bir kuşak olarak tarihe geçebilir. Bu yüzden de sonsuza kadar lanetlenir. Öte yandan üretken reaktörleri geliştirirsek, tüm zamanlar için dünyanın enerji sorunlarını çözmüş bir kuşak olarak da tarihe geçebiliriz. İnsanlık bizi milyonlarca yıl boyunca hatırlar ve bize müteşekkür olur.

Ne yazık ki yönetici konumunda bulunan kimseler, insanlığın uzak geleceği konusunda endişeli değiller. Nükleer güç sanayiinde yer alan kişiler, gelecek 30-40 yılla önemli ölçüde ilgilidirler; ancak siyasetçiler bu kadar uzak geleceği ender olarak göz önüne alırlar. Yeniden işleme yapıp yapmamanın bu zaman dilimine pek bir etkisi olmayacaktır; dolayısıyla yeniden işleme erken başlamak için olasılıklar sorgulanabilir.

Birkaç yıl önce durum çok farklı idi. Bir kimyasal madde üreten şirketler konsorsiyumu Güney Carolina'da Barnwell yakınlarına bugün ABD'de işleyen güç santrallerinin çoğuna hizmet verebilecek büyüklükte bir yeniden işleme tesisi kurmuştu. 250 milyon dolara mal olan ana kısım 1976'da tamamlandı ancak 130 milyona mal olacak iki ek binanın yapımı hükümetin kararsızlığı yüzünde ertelendi. Ek kısımlara birkaç yıl daha ihtiyaç olmadığından tesisin ana kısmının acil olarak faaliyete geçirilmesi düşünüldü.

Bu kritik noktada ABD hükümeti, ticari nitelikli yeniden işleme sürecinin süresiz olarak ertelenmesini emretti. Emrin nedeni, nükleer silahların yayılımını engelleme politikamıza ilişkindi. Bu konudan, bölüm içinde daha sonra bahsedilecektir. Tesis sahipleri açısından ise bu durum bir felaketti. Tesis hükümet organları ile işbirliği içinde inşa etme konusunda önemli ölçüde teşvik gördüler -örneğin federal hükümete ait alanları satın alabilmeleri olası kılındı- ve planlamanın her safhası bu organlarla yakın işbirliği içinde yürütüldü. Pazarlıkların sonunu dürüstçe getirdiler ve büyük bir para yatırdılar. Bugün ise hiç gelir sağlamayan bir tesisle yüzüstü bırakıldılar.

Reagan yönetiminin yeniden işlemeyi 5 yıl için yasaklayan emri geri aldığı tarihte, tesis sahipleri projeye olan güvenlerini kaybetmişlerdi ve bugün ek kısımları yapmak için gerekli 200 milyonluk miktarı karşılamak istemiyorlardı. Hükümetin, (1) politik kararlar kapatıldığında tesise yatırılan miktarı tazmin etmeyi, (2) ürettiği plutonyumu satın almayı kabul etmesi koşullarıyla, yeni bir konsorsiyum projeyi üstlenmeyi kabul etti. İkinci koşul zorunlu idi, çünkü Barnwell tesisi temelde kuruluşların mevcut reaktörlerinin yakıtını sağlamak için hiçbir faaliyette bulunmuş değildir ve bulunacak gibi de görünmüyor. ABD’de hiç ticari üretken reaktör bulunmadığından ve birçok yıl daha da bulunmayacağından Hükümet, yeniden işleme tesisinden çıkacak plutonyumun tek alıcısı oluyor. İstenen garantileri sağlayıp sağlamayacağını, sonuçta da Barnwell tesisinin işlemesi için gerekli iş anlaşmalarının yapılıp yapılmayacağını zaman gösterecektir.

Gelecek kuşaklar için enerji sağlamaya ilişkin idealistik düşüncelerin yanı sıra, yeniden işleme tesislerini faaliyete geçirmeyi sağlayacak asıl etken, bunların atık işine olan katkılarıdır. Güç santralleri kullanılmış yakıtlarını depolama konusunda zorlanıyorlar; yeniden işleme onlara bu konuda rahatlık sağlar. Bunun da ötesinde uranyum yeniden işlemeye girdiği takdirde, gömülecek atık miktarı da büyük ölçüde azalmış oluyor. Üstelik cama dönüştürülmüş yüksek seviyeli atığı aşınmaya dayanıklı bir muhafazaya koyarak gömmek de yeniden işlenmemiş kullanılmış yakıtı asfalt ya da benzeri bir maddenin içine koyarak gömmekten çok daha güvenlidir. Tüm bunlara ek olarak, ayrıştırılan uranyum ve plutonyum, yeniden işleme sürecinin maliyetini düşürdüğü için ekonomik açıdan daha avantajlıdır.

Öte yandan yeniden işlemeye sürekli karşı çıkmıştır ve çıkmaktadır. Onun çevresel açıdan kabul edilişine ilişkin, basında yaygın olarak saldırılar yer aldı; bu arada da bilimsel yazında yayınlanan, “çevreci gruplar” tarafından “analiz” lehine hazırlanmış karşıt delilin de istenen sonucu vermediği göz ardı edildi. Basında kökeni belirtilmemiş kişilerce hazırlanmış, ye-

niden işlemenin boşa para harcamak olduğunu iddia eden analizler yayınlandı [9]; oysa bu konuda uzman olanlar, bunun ekonomik açıdan avantajlı olduğunu ortaya koymuşlardı. Enerji Dairesi tarafından basılan ve Barnwell tesisinin hatalı olduğunu iddia eden bir rapordan basında çokça bahsedildi. Ne var ki daha sonra bunun bilim adamı olmayan, konuyla ilgili çok az deneyimi bulunan, tesise hiç gitmemiş; mevcut güç reaktörlerinden çıkan yakıtı yeniden işlemeyle üretken reaktörler arasındaki farklardan dolayı aklı karışmış biri tarafından hazırlandığı anlaşıldı; rapor yanlışlıkla Enerji Dairesi'nin yeniden değerlendirme sürecinden geçmişti ve hemen reddedilerek raporu basan daire başkanı tarafından ağır biçimde eleştirildi[11].

Yeniden işlemeye karşı çıkanların büyük bir kesimini, politik ya da felsefi nedenlerle, temelde nükleer güce karşı olanlar oluşturur. Belki de mevcut reaktörleri durdurmanın olanaksız olduğunu anlamışlar, ancak yeniden işlemeyi durdurdukları takdirde nükleer gücün uzun vadeli bir geleceği olamayacağı kanısına varmışlardır. Bununla birlikte yeniden işlemeye en önemli karşı çıkış, onun nükleer silahlarla olan farazi ilişkisine bağlıdır. Eğer nükleer elektrik ve nükleer patlayıcılar arasında bir ilgi varsa, yeniden işleme kötü niyetli kişilerin aşması gereken bir çıkmazdır.

Nükleer Silahların Çoğalması

Herkesin bildiği gibi nükleer silahlar çok, ama çok zararlı olabilir ve bunların insanlara karşı kullanımını önlemek de son derece önemlidir. Bu yönde atılabilecek olumlu bir adım, kullanıma hazır halde nükleer silaha sahip ülkelerin sayısını en aza indirmek; yani nükleer silahların çoğalmasından kaçınmaktır. Nükleer güç programları bu amacı ne derece tehlikeye düşürür?

Bir ülkenin nükleer güç reaktörü ve yeniden işleme tesisi varsa, reaktörden çıkan yakıtı plutonyum elde etmek için yeniden işleyebilir ve sonra da plutonyumu kullanarak bomba yapabilir. Öte yandan, ülkelerin nükleer silah sahibi olabilmeleri

için çok daha iyi yollar vardır. Nükleer fisyon bombaları için iki⁵³ elverişli yakıt vardır: izotop ayrımı olarak bilinen yöntemle normal uranyumdan ayrıştırılan ve doğal uranyumun %1'inden az bir oranda doğada bulunan uranyum-235 (U-235) ve reaktörlerde üretilen, yeniden işleme yoluyla kullanılır hale getirilen plutonyum. İzotop ayrımı da, reaktör-yeniden işleme yöntemi de, nükleer silah sahibi olduğu bilinen beş ülke tarafından kullanılmaktadır, isim vermek gerekirse: Birleşik Devletler, Sovyetler Birliği, İngiltere, Fransa, ve Çin⁵⁴. En güçlü bombalarda her ikisinin birleşimi kullanılıyor olmasına karşın, iki yöntemle de etkili bombalar üretilebilir.

Bununla birlikte plutonyumu, reaktör-yeniden işleme yöntemi ile elde etme konusunda hassas bir nokta vardır ve bunu açıklamak için de plutonyum bombalarının nasıl işlediğini kısaca anlatmak gerekir. İşleyişi sırasında iki aşama vardır: ilki plutonyumun, kendisini saran kimyasal patlayıcılarla birlikte içeriye doğru patlatılıp; sonra da onlar tarafından iyice sıkıştırıldığı aşamadır. İkinci aşamada ise, sistemi ayrı olarak patlatmak için korkunç miktarda enerjiyi hızla açığa çıkaran, hızla artan, fisyon sürecinin zincir reaksiyonunu başlatmak üzere nötronların işe sokulduğu dışarıya patlama gerçekleşir. Tüm bunlar saniyenin milyonda biri kadar bir sürede gerçekleşir ve zamanlama mükemmel olmak zorundadır -eğer dışarıya patlama safhası içeriye patlama süreci tamamlanmadan önce gerçekleşirse, bombanın gücü çok büyük ölçüde azalır. Aslında, nükleer bombaları etkisiz hale getirmek için düşünülen en önemli yöntemlerden biri, bombaları nötron yağmuruna tutarak dışarıya patlamayı içeriye patlama sürecinde başlatmak; dolayısıyla da bombayı "fos çıkarmaktır". Bir bombanın uygun olarak işlemesi için, nötronların içeriye patlama süreci tamamlanmadan önce devreye girmemesini sağlamak çok önemlidir.

Reaktör yakıtı olan plutonyum-239, reaktörlerde uranyum-238'den üretilir; eğer reaktör içinde kalırsa, nötronları çoğaltarak yayan plutonyum-240'a dönüşebilir. Bir güç santralinde, üretilen plutonyumun %30'u kadarının plutonyum-240'a dönüşmesinin bir sonucu olarak yakıt üç yıl reaktörde kalır. Bu mad-

de bir bombada kullanıldığında, plutonyum-240 saniyede iki milyon nötronluk süregelen bir nötron yağmuru başlatır [12] ve bu da patlamanın gücünü *ortalama* on kat düşürmekle birlikte, çok daha kötü bir patlamayla sonuçlanabilir. Kısaca, “reaktör tipi plutonyum” olarak bilinen bu maddeden üretilen bir bomba, nisbeten düşük bir patlama gücüne sahiptir ve kesinlikle güvenilir değildir. Ayrıca tasarımı ve hazırlanması da daha güçtür.

Çok daha iyi bir bomba yakıtı, maddeyi reaktörde yalnızca 30 gün bırakmak yoluyla üretilen “silah tipi plutonyumdur”. Bu plutonyum-240’ın miktarını azaltır ve dolayısıyla da bombayı sağanağa tutacak olan nötronların sayısı da on kez azalmış olur.

Her otuz günde bir yakıtı alıp yeniden işlemek ve silah tipi plutonyum üretmek için bir güç reaktörünü kullanmak düşünülebilir; ancak bu son derece kullanışsız olur çünkü yakıtı yerinden çıkarmak için reaktörü otuz gün süreyle kapatmak gerekir. Üstelik bir güç reaktörünün yakıtını üretmek çok pahalıya mal olur; çünkü elektrik üretmek için gerekli yüksek sıcaklığı ve yüksek basınçlı buharı elde etmek için yakıt, çok düzenli bir geometride, yüksek sıcaklık ve basınçta işlemelidir.

Elektrik üretmek için değil; üretimi ucuz yakıtla uygun konumda olan bir geometride kolay ve hızlı yakıt sağlamak üzere kurulmuş, ayrı bir plutonyum *üretim reaktörü* çok daha pratiktir; çünkü düşük sıcaklıkta ve normal basınçta işler. Üstelik güç reaktörlerinde kullanılan ve çok pahalı olan zenginleştirilmiş uranyum yerine, doğal uranyum da kullanabilir. Doğal uranyum, plutonyumun elde edildiği uranyum-238’e göre dört kat daha fazla bölünebilir madde içerir; dolayısıyla da dört kat daha fazla plutonyum üretilmesine olanak verir. Bir plutonyum üretim reaktörünün maliyeti, bir nükleer güç santralininkinden on kez daha düşüktür[13]; tasarlanması ve hazırlanması da çok daha az zaman gerektirir. Mevcut tüm askeri bombalar için kullanılmış plutonyum, bu tip reaktörlerde üretilmiştir.

Bir başka alternatif, elektrik üretmek için değil; araştırma uygulamaları için radyasyon sağlamak üzere kurulmuş olan *araştırma reaktörlerini* kullanmaktır. En azından 45 ülkede ve Doğu Avrupa’da reaktörler

araştırma reaktörleri vardır ve bunların en azından 25'i her iki yılda bir bomba üretecek kadar plutonyum sağlamaktadır. Araştırma reaktörleri bir çok esneklik ve boşluğa sahiptir, dolayısıyla onları plutonyum üretimi için kullanmak zor olmayacaktır. Elektrik üretmek üzere kurulmuş bir reaktör, yüksek sıcaklık ve basınçta işliyor olması, buharın üretimi ve kullanımı ile elektrik üretimi ve dağıtımı için gerekli donanım dolayısıyla zorunlu olarak büyük ve son derece karmaşıktır. Böyle bir tesisin inşaatını ve işleyişini gizli tutmak olanaksızdır. Bunun da ötesinde, teknolojik olarak en avantajlı ülkelerin çok azı böyle bir tesis kuracak kapasiteye sahiptir. Plutonyumun kötü amaçla kullanılmadığından emin olmak için incelikli bir araştırma yapmaksızın yabancı bir ülkeye böyle bir tesis sağlayacak, bu kapasiteye sahip bir ülke de yoktur kuşkusuz. Öte yandan bir üretim ya da araştırma reaktörü, küçük ve kendi halinde olabilir. Bunların yüksek basıncı, sıcaklığı, buharı, elektrik üretimi ya da dağıtımı için donanımı da yoktur. Bunlardan hemen her ülkede vardır ya da en azından her ülke bir tane yapma kapasitesine sahiptir ve tüm projeyi gizli tutmayı da becerebilir. Dışarıdan soruşturma talebi gelmesi gibi bir durum da söz konusu olmayacaktır. Yukarıda anlatılanları göz önüne aldığımızda, bir ülkenin bu amaçla bir güç reaktörü elde etmek için nükleer silah yapma işine eğilmesinin mantıksızlığı rahatlıkla anlaşılabilmektedir. Bir plutonyum üretim reaktörü yapmak çok daha ucuz, kolay ve hızlı olacak; üstelik burada üretilecek plutonyumla çok daha az çaba ve maliyete çok daha güçlü ve güvenilir bombalar yapmak mümkün olacaktır.

Nükleer güç reaktörlerinin bomba üretmek için kullanılmalarıyla ilgili olarak tek mantıklı senaryo, bir ülkenin *acilen* nükleer silaha ihtiyacı olduğuna karar vermesidir. Bu gibi bir durumda, üretim ya da araştırma reaktörünün bulunmaması halinde güç reaktörü kullanılarak, birkaç yıllık bir zaman kazancı sağlanabilir[13]. Bununla birlikte güç reaktörüne sahip hemen her ülkede araştırma reaktörü de bulunur. Ayrıca zaman kazanmak uğruna silahların kalitesinden taviz vermek de oldukça garip bir durum olurdu.

Ne var ki plutonyum üretmek, nükleer silah sahibi olmanın tek yolu değildir. Diğer bir başlıca yöntem, *izotop ayrımı* yöntemini geliştirmektir. Bugün dokuz ülkede, izotop ayrımı [13] için gerekli olanaklar mevcuttur ve diğerlerinin de bunu elde etmeleri pek güç değildir. Bu amaçla kurulmuş bir tesis, 20-200 milyon dolara yılda 2-20 bomba üretecek kadar yakıt sağlayabilir ve böyle bir tesisin kurulup faaliyete geçirilmesi, 3-5 yıl sürer [13]. Üretilen maddeyi mükemmel bombalara dönüştürmek, silah tipi plutonyumla bomba yapmaktan bile daha kolaydır.

Bu değerlendirme mevcut teknoloji temel alınarak yapılmıştır. Ancak izotop ayrımı için gelişmekte olan yeni, daha basit, daha ucuz teknolojiler vardır ve bunlar pek yakında hazır olacaklardır. Bu teknolojiler, nükleer silahlara giden izotop ayrımı yolunu daha da cazip hale getireceklerdir. Ayrıca, reaktör olmaksızın plutonyum üretmek için düşünülmekte olan yeni teknolojiler de vardır ve bunlar işi çok daha çekici kılacaktır.

Nükleer silahlarla ilgili sorunu açıklayabilmek için, bu işi olası kılan üç yolu düşünmenizi istiyorum: (1) izotop ayrımı, (2) araştırma ya da üretim reaktörlerinde plutonyum üretimi, (3) güç santrallerinde plutonyum üretimi. Bunlardan (2) ve (3), yeneden işleme gerektirir. Çeşitli bakımlardan ilk iki yol, çok daha çekicidir. Bunları süper otoyollara benzetirsek, üçüncü yol için de sapa arazi yolu diyebiliriz. Bu karşılaştırmada, ilk iki yolu açık bırakırken üçüncü yolu tıkamak ne kadar önemlidir? Nükleer güç ve nükleer silahların ⁵⁶ çoğalması arasındaki bağlantı zayıf ve oldukça da önemsizdir .

Ancak basın durumu böyle göstermez. Nükleer silahların çoğalması ile ilgili hikâyelerin büyük bir çoğunluğuna güç reaktörleri de dahil edilir. Vermeye çalıştıkları mesaj, nükleer güç olmadığı takdirde nükleer silahların yayılması gibi bir sorunun da kalmayacağıdır. Güç reaktörleri ve bomba üretmeye elverişli diğer tür reaktörler arasında da pek ayırım yapmazlar. İnaniyorum ki Amerikalılar'ın çoğu, İsrail hava saldırısında yerle bir olan Irak reaktörünün bir nükleer güç tesisi olduğunu sanıyor; oysa tesis, bir araştırma reaktörüydü.

Nükleer güç tesisleri nükleer silahların yayılması için çok küçük oranda bir kaynak teşkil etse de, kimse bunların içindeki plutonyumun kötü amaçla kullanılmadığından emin olmak için sıkı önlemler alınması gerektiğini söylemiyor. Bu sorunla ilgilenmek için düzenlenmiş programlara *ihtiyat* denilir. Bunlar, merkezi Viyana'da bulunan Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) tarafından idare edilmektedirler. IAEA'in plutonyumun kötüye kullanılıp kullanılmadığını tetkik etmek için görevlendirilmiş, eğitilmiş ve donanımlı inceleme grupları, tüm nükleer güç tesislerine, yeniden işleme tesislerine ve plutonyumla ilgili iş yapan tüm diğer kuruluşlara her an girmeye yetkilidirler⁵⁷. Amaçları doğrultusunda kullandıkları tekniklerde ve donanımda son birkaç yılda oldukça önemli gelişmeler olmuştur. Örneğin, Barnwell yeniden işleme tesisi, içerideki plutonyumun olması gerektiği yerde olmaması halinde bir saatten az bir süre içinde alarm verecek, otomatik bilgisayar kontrollü bir sistem geliştirmiştir. Böyle önlemler ve ansızın kontrole gelen IAEA görevlileri varken, bir ülkenin tesisteki plutonyumu alıp; dünyanın yarısının bundan haberi olmadan önce bombaya dönüştürmesine olanak yoktur.

Üretim reaktörlerinde, araştırma ya da izotop ayrımı tesislerinde bu tür ihtiyatların ihlal edilmesi çok daha kolaydır. Bunlar yabancı kaynakların desteğine çok daha az ihtiyaç duyan, çok daha küçük işletmelerdir; gizlice kurulmaları da zor değildir. IAEA ihtiyat sistemleri de dolayısıyla, süper otoyollardan çok sapa arazi yollarını tıkamak için uğraşır.

Yayılmayı Önleme Konusundaki Politika

Sapa arazi yoluna yeterince dikkat harcadığı düşünülebilir; ancak Carter idaresi daha da öteye gitmeyi uygun bularak yeniden işleme teknolojisinin ilerlemesini, nükleer silaha sahip olmayan ülkeler yoluyla engellemeye karar verdi. Hatırlayacağınız gibi nükleer güç tesisleri, bomba üretmek için kullanılacaklarsa; yeniden işleme, yapılması zorunlu bir iştir. Hükümetin amacı da temelde, zaten arzu edilen şeyi sağlamaktı. Bununla birlikte, uygulama için kullandıkları yöntem bir felaketti.

O tarihte (1977) Almanya, Brezilya'da bir yeniden işleme tesisi kurmak üzere hazırlanıyordu, Japonya bir tesis kuruyordu ve Fransa da Pakistan ve Kore'ye tesis satmak için görüşmeler yapıyordu. Carter'in amacı, bunları, ahlaki ve politik baskı yoluyla durdurmaktı. Bu amaç için kullanılacak ahlaki temeli belirlemek üzere -"kalbimizin doğrudan yana olduğunu göstermek" için- Birleşik Devletler'de ticari nükleer yakıt üretimini süresiz olarak ertlemeye karar verdi⁵⁸. Barnwell tesisinin faaliyete geçmesini engelleyen de bu oldu.

Bu yaklaşımda birkaç sorun vardı. Birincisi, ABD hükümeti, askeri uygulamalar programı için yeniden işlemeye devam etti ve bu da kullandıkları yüksek ahlak değerlerinin ihlali demek oluyordu. Bir başkası, ABD firmaları ile yaptığı sıkı yarışın ardından Almanya, Brezilya ihalesini henüz kazanmıştı. Almanlar da, dolayısıyla ABD inisiyatifini, başarısızlığın ardından "kedi erişemediği ciğere murdar der" olarak yorumladılar. Ancak çok daha büyük bir sorun, kullanılan politik baskı yüzünden doğdu: Birleşik Devletler, bu konuda işbirliği yapmayan ülkeleri, kendilerine yapacağı nükleer yakıt sevkiyatını durdurmakla tehdit etti ve sevkiyatları erteledi.

Amerikalı üreticiler, dünyanın her tarafından ülkelere reaktör satışı yapan başarılı bir ihracat sektörü kurmuştu. Alışverişlerin bir kısmı, reaktörlere gelecekte de yakıt sağlama garantisi altındaydı; bu sözleşmelere ABD hükümeti de dahildi; çünkü hükümet, uranyumun izotop zenginleştirilmesi için kurulmuş geniş ölçekli kuruluşlara sahipti. Bu satış sözleşmelerinin, yakıt arzının durdurulmasına izin veren bir şartları da yoktu -garanti altına alınmış bir yakıt arzı olmaksızın hiç kimse bir güç santraline yüz milyonlarca dolar vermez-. ABD'nin sevkiyatları ertelemesi ve tehdit ederek durdurması, sözleşmenin doğrudan ve yasal olmayan ihlali anlamına geliyordu. Hatta yeniden işlemeye ilgiyi olmayan ülkeler bile, bu hareketin temel aldığı ilke yüzünden altüst oldular. İsviçre'de, bu konuyla ilgili çok hararetli bir toplantıya katıldığımı hatırlıyorum. İsviçreli muhabirlerin anlayabilmeleri için toplantı Almanca'ydı ve

ben çoğunu anlayamadım ancak “nonproliferationpolitik” (yayılmayı önlemeci politika) ifadesi ve ona eşlik eden korkunç öfkeyle birlikte masaya vurulan yumruklar hâlâ hatırımda. Bir Westinghouse reaktörü satın almış olan Yugoslavya, bir ara bu konu yüzünden ABD ile olan diplomatik ilişkilerini kesmeye bile kalkışmıştı.

Sevkiyatların durdurulması yalnızca sözleşmenin değil, Nükleer Silahların Yayılmasını Önleme Amaçlı Uluslararası Antlaşma’nın da ihlali demek oluyordu. Antlaşmayı imzalayan ve nükleer silahı bulunmayan bu ülkelere, güç santralleri için, güvenli ve kesintisiz yakıt arzı sağlanacaktı. Böylece dünyanın silahların yayılmasına karşı en önemli ihtiyat olarak gördüğü ABD, antlaşmayı ihlal eden ilk ülke oluyordu. Her nasılsa Carter’in inisiyatifine karşı Avrupa’da, Asya’da ve Güney Amerika’da yaşanan öfke, bu ülkenin basınında ver almadı.

Ancak Carter inisiyatifiyle ilgili en büyük sorun, bunun sonuç anlamında pek bir şey elde etmemiş olmasıdır. Birleşik Devletler’in Güney Kore üzerinde, bir yeniden işleme tesisini almaktan vazgeçmeye zorlayacak, yeterli politik gücü vardı. Muhtemelen bu ülke nükleer silahlanma konusunda hırslı olduğu için; belki de kısmen, Amerika’nın uyguladığı politik baskı yüzünden Fransa, Pakistan’a yaptığı satışı iptal etti. Bununla birlikte, Almanya’nın Brezilya ile yaptığı alışveriş, Başkan Carter ve Alman Büyükelçisi arasındaki yüz yüze görüşmenin de yer aldığı sürekli politik baskıya karşın iptal edilmedi. Japonya’nın yeniden işleme tesisi tamamlandı ve faaliyete geçti. ABD dışında dünyanın hiçbir yerinde yeniden işleme faaliyetleri durdurulmadı.

Carter inisiyatifinin uluslararası yayılma sorununda küçük bir etkisi olurken, kendi ülkemizde çok önemli iki olumsuz sonucu oldu: Barnwell tesisinin faaliyete geçmesini engelledi (bu daha sonra anlatılacaktır). Bunun, ABD’deki ticari yeniden işleme üzerinde uzun süreli ve zarar verici çok büyük etkisi oldu. İkinci olarak da ABD’nin reaktör ihracı sektörünü tamamen tahrir etti. Her yıl yabancı ülkelere birkaç nükleer güç tesisi satılırdı ve bir zamanlar Amerika bu işten aslan payını alıyordı.

du. Oysa son yıllarda tüm dünya da Amerika'ya güvenilmez bir kaynak olarak bakılıyor. Fransa ve Almanya, piyasanın neredeyse tamamına sahip durumda. Sovyetler Birliği, nükleer yakıt sağlama konusunda önemli bir uluslararası kaynak haline geldi.

Yayılmayı önlemeci milli politikamızın belki de en rahatsız edici etkisi, uluslararası yayılmayı önleme çabalarında, etkimizin büyük bir kısmını yitirmiş olmamızdır. 1977'den önce Birleşik Devletler, tüm uluslararası programlar ve yayılmayı caydırma planlarında baş rollerdeydi. Uluslararası Yayılmayı Önleme Antlaşması'nın hazırlanmasında ve bunun dünyadaki birçok ülke tarafından onaylanmasının sağlanmasında en etkili güçtük. Onayın sağlanması ve sorunların sınırlanması konusunda teknolojik yöntemler aranmasını ve geliştirilmesini sağlayacak yollar bulduk. Bununla birlikte, Birleşik Devletler "kendi yoluna gittiğinden" bu yana, inanırlığımızı büyük ölçüde yitirdik ve uluslararası yayılmayı engelleme programlarındaki etkimizin de azalmasına neden olduk.

Carter inisiyatifinin amaçlarına ulaşma konusundaki başarısızlığına ve getirdiği bir yığın olumsuz sonuca karşın, basında bundan "iyi ve asil bir program" dışında başka ifadelerle bahsedildiğini görmedim. Bunun için bir başarısızlık ya da fiyasko dendiğini de hiç duymadım.

Carter'ın yeniden işleme teknolojisinin yayılmasını önleme yolundaki çabasının başarısızlığını anlamak için, bunun silahların yayılımını engellemeye ne kadar katkısı olabileceğini ele almak gerekir. Getirdiği kesin sınırlama, yalnızca sapa arazi yolunu tıkamaya yönelikti. Yayılmayı sağlayacak olan iki ana otoyola ise çok küçük bir engel konmuş oluyordu. Birleşik Devletler dışında kalan ülkelerin çoğu, bu noktayı hesaba kattılar ve bu yüzden de Carter'ın inisiyatifini küçük gördüler.

Bir ülke nükleer silah geliştirmeye karar verdiği takdirde, yeniden işleme tesislerinin olmaması pek bir engel teşkil etmez. Bugün dört ülkede bu tip kuruluşlar vardır ve diğerlerinin de yapması çok zor değildir. Çevreye en az zarar verecek, etkin olarak kâr getirecek şekilde tasarlanmış bir ticari yeni-

den işleme tesisi, oldukça pahalı ve karmaşık bir teknolojik girişimdir; ancak tek kaygısı ürünü elde etmek olan, askeri amaçlı bir tesis için durum böyle değildir. Böyle bir tesisin inşası ne gizli bilgi ne de aşırı bir beceri ve deneyim gerektirir . Yeniden işleme ile ilgili tüm ayrıntılar, açık yazında mevcuttur. Birkaç bomba için malzeme üretmek üzere kurulacak kabataslak bir tesisin, 100,000 dolarlık bir maliyetle beş kişi tarafından kurulup işletilebileceği hesaplanmıştır [13]. Sekiz bomba için malzeme üretecek daha uzun vadeli bir tesisin ise yarısı mühendis yarısı teknisyen 15 kişi tarafından 2 milyon dolar karşılığında inşa edilip işletilebileceği hesaplanmıştır. Bu tesislerin ikisi de gizlice kurulup işletilebilir.

Dolayısıyla, ticari güç reaktörlerinin yakıtını yeniden işlemeyi durdurmak, nükleer silahların yayılmasını önleme konusunda hiç de etkin bir yol değildir ve zaten Birleşik Devletler dışında böyle düşünen bir ülke yoktur. Öte yandan yeniden işleme, mevcut reaktörlere, acil bir durumda bir ülkeyi birkaç yıl idare edecek, önemli miktarda bir yakıt kaynağı sağlar. Bunun da ötesinde yeniden işleme, birçok ülkenin enerji konusunda bağımsızlık kazanmasını sağlayacak olan üretken reaktörlerin gelecekteki sistemi için tek anahtardır. Bizim ülkemizde bol miktarda kömür, petrol, gaz, zengin uranyum filizleri, neft potansiyeli, vb. olmasına karşın birçok ülke, enerji kaynağı bakımından çok fakirdir. Buna yalnızca, oldukça sanayileşmiş olan Fransa ve Japonya gibi ülkeler değil; bu noktaya yakın olan Brezilya, Arjantin ve Tayvan da dahildir. Bu ülkelerin gelecekteki varlıklarını neden Arap şeyhlerinin merhametine ya da Amerikan başkanlarının kaprislerine bağlamak istemediklerini anlamak zor değildir. Onlar umutsuzca, bir miktar enerji bağımsızlığı istemekteler ve yeniden işleme teknolojisi de, bu amaca ulaşmak için belledikleri tek yolun anahtarıdır.

ABD'nin yayılmayı önleme politikasının karşılaştığı pratikteki zorlukların üstünde ve ötesinde, bu amacın ne kadar önemli olduğunu sormalıyız. Bu politikanın sanayileşmiş, önemli bir ülkeyi, nükleer silah fabrikasını geliştirmekten alıkoyacağı hiçbir zaman umut edilmemişti -bugün böyle fabrikalara sahip beş

ülke vardır. Brezilya gibi daha az gelişmiş bir ülkeyi bu yönde bir adım atmaktan alıkoyması beklenebilirdi; ancak Uluslararası Yayılmayı Önleme Antlaşması'nı imzalayarak Brezilya, böyle bir niyeti olmadığını bir kez daha belirtmiş oldu. Brezilya'nın yeniden işleme tesisi, plutonyumun silah yapımında kullanılmadığından emin olmak için, IAEA yetkililerince yakından tetkik edilecektir. Buna ek olarak, ürettiği plutonyumun silah yapımına uygun olmadığını ve bu amaçla silah tipi plutonyum üretmek için gizli bir tesis kurabilecekleri gerçeği vardır. Açıkça görülüyor ki, Brezilya yeniden işleme tesisini durdurmak, bu ülkeyi nükleer silah geliştirmekten alıkoyacak bir davranış olmaktan uzaktır.

Ancak diyelim ki bu tesisle Brezilya, nükleer silah fabrikası elde etti -bununla ne yapabilir ki? Komşularını tehdit edebilir; ancak onlar da büyük bir nükleer silah saldırısına karşı garanti altına alınırlar. Örneğin Japonya, Almanya ve İskandinavya gibi ülkeler, kendilerini Rusya'nın tehditi altında hissetmiyorlar; çünkü ABD'nin şemsiyesi altındalar. Dünyada küçük bir ülkenin, karşılığında korkunç bir bedel ödemeksizin nükleer bomba kullanabileceği çok az yer vardır.

Büyük bir nükleer katliama neden olabilecek senaryolar geliştirmeye çalışacak olursak, Orta Doğu'daki petrol gibi enerji kaynakları için yapılan çatışmalar, listenin başında ya da başlarında olmalıdır. Tüm önemli ülkelere güvenli enerji kaynakları sağlayabilecek bir şeye de, nükleer savaşı *önleyici* gözülle bakılmalıdır. Güç reaktörlerinin yakıtını yeniden işlemek de bu enerji güvenliğini sağlayabilir ve böylece de nükleer katliamı *önlemede* önemli bir rolü olur. Birçok araştırmacıya göre yeniden işlemenin olumlu rolü, nükleer silahların yayılmasına neden olmak yoluyla bir savaşın çıkmasında oynayacağı olumsuz rolden daha önemlidir.

Yayılmayla ilgili bu kadar tartışmadan sonra, Birleşik Devletler'de nükleer gücün kullanımının bu konuyla bir ilgisi olmadığını hatırlamak önemlidir. Bizim kendi nükleer güç kullanımımızı durdurmamız, bir Üçüncü Dünya ülkesini nükleer silah elde etmekten alıkoyamayacak ya da tam tersi, ABD'de nükleer

güç kullanımı, bir ülkenin bunları elde etmesine neden olmayacaktır. Olası tek sorun, bizim teknolojimizin onlara aktarımında çıkabilir.

Yayılma sorunun en rahatsız edici yanlarından biri, basın yüzünden Amerikan halkının bu konuda tam bir bilgi fakiri olmasıdır. Halkın yüzde birinden fazlasının, bu konuda dengeli bilgiye sahip olmadığını sanıyorum. Kendilerine verilen azıcık bilgiye dayanarak birçok insan, bizim nükleer güç kullanımımızın nükleer savaş riskine büyük bir katkısı olduğu izlenimine sahiptir.

Bu izlenim, nükleer karşıtı etkinsicilerin ve onları destekleyen basının son zamanlarda geliştirdiği, kasten hiçbir ayırım yapmaksızın nükleer silahları ve nükleer gücü aynı kefeye koymak şeklindeki taktikleri sonucu doğdu. Kasım 1982'deki seçimin ardından yazılmış, Evans And Novak imzalı bir kolonu düşünün: "Sekiz eyalet ve Colombia bölgesi, nükleer gücü (silah üretimi için) durdurma yönünde oy kullandı; ancak oyların toplanması sonucu -Yankee Power Plant('in kapatılması) konusunda Maine'nin yaptığı referandum- nükleer taraftarları kazandı". "Nükleer karşıtı" ve "Nükleer taraftarı" kavramları, nükleer silahlardan ve elektrik üretmek için kurulmuş güç santrallerinden bahsederken gittikçe daha sıklıkla birbirinin yerine geçecek şekilde kullanılıyor.

Teröristler İçin Bir Araç mı?

Nükleer güç ve nükleer silahlar arasında bağlantı kuran oldukça ayrı bir başka konu da, teröristlerin bomba yapmak için plutonyum çalmalarıdır. İlk kez 1973'te John McPhee'nin New Yorker'da yazdığı ve daha sonra kitap olarak yayınlanan bir dizi makaleyle halkın dikkati bu konuya çekilmişti [14]. Yazısında önceleri hükümet için çalışan bir bomba tasarımcısı olan Dr. Ted Taylor'la yaptığı röportajları aktardı. Taylor bir süredir bu konuda endişe duymaktaydı ve o zamanlar oldukça gevşek olan, plutonyum için alınmış ihtiyatları sıkılaştırma konusunda hükümeti ikna etmeye çalışmış; ancak bürokrasiyi aşamamıştı. Mc Phee makaleleri, gevşek tedbirler sorununa he-

men bir çözüm sağladı -sonraki iki yıl içinde bunlar korkunç derecede sıkılaştırıldı. Ted Taylor'u da hemen nükleer karşıtı hareketin kahramanı ilan ettiler ve terörist bombası konusu da birkaç yıl gündemde kaldı.

Bu konuya bir göz atalım. Başlangıç olarak, bir nükleer bombayı ele geçirip kullanma sırasında teröristlerin karşıla-cakları engellerden bazılarını bir düşünün [15]. İlk sorunları, en azından 20 kg'lık bir plutonyumu bir tür nükleer tesisten ya da onu taşıyan bir kamyonun çalmak olacaktır. Bu maddeyi bulunduran bir tesis, çeşitli elektronik denetleme gereçleriyle desteklenmiş, yüksek kalitede bir güvenlik çitiyle çevrilidir ve yalnızca yetkili personelin geçişine izin veren silahlı görevlilerle korunur. Plutonyumun kendisi de, yine, üzerinde çalışma yapacak olan yetkili kişilerin girmesine izin veren silahlı görevlilerce korunan, kapalı bir alanda bulunur. Bu kişilerin sadakat, duygusal istikrar, kişisel bağlantılar, ve terörist faaliyetlerine zemin sağlayabilecek tüm diğer unsurlar bakımından FBI tarafından soruşturulmaları anlamına gelen bir güvenlik şeffaflığına sahip olmaları zorunludur. Plutonyumun depolandığı ya da kullanıldığı alandan çıktıklarında, plutonyumun yaydığı radyasyonu tetkik etmek üzere donatılmış bir kapıdan geçmek durumundadırlar. Bu, hırsız tarafından metal bir kapsüle konulup yutulmuş olsa da, bir bomba yapmak için gerekli miktarın %0.01'i kadar küçük bir kısmını bile anında bulgular. Tesisler, plutonyumda bir eksilme olup olmadığını kontrol etmek için sık sık sayım yaparlar. Bazı tesislerde bu sayımlar, yetki dışı bir kullanım olup olmadığını anında saptamak için bilgisayar kontrolünde, sürekli olarak yürütülür. Çok büyük çeşitlilikte senaryolar için düşünülmüş, incelikli olabilirlik planları vardır.

Nakliyesi sırasında plutonyum, zırhlı bir kamyonun içinde, silahlı korumaların nezaretinde taşınır. Kamyonu, içinde silahlı bir koruma bulunan ve göze çarpmayan bir araç izler. Tüm korumalar, Milli Atıcılık Derneği tarafından periyodik olarak eğitime alınan, uzman nişancıardan oluşur.

Saldırı anında yardım istemek ve yol aldıkları süre boyunca

düzenli olarak bilgi vermek için kamyonda ve eşlik aracında telsiz; büyük sorunlar çıkması halinde kullanılmak üzere konulmuş roket atar silahlar bulunur[17].

Nükleer güçle ilgili olarak en önemli plutonyum sevkiyatı, plutonyumu uranyumla karışık olarak içeren ve bomba yapabilmek için de plutonyumun uranyumun içinden ayrıştırılarak çıkarılmasını gerektiren; tonlarca ağırlıkta kütleler şeklinde yapılır. Eğer teröristler plutonyum çalmak niyetinde iseler, plutonyumun, çalması ve bombaya çevirmesi daha kolay olan büyüklüklerde ve kimyasal formlarda bulunduğu askeri silah programımızı denemeleri, onlar için daha hayırlı olacaktır. Üstelik böylece, bomba yapmak için daha elverişsiz olan reaktör tipi plutonyum yerine, bomba için çok daha uygun olan *silah* tipi plutonyum elde etmiş olacaklardır. Hatta askeri programımızdan bir miktar yüksek saflıkta uranyum-235 (bu, nükleer güç işlerinde kullanılmaz) çalmaları, onlar için daha da iyidir; çünkü bu maddeyi bombaya çevirmek oldukça kolaydır. Tabii becerebilecekleri en iyi iş, gerçek bir askeri bomba çalmak olacaktır.

Plutonyumu korumayla ilgili tüm bu teknolojinin, bugün yalnızca hükümetin silah programındaki plutonyum için kullanıldığı da unutulmamalıdır. Plutonyumun henüz nükleer güçle bir ilgisi yoktur. Tüm elektriğimizin plutonyum kullanan üretken reaktörler tarafından karşılanması durumunda bu denli ince-likli bir güvenlik programının nasıl olup da yürütüleceği de akla gelebilir. Pek büyük miktarlarda olmayacağından, bir üretken reaktördeki tüm plutonyum, ev tipi bir buzdolabının içine sığabilir⁵⁹ ve bu durumda ABD'deki tüm plutonyum da, bir oturma odasına sığacaktır. Bunun büyük bir kısmı, yoğun radyasyonun hırsızlık olasılığını ortadan kaldıracağı yerlerde; yani reaktörün ya da kullanılmış yakıtın içinde olacaktır. Radyoaktif atık durumunda olduğu gibi, küçük miktarların söz konusu olması, sıkı güvenlik önlemlerini de kolaylaştırır.

Silahlı korumalarla gerçekleştirilecek tüm bu güvenlik önlemlerinin, ülkeyi bir polis karakoluna çevireceği düşünülebilir. Aslında, plutonyumu korumak için gereken korumaların top-

lam sayısı, bugün uçakların kaçırılmasını önlemek için havalanındaki güvenlik aramalarında kullandığımız korumaların küçük bir bölümü kadar olacaktır. Bu işlemin ülkemizi bir polis karakoluna çevirdiği de pek söylenemez.

Teröristlerin, bir nükleer güç tesisinden plutonyum çalmayı ve bu hırsızlığın ardından gelecek sıkı polis aramasından sıyrılmayı başarmaları durumunda karşılaşacakları bir sonraki sorun, plutonyumu bombaya çevirmek olacaktır. Ted Taylor'un bu işle ilgili bir değerlendirmesi[18] şöyledir:

Normal şartlar altında, 10 kg plutonyuma ve büyük miktarda kimyasal patlayıcıya sahip birkaç, hatta bir kişi, birkaç hafta içinde kaba bir fisyon bombasını tasarlayabilir ve yapabilir.

"Kaba bir fisyon bombası" ile, 100 tonluk yüksek etkili, kimyasal patlayıcınıninkine eşdeğer etki yaratacak bir bombayı kastediyoruz... Kilit kişi ya da kişiler, laboratuvar donanımını kullanma konusunda oldukça yaratıcı ve usta olmak durumundadır... Bu kişi ya da kişiler, nükleer patlayıcılar, nükleer reaktör teknolojisi ve kimyasal patlamalarla ilgili, yaygın olarak bulunan teknik yayınlardaki bazı temel yöntemleri ve kavramları anlamak; ciddi yaralanma ve ölümle sonuçlanabilecek vasat riskleri de kabullenmek zorundadır.

Taylor, yararlı olabilecek bazı yayınları önermişti. Onları okudum; ancak çıkardığım en önemli sonuç, bir bomba tasarılmasının, düşündüğümde de zor olduğuydu. Belki de bu yayınlardaki bazı meçhul ifadeler, sorunu çözecek anahtara sahiptir; bunlar, hükümet için çalışan profesyonel bir bomba tasarımcısı için bildik şeylerdir herhalde; ancak ben, bu yayınlarda yer alan herşeyi anladığımı söyleyemem.

Bir teröristin bomba yaparken karşılaşacağı zorlukları daha iyi anlamak için, hükümet adına çalışan diğer bomba tasarımcılarının fikirlerine bir göz atalım. Aşağıdaki ifade, Los Alamos National Laboratory'den J. Carson Mark'a aittir [19]:

Böyle bir aletin iyi eğitilmiş, birçok diğer alanda yeterliliğe sahip, ortalama altı kişilik bir grup tarafından tasarlanıp yapılabileceğine inanıyorum.

Bu kişilerin kim olabileceği konusunda olası bir liste hazırlayacak olursak; bir kimyacı ya da kimya mühendisini, bir nükleer ya da

teorik fizikçi, olasılıkla dijital bir bilgisayar gerektirecek nötronik ve hidrodinamik sorunların karmaşık hesaplamalarını formüle edebilecek ve bunların içinden çıkabilecek birini, patlayıcılardan anlayan birini, elektronikten anlayan birini ve mekanik konusunda becerikli birini hesaba katmalıyız.

Yukarıdakiler arasında (muhtemelen kimyacı ya da fizikçi) sağlık fizığının uygulamadaki sorunlarından anlayan biri bulunmalıdır.

Sonuç olarak, bu kişilerin deneyim ve yeterliliğine bağlı olarak, uzmanlık alanları; hatta sayıları, bahsedilen alanlarda çalışacak yeterli sayıda kişi sağlanana dek değişebilir.

Halkın güvenliği açısından bakıldığında bu değerlendirmenin, Ted Taylor'un ifadesinden daha iyimser olduğuna dikkatinizi çekerim. Daha da iyimser bir yaklaşım, Stanford Research Institute'dan E.M. Kinderman'a aittir[20].

Yüzbin dolar gibi bir meblağa sahip beş ya da on kişi, eğer kendilerini bu işe adanmışlarsa ve iki yıl veya daha fazla bir süre peşinden gitmeyi göze almışlarsa, bu işi başarabilirler.

Bir ya da birkaç yeterli fizikçi ve mühendis, olasılıkla bir yıl içinde bir deneme tasarımı elde edebilir.

Bir kimya mühendisi ve bir metalürji mühendisi, gerekli temel donanımı bir araya getirebilir, temel testleri yapabilir, bomba tasarımcısının tarif ettiği ürünü üretmek için yalnız olarak ya da yardımla, bir tesisi işletebilir...

Diğerlerine, çeşitli parçaların tasarımında ve yapımında ihtiyaç olacaktır... Böyle bir grup, 50-5,000 tonluk TNT'nin⁶⁰ gücüne eşit bir güce sahip bir bomba üretebilir... ve ağırlığı da bir tondan az olur.

Bu üç ifadenin dışında, bomba uzmanlarında gelen, aşına olduğum tek diğer bilgi, bir hükümet beyanıydı[21]:

Kendini bu işe adanmış biri, çalışabilir bir alet tasarlayabilir. Bu aleti yapmak şüphesiz, başka bir sorundur ve kolay bir iş değildir. Bununla birlikte patlayıcılar, fizik ve metalürji konusunda bilgi ve deneyime; gerekli mali kaynaklara ve nükleer maddelere sahip bir grubun, bir süre sonra kaba bir nükleer patlayıcı elde etmeleri bile belki mümkün olabilir.

Halka basın yoluyla verilen asıl bilgi, adı verilmeyen bir MIT öğrencisinin ve bir Princeton öğrencisi olan John Philips'in ayrı olarak gerçekleştirdikleri çabaları temel almıştır. Bomba yap-

maya yönelik çalışmalarında ne derece ileriye gidebileceğini görmek için, MIT öğrencisi bir yaz boyunca kiralanmış ve hikâye, bir televizyon programında yayınlanmıştı. Bir tasarım ve üretim yöntemini kağıt üzerinde yaratmayı başardı ve İsveçli bir uzman tarafından “100-1000 ton TNT’lik bir güçle patlamak için küçük fakat gerçek bir şansı vardır,” ifadesiyle nitelendi. Bu müstakbel bombanın silah tipi mi yoksa reaktör tipi plutonyumla mı yapıldığı belirtilmemişti. Ayrıca “İsveçli bir uzman”la da ne demek istendiği meçhuldür çünkü İsveç hiç bomba imal etmedi ve bu tip bir girişime karşı da hep ilgisiz kaldı.

MIT öğrencisinin üretim yöntemini inceleyen bir ABD hükümet görevlisi bana, bu yöntemi izleyerek bomba yapmaya kalacak birinin, bombası tamamlanmadan çok önce kimyasal patlayıcılarla havaya uçacağını söyledi. Şüphesiz, öğrencinin yüksek patlayıcılarla ilgili bir deneyimi yoktu. Bu, bir teröristin karşılaşacağı çeşitli sorunların bir örneğidir. Yüksek patlayıcıları kullanmanın gizli bir yanı yoktur; ancak çok az kişinin bu tip bir işte deneyimi vardır. Kullanım bunları kesmeyi, şekillendirmeyi ve bazı şeyler eklemeyi gerektirir -deneysel fizik alanında 30 yıllık bir deneyimim var ve sayısız teknikle uğraştım; ancak bu kadar tehlikeli bir girişimde bulunmayı düşünmem bile.

Princeton öğrencisi John Phillips’in çabalarına basında çok daha fazla yer verildi. Phillips, bombasının 10,000 ton TNT’lik bir güçle patlayacağı yolunda yersiz iddialarda bulundu. Sonra da bir yayın menajeri tuttu, bir kitap yazdı, birçok TV ve radyo şovunda görüldü, basında bolca yer aldı ve hatta milletvekilliği için adaylığını koydu.

Ürettiğini iddia ettiği şey, fizik dersi için dönem raporu olarak hazırladığı bir bomba tasarımı idi. Bu dersin öğretmeni ile konuştuğumda bana, raporda tasarım denebilecek hiçbir şey olmadığını söyledi. Raporda yalnızca, boyutları olmayan (örneğin, büyüklük) kabataslak resimler vardı. Bombanın çalışacağı yolundaki iddialarını destekleyecek hesaplamalar da yoktu. Yalnızca bir bomba tasarımında yararlı olabilecek bilgiler toplamış ve bunun için de öğretmeninden bir “A” almıştı.

Öğretmeni bana, bizzat kendisinin birçok basın mensubu ile temas kurmuş olduğunu; ancak söylediklerinin asla basılmadığını anlattı- çünkü Phillips'in çalışabilir bir bomba tasarlamış olduğunu ilan etmekle meşgullerdi.

Bazı kişiler bana, hükümet için çalışan profesyonel bomba tasarımcılarının kendilerine, bir öğrencinin tasarladığı bombanın çalışabileceğini söylediklerini anlattılar. Bunun doğru olmayacağını biliyorum; çünkü hükümet programına dahil birinin, bir tasarım konusunda halka yorum yapması, güvenlik yönetmeliklerine aykırıdır. Ayrıca hatırlatmak isterim ki, MIT öğrencisinin tasarımı bir "İsveçli uzman" tarafından değerlendirilmişti. Phillips'in tasarımı üzerindeki iddialarla ilgili olarak hiçbir profesyonel, boyutları olmayan bir taslağı, çalışma olarak nitelenebilecek bir tasarım olarak değerlendirmez. Bilim ve teknoloji, son derece nicel disiplinlerdir ve basın bu gerçeği anlamamakta ısrarlı.

Basında üniversite raporumuzla ilgili olarak, bir öğrencinin, nükleer bomba tasarlayabileceği yolunda sayısız yazı yayınlandı. Karşılık olarak bana, nicel göstergelerle birlikte çalışabilir bir plutonyum bombası taslağı gösterebilecek herhangi bir öğrenciye, öğretmeni olduğum iki nükleer enerji dersinden de "A" vereceğimi söyledim. İki öğrenci raporlarıyla birlikte geldiler; ne var ki yaptıkları, tasarım olarak nitelenebilecek bir çalışmanın ancak %5'i kadar bir yeterliliğe sahipti.

Buraya kadar rapor üzerindeki tasarımlardan bahsettik; ancak yukarıda verilen, uzmanlara ait ifadelerden de açık olduğu üzere bu, teröristlerin karşılaşacağı zorlu işin sadece küçük bir bölümüdür. Üretim, teknik alanlarda iyi derecede bir uzmanlık ve deneyim gerektirir. Bu iş için, karmaşık fizik ve mühendislik hesaplarıyla uğraşabilecek, tehlikeli maddeleri yerleştirebilecek yüz civarında tetiğin, saniyenin milyonda birinden daha kısa bir sürede aynı anda ateşlenmesi için elektronik düzenekler kurabilecek, patlayıcı şarjları dikkatle şekillendirebilecek, bunları mükemmel bir şekilde birleştirerek, tetikleri bunlara bağlayacak, vb. yeteneklere sahip insanlara gereksinim vardır. Teröristler bu uzmanlığı nereden sahip olacaklar?

Deneyimli ve yetenekli bilim adamları ile teknisyenler, genelde toplumumuzda iyi gelir getiren, rahat konumları tercih ederler; dolayısıyla da antisosyal faaliyetlere bulaşmaya hiç hevesli değildirler. Böyle bir iş için adam toplama, haftalarca sürececek gelişme dönemi boyunca son derece gizli tutulması gereken bir durumdur. Başarısız olacak tek bir üye bile operasyonlarını mahveder. Üstelik, bu işe ortak olanlar, yüksek öldürülme riskini de kabullenmek zorunda kalırlar. Planın anlaşılması durumunda da tutuklanacaklardır ki bu onlar için pek umut vaadeden bir son değildir. Gerekli uzmanlığı sağlamaya çalışırken de ciddi zorluklarla mutlaka karşılaşacaklardır.

Ancak diyelim ki teröristler bir şekilde plutonyumu çalmayı ve bombayı yapmayı becerdiler. Bombanın patlayıcı gücünü de, uzmanların yaptıkları tahminlere göre ortalama bir değer olan, 300 ton TNT olarak varsayalım. Bu bombayla ne yapabilirler?

Genelde nükleer bombayı, tüm bir şehri yerle bir edebilecek bir şey olarak düşünürüz; ancak bunun için, binlerce kez daha büyük bir bomba gerekir. Ted Taylor [18] New York'ta bulunan ve bazen içinde 50,000 kişinin bulunduğu World Trade Center (Dünya Ticaret Merkezi)'ı örnek verir. Sık sık kullanılan "bu bombalardan biri 50,000 kişiyi öldürebilir" şeklindeki ifadenin de kökeni budur. Bir stadyumda yaklaşık aynı sayıda insanı radyasyon sağanağı ve kavurucu ısı kullanmak yoluyla da öldürebilirsiniz. Bununla birlikte eğer 50,000 kişiyi öldürmek özel zevkleri ise, bunun için çok daha kolay alternatifler mevcuttur.

- Büyük bir binanın havalandırma sisteminden içeri zehirli bir gaz salabilirler,

- Bir spor stadyumundaki yapısal destekleri dinamitlemek suretiyle, üst tribünü alt tribünün üzerine çökterebilir; böylece de her iki tribünde bulunan insanların hemen hepsini öldürebilirler,

- Bir stadyumdaki seyircilerin üzerine uçakla ya da kamyonla büyük miktarlarda napalm (hatta belki benzin) dökebilirler,

- Büyük bir barajı patlatabilirler; böyle bir kazanın 200,000 kişinin ölümüne yol açacağı durumlar vardır,

- Bir şehrin su ya da yiyecek kaynağını zehirleyebilirler.

Hayal gücü geniş biri bu listeye daha birçok madde ekleyebilir.

Nükleer bombaya sahip bir terörist grubu, muhtemelen ilk olarak bunu şantaj için bir koz olarak kullanmayı deneyecektir. Ancak nükleerle ilgisi olmayan taktikler de bu amaç için eşit derecede işe yarar. Böyle faaliyetlerin nasıl gerçekleşebileceğini bilen birçok insan vardır; oysa nükleer bombadan anlayan çok az kişi mevcuttur.

Ayrıca yapabileceğimiz çok şey olmasına karşın böyle girişimleri engelleyecek hiçbir şey yapmıyoruz; oysa nükleer sanayide çok etkin tedbirler alınmış c'urumdadır. Büyük binaların havalandırma sistemlerini koruyabiliriz, ama yapmıyoruz. Korunç olaylarla karşılaşmamak için spor stadyumlarının yapısal desteklerinde dinamit araması yapabiliriz, ama yapmıyoruz. Benim okuduğum lise, penceresiz olarak yeniden inşa edilmişti ve bu da havalandırma sistemine zehirli gaz salınması gibi bir durumda 3,000 öğrenciyi tamamen savunmasız bırakmak demektir. Teröristler çıkışları kapayarak tiyatroları ve stadyumları cehenneme çevirebilirler, ne var ki bunun için hiçbir önlem almıyoruz. Milletvekillerinin eşlerini ve çocuklarını kaçırabilirler ve bu, amaçlarına ulaşmaları için oldukça etkin bir yöntem olur; ancak bu konuya da hiç önem vermiyoruz.

Teröristler tarafından işlenebilecek toplu cinayetlere ve sayısız şantaja karşı savunmasızız. Bunların hepsi de, nükleer güç sanayiinden plutonyum çalarak elde edilmiş bombaya eşit derecede etkindir ve gerçekleştirilmeleri de çok daha kolaydır. Kaldı ki nükleer güç konusunda alınmış önlemler olmasına karşın, diğer konularda alınmış tek bir önlem bile yoktur. Böylece, işlerine geldiği şekilde davranan nükleer karşıtı etkinsiler ve basın, bir kez daha büyük bir yanlış anlamaya sebebiyet vermiş oluyorlar; çünkü olma olasılığı çok küçük olan şeyleri, çok büyükmüş gibi gösteriyorlar.

Aslında bir kereye mahsus olmak üzere, iyi bir amaca hizmet etmiş oldular. Terör konusunda uzman kişiler bana, teröristlerin, daha kolay ve daha tahrip edici seçeneklerden vazgeçerek enerjilerini nükleer terör yolunda sarfetmelerinin çok daha yararlı olacağını söylemişlerdi.

Plutonyumun Zehirliliği

Plutonyumun, bombayla ilgisi olmayan bir başka özelliği de çok fazla ilgi çekti: Plutonyumun zehirliliği. Ralph Nader'in örneklemesinde yarım kilo plutonyumun 8 milyar insanı öldürebileceği şeklinde bir ifade de yer alır[22]. Bu soruna bir göz atalım.

5. Bölüm'de, insan midesine girmiş plutonyumun zehirliliğinin nasıl hesaplanacağını göstermiştik. Radyoaktif atığın bir parçası olarak yerin altına gömülmüş plutonyumun, insan vücuduna girebilmesi için en olası yol, mideye ulaşmasıdır. Bununla birlikte, nükleer tesislerden çıkan plutonyuma bağlı en önemli sağlıksal etki, plutonyumun saf toz zerrecikleri olarak havada asılı kalarak soluma yoluyla akciğerlere ulaşması sonucu ortaya çıkar⁶¹.

Şimdi de bu sorunla ilgili riskleri niceleyelim. Plutonyumun nükleer sanayiide kullanılan ve en zehirli formu olan plutonyum oksit, saf bir toz olarak bulunduğu %25'i akciğerlerde, %38'i üst solunum yollarında birikir ve geriye kalanı da dışarı atılır[23]. Birkaç saat içinde, üst solunum yollarında birikmiş olanın tamamı, akciğerlerde birikmiş olanın da %40'ı temizlenir. Akciğerlerde geriye kalan %60 - $(0.25 \times 60 =)$ solunan toplam miktarın %15'i- oldukça uzun bir süre, ortalama iki yıl orada kalır.

Akciğerde kalan plutonyumun miktarından ve orada kaldığı süreden, akciğerin maruz kaldığı radyasyonu mrem cinsinden hesaplayabiliriz. Örneğin, yarım kilonun trilyonda biri, iki yıllık bir süre içinde 1,300 mremlik bir doza maruz bırakır (bkz. İlaveler). Japonya'da atom bombasından sonra hayatta kalanlar, radon gazına maruz kalmış madenciler ve etkilenim görmüş diğer insanlar üzerinde yapılan çalışmalardan yola çıkarak, akciğerin maruz kaldığı her bir mrem radyasyon için kanser riski hesaplandı[24,25]. Bunu, etkilenim görmüş olanların aldığı radyasyonun mrem cinsinden ifade edilmiş toplamıyla çarparak da, beklenen kanserlerin sayısı bulundu. Sonuç olarak, insanlar tarafından solunacak her yarım kilo plutonyum için, 2 milyon dolayında kanser vakası beklenebilir [26,27] (bkz. İlaveler)⁶².

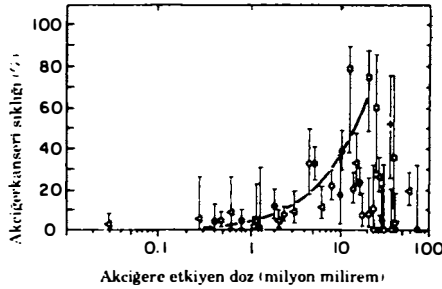
İnsanlarda plutonyuma bağılı olarak ortaya çıkan kanserle ilgili olarak dolaysız kanıt yoktur; ancak köpekler, tavşanlar, sıçanlar ve fareler üzerinde yapılmış bazı deneyler vardır. Sonuçlar, hesaplarımız sonucu beklenen vakaların eğriyle ifade edildiği Şekil 19'da özetlenmiştir [28]. Hayvanlardan elde edilen verinin, hesaplamanın geçerliliğini kanıtladığı görülmektedir.

Solunan her yarım kilo için 2 milyon ölüm, plutonyum tozu nu "bilinen en zararlı madde" olmaktan çıkarır. Botulizm, toksin ya da şarbon sporu gibi [29] biyolojik etkenler, yüzlerce hatta binlerce kez daha zehirlidir. Plutonyumun zehirliliği sinir gazına benzer; ancak aynı miktar plutonyum tozu veya sinir gazı içeren odalarda bulunmak gerektiğinde ikinci seçeneği tercih etmek, sonsuz derecede daha büyük bir tehlikeyi göze almak anlamına gelir. Sinir gazı çabucak oda havasına karışır; oysa katı bir madde olduğu için plutonyum oldukça hareketsiz kalır.

Aslında, plutonyumu solunabilir bir toz olarak havaya yaymak oldukça zordur. Parçacıklar, birbirlerine yapışarak solunmayı olanaksız kılacak büyüklükte topaklar halinde yığılma eğilimi gösterirler. Hayvanlar üzerinde yapılan deneylerde, bu sorunun üstesinden gelmek ve solunacak plutonyum tozunu hazırlamak için oldukça fazla çaba ve ustalık göstermek gerektiği [30].

Solunan her yarım kilo için iki milyon ölüm şeklindeki sonucu elde etmek için burada kullanılan hesap yöntemi, Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu'nun (ICRP) önerileri doğrultusunda belirlenmiştir. Önemli ölçüde bir sapma yapılmadığı sürece çok farklı bir sonuç elde etmek imkansızdır; en azından üç bağımsız araştırma, plutonyumun zehirliliğini ölçmek için bunları kullanmıştır [26,27] ve hepsi de temel olarak aynı sonuca varmışlardır. ICRP'nin önerileri ABD'de, Çevre Koruma Dairesi ile İş Güvenliği ve Sağlık Dairesi gibi, tüm dünyada sağlık standartlarını belirlemekle görevli gruplar tarafından ve evrensel olarak, bilimsel yazında da kullanılır.

Bununla birlikte, bu yöntemlere en azından iki kez karşı çıktı. İlki, plutonyum *parçacıklarının*, rastgele dağıtılmasının aynı miktar plutonyumun akciğer üzerine düzgün olarak dağı-



Şekil 19. Solunan plutonyumla ilgili hayvan deneylerinin sonuçları. Eğilimli çizgi, metin içinde açıklanan hesaplamaların tahminlerini ifade eder. Veri, kaynak 28'den elde edilmiştir ve hesaplama kaynak 26'da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. □, PuO_2 , köpekler, J.F. Park, BNWL-SA-4911'de yer verilen R.C. Thompson'la özel görüşme; ▽, PuO_2 , fareler, L.A. Temple ve grubu, Nature, 183, 498 (1959); △, PuO_2 , fareler, L.A. Temple ve grubu, aynı kaynaktan; ○, PuO_2 , fareler, R.W. Wager ve grubu, Hanford raporu, HW-41500 (1956); O, Pu sitrat, sıçanlar, L.A. Buldakov ve E.R. Lyubchanskii, çeviri, ANL-tr-864 (1970), sayfa 381; •, plutonyum penta karbonat, sıçanlar, L.A. Buldakov ve E.R. Lyubchanskii, aynı kaynak; ◊, plutonyum nitrat, sıçanlar, R.A. Erokhim ve grubu, çeviri, AEC-tr-7387 (1971), sayfa 344; +, plutonyum nitrat, tavşanlar, N.A. Koshurnikova, çeviri, AEC-tr-7387 (1971), sayfa 334; *, Plutonyum penta karbonat, tavşanlar, N.A. Koshurnikova, aynı kaynaktan.

tılması durumuna göre daha zararlı olduğu, çünkü ilk durumda parçacıkların yakınındaki birkaç hücrenin çok daha büyük dozda radyasyon alacağını savunan, sözde “sıcak parçacık” teorisi-ne dayanıyordu. Geleneksel risk tahminleri, kanser riskinin akciğerdeki tüm hücreler için söz konusu ortalama doza bağlı olduğu varsayımına dayanır; oysa sıcak parçacık teorisi, riskin, en fazla etkilenim görmüş hücrelerin aldığı doza bağlı olduğunu varsayar.

Bu sıcak parçacık teorisi, bilim adamlarınca zaman zaman göz önüne alınmış, ancak nükleer karşıtı etkinci örgüt Doğal Kaynakları Koruma Konseyi (NRCD), bu teori uyarınca, kabul edilebilir maksimum plutonyum etkilenimi dozlarının kesin olarak düşürülmesini talep eden bir dilekçe hazırladığında, konu bir “sonuca bağlanmıştır” [31]. Karşılık olarak, kanıtı değer-

lendirmek için birkaç bilimsel komite toplandı. Bilimler Milli Akademisi'nden, Radyasyondan Korunma ve Ölçüm Milli Konseyi'nden, İngiltere Tıbbi Araştırma Konseyi'nden ve diğerlerinden bağımsız komiteler vardı. Hepsi de birbirinden bağımsız olarak [32], sıcak parçacık teorisinin hiçbir değeri olmadığına; varsa bile, plutonyumun parçacıklar şeklindeki konsantrasyonunun, akciğere düzgün olarak dağılmasından daha az tehlikeli olduğuna karar verdiler. Çok karmaşık olduğu için bilimsel kanıtı burada veremeyeceğiz; ancak bazı noktalar kolaylıkla anlaşılabilir:

- Çok daha sıcak plutonyum parçacıklarıyla hayvanlar üzerinde yapılan deneyler sonucu, aynı miktar plutonyum içeren normal parçacıklarla yapılan deneylere göre daha az kanser görüldü.

- Parçacıklar sürekli olarak hareket ettiklerinden, akciğerde kaldıkları iki yıl süresince, tüm hücreler aşağı yukarı eşit derecede etkilenir.

- Los Alamos National Laboratory'den (Los Alamos Milli Labratuvarı) gelen ve 1940'larda fazla miktarda plutonyum solumuş olan yaklaşık 25 işçi vardı; sıcak parçacık teorisine göre her birinin, bugün, akciğer kanserinden ölme riski %99.5'tir, ancak bu insanlar arasında bir tek bile akciğer kanseri vakası görülmedi[33].

Bu çalışmalar sonucunda bilimsel çevre, sıcak parçacık teorisini reddetti ve standartları belirleyen kuruluşlar da kabul edilir etkilenim miktarını değiştirmediler. Yine de nükleer karşıtı etkinsiler, çok sık kullanılan, "akciğere girecek tek bir plutonyum parçacığı kansere yol açacaktır", şeklindeki önermelerini haklı çıkarmak için bu teoriyi kullanmaya devam etmekte.

Sıcak parçacık teorisiyle ilgili gereksiz patırtının ardından, San Francisco merkezli nükleer karşıtı etkinsi örgütün başkanı John Gofman, plutonyumun standard yöntemlerle tahmin edilenden neden daha tehlikeli sayılması gerektiğiyle ilgili yeni bir teori önerdi [34]. Teorisi, bronşların bulunduğu bölgeden yabancı maddeleri temizleyen silianın (tüyler), sigara kullanarlarda tahrir edilmiş olmasını nedeniyle, plutonyumun birkaç

saat içinde temizlenmesini engelleyerek orada yıllarca kalmasına neden olduğu görüşüne dayanıyordu. Kendisi, tozun bu bölgeden, sigara kullananlarda da kullanmayanlarda olduğu kadar hızla temizlendiğini açık olarak ortaya koyan deneyleri [35] göz ardı ediyordu. Tek fark, sigara kullananlarda daha fazla geniz akıntısının ve öksürüğün söz konusu olmasıdır. Zaten, sigara kullananların bronşlarındaki toz, Hofman'ın varsaydığı kadar yavaş temizlenseydi, bu insanlar havasızlıktan ölürlerd. Gofman, hesaplamalarda bronşun yüzey alanını 17 kez daha küçük farzetmek gibi hatalar yaptı. Raporu, bazı bilim adamlarınca ciddi olarak eleştirildi [36,26]. Bu rapor bilim çevresinde hiçbir zaman kabul görmedi ve tüm uzman komitelerince, standart belirleyici gruplarca göz ardı edildi. Böyle bir iddiayı raporunda kullanan, Gofman'dan başka bilim adamı bilmiyorum.

Solunan her yarım kilo plutonyum başına 2 milyon kanser tahmininde bulunan, plutonyumun zehirliliği [26] ile ilgili raporum ilk yayınlandığında Ralph Nader, Nükleer Yönetmelik Komisyonu'ndan, bu raporu değerlendirmesini istedi. Hesaplamaların ayrıntılarıyla ilgili olarak gelen telefonlardan anladığım kadarıyla, işlerini hakkını vererek yaptılar ve raporu son derece "sağlıklı" buldular. Buna karşın Nader, konuşmalarında ve yazılarında yarım kilo plutonyumun 8 milyar insanı öldürebileceğini (benim vardığım sonucun 4,000 katı) belirtmeye devam etti. Aslında beni, [37] "plutonyumun zehirini kalemle temizlemekle" suçladı.

Karşılık olarak ben de, onun ölümcül olabileceğini varsaydığının çok daha fazlası kadar plutonyumu, halkın gözü önünde solumayı önerdim. Aynı zamanda, plutonyumu soluma ya da yemeye ilgili olarak birçok diğer öneri daha yaptım -"tek bir parçacık kansere yol açacaktır" iddiasına karşılık, havada asılı kalabilecek büyüklükte 1,000 parçacık içeren bir plutonyum parçasını solumayı; ünlü bir nükleer karşıtının yiyeceği veya içeceği kafein kadar da plutonyum yemeyi teklif ettim. Genel olarak kabul görmüş yöntemlere uyarak yaptığım *benim* hesaplamalarım göre, önerilerim sonucu, II. Dünya Savaşı'nda bir Amerikan askeri için söz konusu olan kadar bir risk almış ola-

caktım. Üç büyük TV kanalını önerilerimden haberdar ettim ve ayrıca bana, bunu neden yaptığımı açıklamak üzere birkaç dakika da süre tanımlarını rica ettim. Kendimi ölkemin geleceği için bir savaşa girmiş gibi hissediyorum ve dolayısıyla da diğer askerlerin aldığı kadar bir risk almayı da seve seve kabulleniyorum.

TV kanallarının hiçbirinden (raporumun bir kopyasını isteyen CBS dışında) cevap gelmedi; dolayısıyla da önerilerim bir işe yaramamış oldu. Bununla birlikte nükleer karşıtı etkililer, beni yalancı göstermek için bunu kullandılar -benim, tehlikeli olan miktardan 550 kez daha az bir miktar, yani yarım miligram plutonyum yemeyi önerdiğimi, oysa tehlikeli miktarın 800 miligram olduğunu söylediler. Bazı kişiler, bana, nükleer karşıtı etkililerin, basının dikkatini çok fazla çektiğini; çünkü dram ve heyecan önerdiklerini söylemişti. Ancak öyle sanıyorum ki benim önerim de bunlara sahipti. Bu durumda basının nükleer güç konularında dengesiz davranmasının başka bir nedeni olmalı!

Önerimle ilgili bir hikâye, gazetecilerin halkı radyasyonun tehlikeleri konusunda bilgilendirirken neden böyle yetersiz davrandıklarının anlaşılmasına yardımcı olacaktır. *Dallas Times-Herald* için çalışan bir muhabir, gazetesinde benim için şöyle yazmıştı: "Ralph Nader'in yemeyi kabul edeceği kafein miktarından bin kez daha fazla miktarda plutonyum solumayı öneriyorum." Bir mektup yazarak bunun ve birçok diğer hatanın düzeltilmesini rica ettim. Karşılığında editöründen şu cevabı aldım "Siz, 'onun ölümcül kabul ettiği miktarın bin katı kadar plutonyum solumayı ve yiyebileceği kafein miktarı kadar da plutonyum yemeyi öneriyorum' demişsiniz. Bizim muhabirimizin yazdığı da bu anlama geliyor."

Plutonyumu solumak, yemekten 5,000 kez daha fazla tehlikelidir ve plutonyumu yemek de aynı miktarda kafein yemekle eşit bir tehlikeye karşılık gelir. Yani, eğer ben muhabirin yapmayı önerdiğimi söylediği şeyi yapacak olsaydım, Nader'e göre (1,000 X 5,000 =) 5 milyon kez daha fazla risk almış olacaktım -ve tabii ki de ölecektim. Aslında benim önerdiğim şey, onun yi-

yeceği kafein miktarına eşit miktarda plutonyumu *yemekti*; bin kat fazlasını *solumak* değil. Dolayısıyla benim önerime göre ikimiz de eşit riske girmiş olacaktık. Plutonyum solumakla ilgili önerim, onun plutonyum solumanın tehlikeleri ile ilgili olarak söylediği şeylerin komikliğini göstermeyi amaçlayan, tamamen ayrı bir konuydu. Bir muhabirin benim ifademi nasıl olup da böyle yorumlayabileceği ve editörünün de kendine açıklanmasına karşın aradaki farkı nasıl olup da anlayamayacağı soruları, benim algı sınırlarımı aşıyor. Bununla birlikte, halkı radyasyon konusunda aydınlatanlar, bilim adamları değil; yine halktır. Ayrıca belirtmek isterim ki bu bir niceliğe karşılık nitelik sorunu değildir; 5 milyon faktörlük bir yanılma, çarpıtmadan başka bir şey değildir.

Plutonyumun zehirliliğinin tehlikelerini değerlendirirken, çeşitli durumlarda ne kadar plutonyumun solunabileceğini belirtmediğimiz sürece, solunan her yarım kilo plutonyum için 2 milyon ölümün beklenebileceğini söylemek, durumu aydınlatma açısından pek yararlı değildir. Bu da, açığa çıkmanın ne şekilde olacağına, rüzgara, diğer hava koşullarına ve bölgede bulunan insan sayısına bağlıdır kuşkusuz. Ancak diyelim ki yarım kilo plutonyum oksit tozu, en etkin şekilde, ortalama bir büyük şehir civarında, ortalama hava koşulları altında açığa çıktı [26]. Rüzgar bu tozu insanların yoğunlukla bulunduğu alanların dışına sürüklemeyen yaklaşık bir saat önce, 100,000'de birlik kısmı insanlar tarafından solunmuş olacaktır [38] ve bu 19 kanser vakasının görülmesi için yeterlidir. Eğer insanlar, havada plutonyum olduğunu biliyorlarsa, bir şantaj durumunda olduğu gibi, ağızlarına katlanmış bir mendil ya da bez koyarak nefes alabilirler ve bu da kanser vakalarını 19'dan 3'e düşürür. Daha da iyisi, binalara girebilir ve kritik olan bu kısa süre boyunca içeri hava girmesini sağlayan yerleri kapayabilirler.

Sonuçta plutonyumun hepsi yere çökecektir; ancak daha sonra rüzgar ya da insanlar yüzünden yeniden havaya yükselme tehlikesi vardır. Tozun tekrar havaya yükselme olasılığı, yağmur, çığ ve diğer doğal süreçler dolayısıyla düşer. Sonuç

olarak, tozun neden olduğu başlıca tehdit, ilk bir yıl içinde hızla azalır ve ondan sonra da tamamen yok olur [39]. Plutonyum tozunun tekrar havaya karışması sonucu yaklaşık 7 ölüm vakası görülür.

Birkaç yıl boyunca plutonyum aşağı doğru iner ve toprağın üst tabakalarının daimi bir parçası haline gelir. Hepinizin bildiği gibi, oldukça uzun bir süre boyunca da radyoaktif kalır. Bu süre içinde ne kadar zararlı olacağı, toprağın sürülmesi, inşaat ya da doğal süreçler sonucu tekrar havaya karışıp, insanlar tarafından solunması olasılığına bağlıdır. Bu süreçlere bağlı olarak, toprağın üstteki ilk yirmi cm'lik tabakası içinde bulunan bir ağır metalin, her yıl insanlar tarafından solunması olasılığı, milyarda 13'tür [26]. Bu olasılığı plutonyuma uygularsak, radyoaktif kalacağı on binlerce yıllık süre içinde 0.2 oranında fazladan ölüm riski yaratacaktır.

Bu süre içinde plutonyum, bitki kökleri tarafından alınarak yiyeceklere de karışabilir. Birçok kontrollü deney yoluyla ve bomba test alanları, atığın gömüldüğü bölgeler gibi çeşitli yerlerin kirlenme durumları göz önüne alınarak, bu süreç incelenmiştir [40]. Olasılık, coğrafyaya göre çeşitlilik göstermekle birlikte, en olumsuz koşullarda bile onbinlerce yıllık süre içinde, yalnızca bir tek fazladan ölüme neden olabileceği anlaşılmıştır.

Özetle, büyük bir şehre en etkin şekilde yayılacak yarım kilo plutonyum, ilk bir saat içinde solumaya bağlı olarak 19, ilk yıl içinde tekrar havaya karışmaya bağlı olarak 7 ve toprağın üst tabakalarında kalacağı onbinlerce yıl içinde de belki fazladan bir ölüme neden olacaktır. Bu da yayılacak her yarım kilo plutonyum için, toplam 27 ölüm anlamına gelir [26].

Plutonyum yayılımının teröristlerce kullanılabileceği şeklindeki görüşler vardır. Ancak bu, gerçekçi olmaktan çok uzaktır; çünkü ölüm vakalarının hiçbirisi, ilk on yıldan önce görülmeyecek⁶³ ve çoğu da 20 ile 40 yıl arası bir süre sonra ortaya çıkacaktır. Bu durum şantaj için kullanılamaz; çünkü yayılım farfedildiği anda kolayca korunmak için önlemler alınacaktır - ağıza mendil kapamak ya da içeriye girmek gibi. Teröristler kolaylıkla bulunan kimyasallardan yapılan sinir gazını kulla-

narak çok daha fazlasını elde edebilir; böylece de insanları anında öldürebilirler.

Dünyanın, plutonyumla kirlatılebileceği yolunda korkular vardır. Bununla birlikte, basit bir hesaplama [26], tüm elektriğin plutonyum yakıtlı reaktörlerde üretilmesinin ve tüm plutonyumun toprak tabakalarına karışmasının doğal kaynaklardan aldığımız radyasyon miktarını ikiye bile katlamayacağını ve %1'in çok azı kadar sağlıksal etkiye yol açacağını göstermektedir. Yukarıda anlatılanlarda da açıkça görüldüğü üzere, topraktaki plutonyum pek tehlikeli değildir; çünkü onu, havayla taşınabilir toza çevirecek etkin bir mekanizma yoktur.

Çalışmasından biraz önce bahsettiğimiz, nükleer karşıtı etkinci John Gofman, %99.99'luk bir oranı temel alarak, plutonyumun zehirliliğinin etkileri hakkında konuşmalar yapmakta ve yazılar yazmaktadır [41]. Demek istediği, her yıl kullanılan tüm plutonyumun %0.01'inin, havada uzun süre asılı kalacak, *solunabilir* toz olarak açığa çıkacağıdır. Bu, çelik ve asfalt sanayilerinin, ürünlerini koruma konusunda daha başarılı olmaları durumunda bile [42], %0.001 oranında solunabilir tozun sık sık açığa çıkacağı anlamına da gelmektedir. Ancak plutonyumun yerleştirilmesi sırasında açığa çıkacak oran çok daha düşüktür. Bunun nedenlerine bir göz atalım.

Çelik ve asfalt sanayilerinde maddeler, erime noktasının çok daha ötesine kadar ısıtılırlar ve bu da şiddetli bir kaynamayla sonuçlanır. Bu, bazı maddeleri havayla taşınır toza dönüştüren başlıca mekanizmalardan biridir. Nükleer güç sanayiinde ise plutonyum, asla erime noktasına gelecek kadar ısıtılmaz. İşlem sırasında çelik ve asfalt açık kapların içine konur ve binanın havasıyla doğrudan temas eder; oysa plutonyum sıkıca kapalı bir yerde, bina havasından tamamen izole olmuş bir şekilde tutulur. Binadaki hava, ancak filtrelerden geçtikten sonra dışarıdaki atmosfere karışır. Çelik ve asfalt tesislerindeki filtreler, sıradan bir dokudan yapılmıştır; halbuki plutonyum tesislerinde, içlerinden geçen havadaki tozun %99.9999'unu süzebilecek yeterlikte, yüksek etkinlikte olacak şekilde özel olarak geliştirilmiş filtreler vardır.

Çevreyi Koruma Dairesi'ne (EPA) ait yürürlükteki yönetmelik, bir tesiste bulunan plutonyumun bir milyarda birinden fazlasının, havayla taşınabilir toz olarak dışarı çıkmamasını şart koşar [43]. Bugün tüm tesisler bu yönetmeliğe uygun olarak işlemektedir. Bu, Gofman'ın varsaydığı açığa çıkmalardan 100,000 kez daha azdır. ABD'de kullanılan elektriğin tümü üretken reaktörler tarafından karşılanacak olsaydı, kabul edilebilir maksimum derecede sızıntılar yılda 0.0004 kilogram olacaktı. Tüm tesisler de, plutonyumun açığa çıkmasının 27 ölümüne yol açacağı büyük şehirlerde olsa; her 50 yılda bir, ABD'nin bir yerinde 1 ölüm vakası olacaktır. Ancak tesisler şehirlerde bulunmadığından, sonuçlar iyice düşecek, her yüzyıl için bir ölümden bile az olacaktır.

EPA yönetmelikleri kaza sırasında olabilecek sızıntıları içermez kuşkusuz ve böyle birkaç kaza da olmuştur. En önemli ikisi, Rocky Flat ve Colarado tesislerinde, bombanın bazı kısımları için kullanılan plutonyumun yanıcı formda bulunduğu bölümlerde çıkan yangınlardır (nükleer güç sanayiinde kullanılan formlar yanıcı değildir) [44]. 1957'de çıkan birinci yangında, plutonyumun 300,000'de birlik -0.06 gr- kısmı yanarak, toz olarak çıktı⁶⁴. Bu kazadan sonra bir çok gelişme oldu; 1969'da çıkan çok daha büyük yangında, yanan plutonyumun yalnızca 30 milyonda biri açığa çıktı. Güvenlik analizleri, yeni gelişmelerin, zaten düşük sayılan bu rakamı daha da düşüreceğini göstermektedir.

Her yıl kullanılan plutonyumun çok küçük bir bölümü için kaza ya da yangın söz konusu olacağından, toplam miktarın bir milyarda birinden çok daha azı açığa çıkacaktır. Dolayısıyla, kazalar sonucu çevreye yayılacak plutonyum, EPA yönetmeliklerinin içerdiği rutin işleyişler sonucu çıkacak miktardan çok daha azdır. Tamamen üretken reaktörlere dayalı bir elektrik programı sonucu ortaya çıkacak plutonyumun zehirliliği de ABD'de bir yüz yılda, birden az ölümüne yol açacaktır⁶⁵.

Plutonyumun zehirliliğinin en önemli etkileri, atmosferde patlayan nükleer bombalara bağlı olarak ortaya çıkanlardır. Bombadaki plutonyumun yalnızca %20'si kullanılır; gerisi ise

buharlaşarak, saf toz halinde atmosfere yayılır. Şimdiye dek yapılan bomba denemeleri sonucu, 5,000 kilo plutonyum bu şekilde yayılmıştır [44] ve bu miktar da tüm dünyada 4,000 kanser vakasına yol açmaya yeterlidir. Bomba denemeleri sonucu yayılmış olan miktarın, tüm elektriğin üretken reaktörle karşılanması durumunda EPA yönetmeliklerinin izin verdiği yıllık sızıntılardan da 10 milyon kez fazla olduğuna dikkatinizi çekmek isterim.

Sık sık “madem tehlikesi bu kadar az, öyleyse plutonyum için neden bu kadar katı yönetmelikler uygulanıyor”, şeklinde sorularla karşılaşıyorum. Cevap gayet açık: hükümeti gerçek tehlikeler değil; halkın eğilimleri yönlendiriyor. Onlar teknik kolaylıklarla ilgilendiklerinden, sızıntıları aza indirmenin zor olmadığını düşünüyorlar. Maliyetler göz önüne alınıyor; oysa, bugün plutonyum kullanımı, maliyetin pek önemli bir unsur olmadığı askeri programla sınırlıdır. İdareciler için ana ilke, radyasyon etkileniminin “Makul Olan En Düşük Seviye”de (MOEDS), (As Low As Reasonably Achievable [ALARA]) olmasıdır ve plutonyumun açığa çıkması durumlarında, uygulanacak yönetmelik için EPA’nın MOEDS için verdiği yargıya başvurulur.

Bu sistemin zorluğu, halkın ve basının, sıkı önlemler alınmasını büyük bir potansiyel tehlike olarak yorumlamalarından kaynaklanır. Bu, halkın endişesini artırır ve radyasyondan korunmayla ilgili herşeyin bir kısır döngü haline getirildiği durum devam eder -daha çok korunuldukça halk daha çok endişe duyar; halk daha çok endişe duydukça daha çok koruma önlemi alınır.

Plutonyumun geniş ölçekli kullanımı sonucu, eşi görülmemiş miktarlarda zehirli maddenin ortaya çıkacağı şeklindeki ifadeleri sık sık duyarsınız. Plutonyum özellikle bulunduğu tehlikeli olduğundan, solunması tehlikeli olan diğer maddelerle karşılaştırılmalıdır. Tüm elektriğimiz üretken reaktörlerce üretilecek olsaydı, her yıl yarım trilyon insanı öldürmeye yetecek plutonyum üretmiş olurduk¹⁴. Ancak daha önce 5. Bölüm’de de belirtildiği gibi, her yıl 400 trilyon insanı öldürmeye yetecek kadar klor, 18 trilyon insanı öldürmeye yetecek kadar fosgen, 6

trilyonu öldürmeye yetecek kadar amonyak ve yine 6 trilyon insanı öldürebilecek kadar da hidrojen siyanid üretiyoruz. Hatırlatmak isterim ki bu maddeler, sızdıkları anda doğal olarak havaya karışan gazlardır; oysa plutonyum, kasıtlı olarak uğraşıldığında bile oldukça zor yayılabilen bir katı maddedir. Çevreye yayılan plutonyum, diğer gazlara göre orada daha uzun süre kalır şüphesiz; ancak daha önce de belirttiğimiz gibi plutonyumun vereceği asıl zarar, yayıldıktan sonraki ilk bir saat içinde solunmasına bağlıdır. Bu bağlamda, diğer gazlarla karşılaştırıldığında, plutonyumun kalıcılığının önemli bir unsur teşkil etmediği gayet açıktır.

Plutonyumun zehirliliği ile ilgili olarak hatırdakalması gereken son bir önemli nokta da, anlatmakta olduğumuz sağlık etkilerinin tümünün *teorik* olduğudur. Plutonyumun zehirliliğinin, şimdiye dek dünyanın herhangi bir yerinde bir insanın ölümüne yol açtığını gösteren dolaysız ya da epidemolojik kanıt yoktur.

Plutonyumun zehirliliği sorunuyla birkaç yıl profesyonel olarak uğraştım ve anlamadığım nokta, nükleer karşıtı hareketin, insanları bu maddenin halka yönelik önemli bir tehlike teşkil ettiğine inandırmak için neden bu kadar çok enerji sarfettikleridir. Aralarından bilimsel geçmişi olanların, bunun saçma bir sav olduğunu bilmeleri gerekir. Bilimsel yazında, iddialarını destekleyecek hiçbir durum yoktur. Plutonyumu diğer radyoaktif elementlerden daha zehirli kılacak, bilimsel olarak özel hiçbir şey yoktur. Uzun yarı ömrü onu, sürekli iddia edildiği gibi daha tehlikeli değil; *daha az* tehlikeli kılar. Her bir radyoaktif atom, bir kez radyasyon sağanağına yol açabilir; örneğin, yarı ömrü 25 yıl olan bir madde için bunlar, 25 yıl boyunca bu şekilde bu şekilde hareket ederlerse, yayılımlarını sanki 25,000 yıl boyunca sürdürüyorlarmışçasına, dakikada bin kez daha fazla radyasyon söz konusu olur ve plutonyum için de durum böyledir.

Plutonyumu incelemek için, hayvanlar ve bitkiler üzerinde sayısız deney, birçok kimyasal araştırma, maruz kalmış hayvanlar üzerinde dikkatli gözlemler, bomba denemelerinden

yayılan radyoaktivite için çevresel kontroller, vb. yapılmıştır ve üzerinde bu kadar çok çalışma yapılan başka hiçbir element yoktur. Dolayısıyla bu konuda bilgi eksikliği olması gibi bir durum oldukça olasılık dışıdır. Sonuç olarak, halkı plutonyumun zehirliliği konusunda korkutma kampanyasının, temelde *politik* olduğu kanısındayım. Plutonyumun zehirliliğinin son derece bilimsel bir sorun olduğu düşünüldüğünde bu, en ağır şekilde kınanması gereken bir durumdur.

Kesinlikle eminim ki halk, plutonyum zehirliliğinin tehlikelerini anlatmayı amaçlayan kampanyayı “yuttu”. Bunu herhangi birine sorduğunuzda, plutonyumun bilinen en zehirli maddelerden biri olduğu ve yaygın olarak kullanıldığı takdirde de sağlığımız için korkunç bir tehlike arz edeceği gibi bir cevap alırsınız. Basınsa bunu bir gerçek olarak kabul eder; plutonyumun zehirliliği onların dikkatine değer bir konu değildir artık. Çünkü Amerikan halkının bu konuda aldatılması işi, temelde tamamlandı. Lincoln “tüm insanları sürekli olarak aldatamazsınız”, derken yanılıyordu.

İlaveler

İşlenmemiş Yakıtın Nükleer Gücün Maliyetindeki Oranı

Fisyon yapan nükleer yakıt, her ton başına 33×10^6 kW-gün [45] ısı enerjisi üretir. Bir ton yakıt üretmek için yaklaşık olarak 6 ton uranyum gerekmektedir⁶⁷ ve ısı enerjisinin üçte biri elektrik enerjisine çevrilmektedir [45]. Uranyumun her bir kilogramı başına üretilen elektrik enerjisi

$$\frac{1/3 \times 33 \times 10^6 \text{ kW-gün}}{6 \times 1000 \text{ kg}} \times \frac{24 \text{ saat}}{\text{gün}} = 44,000 \frac{\text{kW-saat}}{\text{kg}}, \text{ dır.}$$

Nükleer enerji kaynaklı elektriğin fiyatı 2.5 cent/kW-saat'tir, yani bir kilogram uranyumdan elde edilen elektrik ($0.025 \times 44,000 =$) 1100 dolara, uranyumun kilogramı yaklaşık olarak 50 dolara mal olmaktadır; bu da maliyetin %5'idir.

Benzin Fiyatının Nükleer Yakıt Fiyatıyla Karşılaştırması

Doğrudan enerji çevrimini göz önüne alırsak, fisyonu giren bir kilogram nükleer yakıt, 2 milyon litre benzine bedeldir. Bir üretken reaktörde enerji çevrim verimi %40 olduğu için [45], 50 dolar kadar bir fiyata mal olan bir kg uranyumdan elde edilen elektrik enerjisi, 0.8 milyon litre benzinden elde edilene eş değer olmaktadır. Buna göre benzinin eşdeğer fiyatı, 50 dolar / 8×10^5 litre, = 0.00625 cent/litre olacaktır. Yani bir cent'e 160 litre.

Günümüzde, reaktörler uranyumun sadece %1'ini yakarlar ve sadece %33 verimle çalışırlar. Yakıt, $100 \times (40 / 33) = 120$ kat daha fazladır. Bu da benzinin litresinin ($120 \times 0.00625 =$) 0.75 cent/litre olması anlamına gelir.

Plutonyum Nedeniyle Akciğerin Maruz Kaldığı Radyasyon ve Akciğer Kanseri Riski

Bu hesaplama, bazı bilimsel tanımların bilinmesini gerektirmektedir; dolayısıyla bazı okuyucular için anlaşılır olmayabilir.

Akciğerin içinde iki yıl boyunca duran kilogramın trilyonda biri kadar plutonyumun, akciğeri maruz kalacağı radyasyon dozunu hesaplayalım. Plutonyum atomlarının sayısı

$$1 \times 10^{-12} \text{ kg} \times 1000 \text{ g/kg} \times (6 \times 10^{23} \text{ atom/239g}) = 2.2 \times 10^{12} \text{ 'dir.}$$

Yukarıda 6×10^{23} Avogadro sayısı ve 239 da atom ağırlığıdır [45]. Plutonyumun yarısı 24,000 yılda (yarı ömür) bozunacağı için, akciğerde durduğu iki yıl içinde bozunan plutonyum oranı, 24,000 plutonyum atomunda birden biraz daha fazla; gerçekte $1/17,000$ 'dir. Buna göre bozunanlar, $2.2 \times 10^{12} / 17,000 = 14 \times 10^7$ tanedir. Her bozunum yaklaşık olarak $5 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} = 8 \times 10^{-13} \text{ J}$ enerji yayar. Açığa çıkan radyasyon enerjisi, toplam $14 \times 10^7 \times 8 \times 10^{-13} = 11.2 \times 10^{-5} \text{ J}$ olur [45]. Sıradan bir insanın akciğerinin ağırlığı 0.57 kilogramdır [46]; yani depolanan enerji $(5.6 \times 10^{-5} \div 0.57) = 2 \times 10^{-4} \text{ J/kg}$ olur. Milirad [45], her bir kilogramlık dokuda depolanan $1 \times 10^{-5} \text{ J/lük enerji}$ olarak tanımlanmıştır⁶⁸. Buna göre, doz $(2 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-5}) = 20 \text{ mrad}$ 'dır. Nefesle akciğere giren maddelerin sadece %15'i akciğerde iki yıl kaldığına göre [23], kilogramın trilyonda biri kadarın solunması durumunda, $(20 \times 0.15) = 3 \text{ mrad}$ 'a maruz kalınır. Plutonyumun saçtığı radyasyon olan alfa parçacıkları için söz konusu oran, $1 \text{ mrad} = 20 \text{ mrem}$ olduğundan [47], kilogramın trilyonda biri kadar miktarının solunması sonucu akciğerin maruz kalacağı mitar, $(3 \times 20) = 60 \text{ mrem}$ olur.

BEIR [24], UNSCEAR [25] ve ICRP [47] tarafından yapılan tahminler, bir miliradlık alfa parçacığı etkilenimi için akciğer kanseri riskinin 5×10^{-7} olduğu yolundadır. Solunan her kilogram için beklenen akciğer kanserlerinin sayısı, $(3 \times 10^{12} \times 5 \times 10^{-7}) = 15 \times 10^6$ kadardır. Mays'in tahminleri [27], solunan her yarım kilo için 4×10^5 akciğer ve kemik kanseri görüleceği şeklindedir; bu da solunan her yarım kilo sonucu olacak her tür kanser için toplam etkiyi 1.2 milyona yükseltir.

Bu tahmine etki eden iki unsur vardır. İlki, bu hesaplamanın yetişkinler için yapılmış olmasıdır. Tüm yaşların ortalamasını almak, riski yarıya indirir. Diğer bir unsur, hesaplamanızın plutonyum 239 için yapılmış olması gerçeğine bağlıdır; oysa

plutonyumun tipik örnekleri, yarı ömürlerinin daha kısa olması nedeniyle yarım kilogram başına daha fazla radyoaktif olan diğer plutonyum izotoplarının bir karışımını içerir.

Bu faktörler hesaba katıldığında [26], solunan her yarım kilo için ölümler, mevcut reaktörlerden çıkan atıklar için 4.2 milyon, üretken reaktör yakıtı için 2.7 milyon ve silah tipi plutonyum için de 0.8 milyon olur. Bu bölümde değinilen çalışmaların çoğunun geçerli saydığı rakam olduğu için, basit bir ortalama olarak 2 milyonu kullandık. Değinilen tüm sonuçlar, beklenen etkileri bu iki rakamın oranıyla çarpmak yoluyla değiştirilebilir.

8. BÖLÜM

Nükleer Gücün Maliyeti - Aşıl'ın Topuğu ⁶⁹

Nükleer karşıtı etkinsicilerin önemli stratejilerinden biri de, nükleer enerjinin masraflarını, ekonomik görünmesini önleyecek hale getirene kadar artırmaktır. Bunu sağlamak için gösterdikleri beceriye hayran olmamak zordur. ABD'deki son nükleer güç santrali 1978'de tamamlandı ve o zamandan beri birkaç düzine tamamlanmamış tesisin inşaaı da, Amerikan halkına birkaç milyar dolara mal olmasına karşın durduruldu. Ancak nükleer karşıtı etkinsicilerin vurduğu son darbe, bu fiyatkonun suçunu nükleer güç endüstrisinin omuzlarına yıkarak, zaferlerini sağlamlaştırmaları olmuştur.

1970'lerin başlarında birkaç büyük nükleer santralin tanesi ortalama 170 milyon dolara mal olmuştı, ancak 1983'te tamamlanan aynı güçte bir santral, 1.7 milyar dolara çıkıyor; yani maliyet 10 kat artmış oluyor. Bu konuda enflasyonun etkisi oldu kuşkusuz; ancak, bu artışın üçte biri oranında. Peki bu büyük artışın nedeni nedir? Herhangi bir nükleer karşıtı etkinsiciye sorduğunuzda, size nedeninin nükleer sanayinin beceriksizliği olduğunu söyleyecek; ezberinden hatalar, verimsizlik, pislik ve ahmaklıklarla ilgili bir korku hikâyeleri dizisi anlatacaktır. Sonuçta da sizde, nükleer santralleri yapan kişilerin beceriksiz adamlar oldukları yolunda bir izlenim bırakacaktır. Anlatmadığı tek şey, aynı beceriksiz adamların, 1970'lerin başında güç santrallerini nasıl o kadar verimli, süratli ve ucuza inşa etmeyi başardıkları olacaktır.

Örneğin [1], Michigan'daki Consumer's Power Company, nükleer santrallerin ilklerinden biri olan, Big Rock Point'i, 27 milyon dolara mal etmişti. Santral, iki buçuk yılda tamamlandı ve o zamandan beri verimli bir şekilde çalışmayı sürdürüyor. 1976-1977 döneminde, nükleer santraller için 78, termik

santraller için de 30 gün olan, iki zorunlu kapatma arasında 343 gün çalışarak, o zaman için bir dünya rekoru kırmıştı [2]. 1971'de, aynı şirket, nükleer karşıtı etkinsicilerin de katıldığı oturumlar nedeniyle lisanslama işlemlerinin gecikmesinin neden olduğu 28 milyon dolarlık zarar da dahil edildiğinde, 186 milyon dolara mal olan ve ilkinin 12 katı kadar elektrik üretebilen Palisades güç santralini açtı. Tüm proje 4 yılda tamamlandı; ancak inşası, o güçte bir tesis için bir ulusal rekor sürede, 31 ayda bitti. İlk başlarda, hatalı donanım nedeniyle çalışması biraz aksadı, fakat 1976'dan beri oldukça iyi çalışmaktadır. Ayrıca bu santral, 1977'de ABD'deki büyük güç santralleri arasında en iyi çalışma rekorunu elde etti.

Bu beceriksizlik, bir rekor sahibi oldu. Consumer's Power, 1969'da Palisades'ten ⁷⁰ %15 daha fazla elektrik üretecek olan Midland santralinin inşasının izni için bir başvuru yaptı. Artık iyi örgütlenmiş olan nükleer karşıtı etkinsicilerin sürekli yasal tacizleri sonucu, inşaat izni dört yıl ertelendi ve takip eden iki yılda da yasal müdahaleler sebebiyle yapım birkaç kez durduruldu. İnşaat izni ile ilgili kanuni savaşlar, 1978'te ABD yüksek mahkemesi, bir alt mahkemeyi "engelleyiciliği" nedeniyle cezalandırıp, onun geçerliliği hakkında oy birliğiyle karar verene kadar birkaç yıl daha sürdü. Şu anda, 1984'te, tesisin inşaatının başlangıcından 11 yıl sonra, Palisades'ten 7.5 kat daha pahalıya çıkacağı, yani 1.4 milyar dolar maliyetle tamamlanacağı düşünülüyor.

Ondan önceki tesislerin başarısını düşünürsek, bu son tesisin yüksek maliyetini, onu yapanların beceriksizliğine bağlamak zor olur. Dahası, diğer bazı işletmelerde de benzer olaylar yaşandı ⁷¹. Nükleer santrallerin fiyatları aşırı derecede arttı. Amacımız, bunun nasıl ve neden olduğunu anlamaktır. Konuyu aşama aşama inceleyelim.

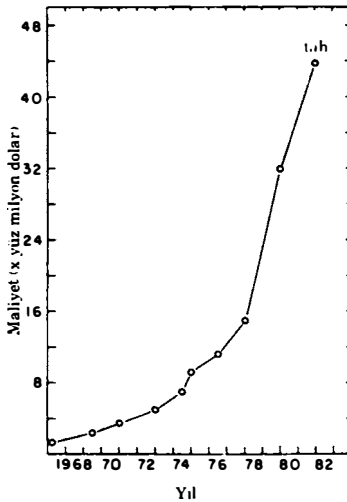
Güç Santrali İnşaat Masraflarının Anlaşılması

Philadelphia Mühendisler Birliği, mantıklı bir verimle ve o an yürürlükte olan kararnamelere uygun olarak, büyük (bir milyon kilowattlık) bir nükleer güç santrali yapmanın maliyeti

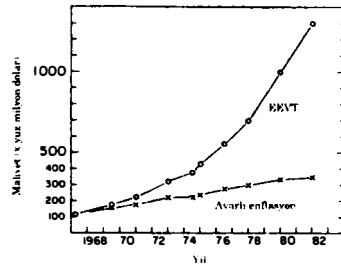
konusunda, ABD hükümetinin kuruluşlarına bağlı, ayrıntılı değerlendirmeler yapar. Onların bu değerlendirmelerini, anlayacaklarımızın ilk kısmında kullanacağız. Tahmin ettikleri toplam maliyetler, Şekil 20'de, projelerin başlatıldığı, yani tahminlerin yapıldığı tarihlere karşılık olarak gösterilmiştir. Artış, oldukça açıktır.

Bir nükleer santralin maliyeti, çalışmaya başladığı ana kadar yapılan toplam harcama olarak tanımlanmıştır. Bu, üç etkenin çarpımının sonucudur:

(1) Tüm malzemelerin ve işçilik maliyetinin proje başlandığı anda ödenmesi durumunda çıkan maliyet. Buna EEVT (enerji ekonomisi veri tabanı; EEDB: energy economics data base) denilir. Tahmini, Mühendisler Birliği tarafından yapılan; santrale giren binlerce sistemin, alt sistemin, inşaat malzemesinin, malzeme parçalarının, işçilik kategorilerinin, mü-



Şekil 20. Bir milyon kW'lık güç santralinerinin yapımına belirtilen tarihte başlanması durumunda, Mühendisler Birliği tarafından hesaplanan fiyatlar. Kaynak 3'ten.

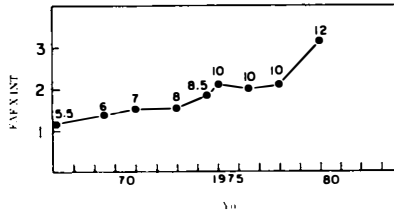


Şekil 21. Mühendisler Birliği tarafından hesaplanan, 1 milyon kW'lık bir santralin EEVT maliyeti. Tüm malzemelerin ve işçiliğin o gün karşılanması durumunda, enflasyon ve faiz etkileri dahil edilmeksizin ortaya çıkan maliyettir. Alttaki eğri, bu değerin 1967'den beri tüketici fiyat endeksine göre hesaplanan enflasyonla inşaat işçiliğinin ve malzemelerinin fiyatlarının yıllık % 2 artışının toplamına bölünmesiyle elde edilmiştir. Kaynak 3'ten.

hendislik projelerinin, vb. listelenmesini ve hepsinin fiyatlarının ulusal ortalamasının bulunmasını gerektiren oldukça yorucu bir iştir. Çeşitli zamanlarda bulunan EEVT'ler Şekil 22'de gösterilmiştir.

(2) Projenin başlangıcından itibaren fiyatlardaki enflasyonu göz önüne alan, fiyat artış faktörü (FAF). Her kalem için, kaç yıl sonra alınması gerektiğine bağlıdır: örneğin işin basit mühendisliği, projenin başlangıcından kısa bir süre sonra tamamlanacaktır ve fiyatı enflasyondan pek etkilenmez, ancak hemen yerleştirilebilen ve santral tamamlanana kadar ihtiyaç duyulmayan bir alet, 10 yıl sonra alınabilir. Eğer tahmin edilen enflasyon yıllık %12 ise, bu sürede fiyatı üç katına çıkacaktır ($1.12^{10} = 3$).

(3) Kaynakların üzerindeki faiz ödemelerini içeren bir faktör, INT (matematiksel olarak İSKÖ, "inşaat süresince kaynak ödeneği" denilen faktöre bağlıdır). Yapım için gereken tüm para borç alınmalıdır (ya da benzer, başka bir yolla elde edilmelidir); yani tesis çalışmaya başlayana kadar geri ödenmesi gereken miktar da, santralin toplam maliyetine dahil olmalıdır. Örneğin, basit mühendislik için tesis çalışmaya başlamadan 12 yıl önce ödeme yapılması gerekebilir; eğer yıllık faiz %15 ise fiyatı ($1.15^{12} = 5$) kat artacaktır. Şu noktaya dikkat edilmelidir: (3) numaralı maddeyi artıran faiz, (2) numaralı maddeyi artıran enflasyondan, normalde birkaç puan daha yüksektir; yani para sarfiyatlarının geciktirilmesi önemlidir.



Şekil 22. Enflasyon ve faiz etkenlerinin çarpımı. Bu, Şekil 20'deki toplam maliyet eğrisini elde etmek için, Şekil 21'deki EEVT'nin çarpılması gereken faktördür. Noktaların üzerindeki rakamlar, projenin tamamlanması için kaç yıl geçmesi gerektiğini göstermektedir. Kaynak 3'ten.

(2) ve (3) numaralı maddeler, FAF ve INT neredeyse sadece, inşaatın süresine ve enflasyona (uzun zaman dilimleri üzerinden ortalaması alınan faiz oranları, enflasyona göre ayarlanır) bağlıdır ve onlar arttıkça süratlice artar. Eğer hiç enflasyon olmasaydı, ya da santraller çok çabuk yapılabilseydi, bu faktörler 1.0'a çok yakın olurdu ve tesisin fiyatına hiçbir etkileri olmazdı.

Mühendisler Birliği değerlendirmelerinde kullanılan FAF ve INT'in çarpımı Şekil 22'de gösterilmiştir. Her noktanın üzerinde tesisin tamamlanması için kaç yıl gerektiği belirtilmiştir. $FAF \times INT$ 'in 1967'de inşaat süresi 5.5 yılken ve enflasyon yıllık %4 iken, 1.17 olduğunu görüyoruz. 1973'te, inşaat süresi 8 yıla uzadığında ve enflasyon hâlâ yıllık %4 iken, 1.45'e yükseldi. 1975-1978 arasında inşaat süreleri 10 yıla uzayıp, enflasyon miktarı da ortalama yıllık %7 olduğunda, 2.1'e; 1980'de, inşaat süresi 12 yıla, enflasyon da yıllık %12'ye ulaştığında da 3.2'ye sıçradı. Yani, 1980'de yapımına başlanan bir santralin maliyeti, harcamaları ve işçiliğinin *üç katından daha fazladır*; son maliyetin % 69'u enflasyon ve faizdir.

Burada değinilen enflasyon oranları, ulusal enflasyonun tespit edilmesinde sık sık başvurulana tüketici fiyat endeksine göre; örneğin, sosyal sigorta ödemeleri ve birçok sendikanın maaş ayarlamaları ona bağlıdır. TFE, projenin başlangıç tarihi için verilmekle birlikte ancak inşaat süresindeki ortalama enflasyona denk gelmelidir. Burada kullanılan türden tahminler yapmak için, enflasyonun, değerlendirmenin yapıldığı andaki oranda devam edeceğini düşünmekten başka pek bir şans yoktur. Ancak şu da kabul edilmelidir ki, enflasyonun sabit kalması durumunda santralin fiyatı, Şekil 20'de tahmin edilenin yarısı kadar olacaktır. Öte yandan 1970'lerin ilk yarısında yapımına başlanan tesisler, ilk tahminlerde beklenenden çok daha pahalıya çıktı; çünkü enflasyon, tahminlerin yapıldığı zaman beklenenden çok daha yüksek oldu. Benzer açıklamalar, inşaat süresi için de geçerlidir. Eğer bu süre 12 yıldan tekrar 6 yıl civarına indirilirse, tesisin maliyeti, enflasyonun hiç değişmeyeceği varsayıldığında, yarı yarıya düşecektir. Diğer yan-

dan, şu sıralar bitirilen tesislerin inşaatları planlanandan daha uzun sürdüğünden, maliyetleri de planlanandan çok daha fazla olmaktadır.

Şekil 20'de gösterilen, bir tesisin toplam fiyatı, Şekil 22'de gösterilen (FAF x INT) ile, Şekil 21'de gösterilen EEVT'nin çarpımına eşittir. Biz ikincisinin; tüm işçilik ve malzemenin, projenin başlangıç tarihinde alınıp, parasının ödendiği durumun tartışmasına burada girmeyeceğiz. Bu, o güne kadar yükselecek enflasyon yüzünden artacaktır kuşkusuz. Biz, bu artışın tüketici fiyat endeksini izleyeceğini varsayabiliriz, ancak inşaat işçiliğinin ve malzemelerinin fiyatları tüketici fiyat endeksininkilerden yıllık %2 daha süratli artmaktadır [4]; örneğin [5], 1973 ile 1981 arası ortalama yıllık artış, beton için %11.5, türbinler için %10.2 ve borular için %13.7 iken tüketici fiyat endeksi %9.5 idi. Yıllık fazladan %2 enflasyon hesaba katıldığında, enflasyona göre düzeltilmiş maliyet ölçeği, Şekil 21'de, aynı adla ifade edilmiş eğriyle gösterilmiştir. 1971 ile 1982 arasında iki kat artış olduğu görülmektedir; yani bu zaman diliminde, bir tesisin inşaatı için kullanılan işçiliğin ve malzemelerin miktarları ikiye katlanmıştır.

Yönetmelikleri Sıkılaştırma

1971 ve 1982 arasında, nükleer güç santrallerinin yapımında kullanılan işçilik ve malzemelerdeki iki kat artışı anlamak önemlidir. Nuclear Regulatory Commission (NRC, Nükleer Yönetmelik Komisyonu) ve ondan önce varolan Atomic Energy Commission Office of Regulation (Atom Enerjisi Kurulu Yönetmelik Dairesi), ABD hükümetinin birer parçası olarak, toplumsal taleplere açık olmalıydılar. 1970'lerin başlarından itibaren, nükleer güç santrallerinin güvenliği konusunda artan bir toplumsal ilgi oluştu; NRC de, kararnameleri ve şartları sertleştirerek, verebileceği tek şekilde tepki verdi.

Burada kesinlikle bir yanlış anlama olmasın: güvenliği her zaman daha fazla para harcayarak artırmaya çalışabiliriz. Arabalarımızda bile, emniyet için yapabileceğimiz harcamaların bir sınırı yoktur -daha büyük ve ağır arabalar, patlamaya

karşı dayanıklı tekerlekler, pasif emniyet frenleri, hava yastıkları, arka cam silecekleri ve buz çözücüleri, sis lambaları, daha fazla şok emen tamponlar, vb. Evlerin sadece yangına karşı güvenilirliği konusunu örnek gösterirsek, evlerimizde yangından korunmak için su püskürtme sistemleri ve yangın alarmlarına daha fazla para harcayabiliriz. Nükleer güç santralleri evlerimizden ya da arabalarımızdan çok daha karmaşıktır ve güvenlik için para harcayacak sınırsız seçenekler sunarlar. Artan toplumsal ilgiye cevap olarak NRC, bu seçeneklerden bir kısmını devreye sokuyor.

Bu işleme "sıkma" denmekte. Sağa sola hareket ettirilmesi-ne karşın, bir vidayı sürekli sıkıp hiç gevşetmeyen vida anahtarı gibi, yönetmelik şartları sürekli sertleştiriliyor; ek işçilik ve malzeme zorunlu tutuluyor. Bir çalışmaya [6] göre, 1970'lerin başıyla sonu arasında, elektrik üretimi aynı kalmak kaydıyla, bir güç santralinde kullanılan çeliğin ağırlığı %41, betonun miktarı %27, boruların uzunluğu %50, elektrik kablolarının uzunluğu %36 ve işçiliğin toplam süresi %50 artmıştır. Kimse NRC'nin, yetersiz deneyim ile çıkarttığı bir kararnameyi, deneyim arttığında gereğinden sıkı olduğu için iptal edildiğine tanık olmamıştır. Sıkma politikası günümüzde de devam ediyor.

Chicago bölgesine dağıtım yapan Commonwealth Edison, Zion santrallerini 1973-1974'te, santralin her kilowatt çıktısına karşılık 5.3 kişi-saat işçilikle tamamladı (yani 1 milyon kilowatt çıktı için 5.3 milyon kişi-saat). 1984-1985'te bitmesi beklenen Byron santrallerinin ise, her kilowatt başına 12.8 kişi-saate çıkacağı tahmin ediliyor [2]. Mühendisler Birliği, şu an yapımına başlanan tesisler için, kilowatt başına 23 kişi-saate ihtiyaç duyulacağını hesapladı [3].

Sıkılaştırma yönetmeliklerini hazırlarken NRC, maliyet artışına karşılık güvenlikteki artışı dengelemeye çalışarak, maliyet etkinliğine bir miktar önem verdi. Ancak NRC çalışanları, yaptıkları maliyet hesaplamalarının kaba olduğunu ve genelde gerçekçi olamayacak kadar düşük olduğunu itiraf ediyorlar. (Bu durumu biraz düzeltmek amacıyla NRC yakın

bir zamanda Maliyet Tahmin Grubu'nu kurdu.) Daha önce yapılmamış işlerin maliyetlerinin tahmini, en iyi koşullar altında bile zor ve kesin sonuç vermeyen bir sanattır. Mühendisler Birliği EEVT'si, 1980 için kilowat başına 17 kişi-saat tahmin ederken, bu 1982 için kilowat başına 23 kişi-saate çıktı; aradaki fark, yeni yönetmelik şartlarından çok [3], artan deneyimin daha önce istenilen bazı şartların 1980'de tahmin edilenden daha zor sağlandığını ortaya çıkarması nedeniyle görüldü.

Bir santrale harcanan malzeme ve işçiliğin artışına ek olarak yönetmelikleri sıkılaştırma, inşaat için gereken süreyi de uzatarak maliyeti artırdı. Mühendisler Birliği tahminlerine göre, projenin başlangıcından yere ilk kazmanın vurulmasına kadar geçen süre [7], 1967'de 16 ay, 1972'de 32 ay, 1980'de 54 aydı. Bunlar, ilk mühendislik ve tasarım çalışmalarının yapılması, güvenlik analizi ve alan bilgilerine bağlı olarak çevresel etki analizinin geliştirilmesi, yapılanların NRC çalışanları ve reaktörde güvenlik sağlanması ile yükümlü Tavsiye Komisyonu tarafından gözden geçirilmesi, bu gruplarla aralarındaki uyumsuzlukların çözülmesi, açık oturumlarda sonuçların toplumun eleştirisine sunulması; eleştirilerin yanıtlanması ve son olarak inşaat izninin alınması için gereken süredir. İlk kazmanın vurulmasından, çalışma testlerine kadar olan süre 1967'de 42 aydan, 1972'de 72 aya, 1980'de ise 70 aya çıktı.

Şekil 20'ye göre, yapımına 1982'de başlanılan bir tesisin fiyatı, 1971'de başlanılanın 12 katıdır. Kabaca, bu 12 katın 2'si artan işçilik ve malzemeye, 2'si artan inşaat zamanına, 3'ü de enflasyona bağlıdır ($2 \times 2 \times 3 = 12$). Bu katsayılardan ilk ikisinin sorumlusu olan sıkılaştırma yönetmeliği, böylece nükleer güç santrallerinin fiyatını dört kat artırdı. Yapımına 1981'de başlanan bir tesis, 1994'te tamamlandığında 4.3 milyar dolara mal olacakken, yönetmelik sıkılaştırılmasaydı, 1989'da 1 milyar dolara tamamlanabilirdi.

Yönetmeliği sıkılaştırma güvenlik açısından neler satın aldı? Sık sık dile getirilen bir bakış açısına göre *hiçbirşey*. Bir nükleer güç santrali oldukça karmaşık bir sistemdir ve karmaşıklığı-

nı artırmak, riskini artırmak demek olur. Daha fazla boru olursa, reaktörlerdeki en önemli sorunlardan biri olabilen boru kırılması için daha çok olasılık doğar. Elektrik hatlarındaki karışıklığın artması, kısa devre veya bağlantılarda bir hata için daha fazla ve bu hatanın tespiti için de daha küçük bir şans demektir. Diğer taraftan, her yeni güvenlik kararı bir güvenlik noksanlığını gidermek amacıyla alınmaktadır ve bu hedefe, kuşkusuz, ulaşmaktadır. Bu hedefe ulaşmak için artırılan karmaşıklığın sonucu olarak güvenliğin azaldığı tezinin doğruluğunu ya da yanlışlığını kanıtlamak olası değildir.

Daha basit bir soru, yönetmelik şartlarındaki artışın gerekli, haklı veya maliyet bakımından etkin olup olmadığıdır. Cevap, kişinin bu sözcükleri nasıl yorumladığına göre değişir. 1967'nin ve 1973'ün yönetmeliklerini hazırlayanlar, o zamanlarda tamamlanan ve lisanslanan santrallerin yeterince güvenli oldukları konusunda eminlerdi ve ilgili bilim adamlarının çoğu da onlara katılıyordu. Maliyeti yüzde birler mertebesinde artıran Three Mile Island kazasından alınan derslerin ön ayak olduğu gelişmeler dışında, güvenlik için daha fazla harcama yapmaya gerek duyulduğunu gösterecek hiçbir teknik gelişme olmadı. Doğrusu, yeni gelişmeler tam tersini göstermektedir (Bölüm 3'e bakınız). Son on yılda yapılan güvenlik araştırmalarının en önemli sonucu, acil durum kor soğutma sisteminin, 1973 sırasında yapılan karamsar tahminlerden çok daha iyi çalıştığını göstermesidir. İkinci en önemli sonucu ise, su içindeki radyoaktif iyotun beklenenden çok daha olumlu davrandığının saptanmış olmasıdır. Düşük seviyeli radyasyonun 1973'te düşünülen den daha zararlı olduğunu gösteren yeni bir bilgi yoktur; National Academy of Sciences (Bilimler Milli Akademisi), BEIR komitesinin risk tahminlerini biraz düşürdü ve hiçbir resmi veya etkili komite de risk tahminlerini artırmadı. Güvenlik konusunda etkisi olan en istenmeyen gelişme, basınçlı termal şok (Bölüm 3'e bakınız) konusuna duyulan ilgideki artış nedeniyle, maliyete hiçbir etkisi olmamasına karşın bakım masraflarının artmasıdır. Zaten, 1971'den bu yana üretilen basınç kapları için böyle bir durum söz konusu değildir.

Açıkça, yönetmeliği sıkılaştırma, yeni bilimsel ve teknik bilgilerce değil, toplumsal ve politik baskılarca yönlendirilmektedir. Yönetmeliklerin yeni bilgiler elde edildikçe değiştirilmesi normal bir işlemdir kuşkusuz, ancak bunun iki yönlü etkisi vardır. Sıkılaştırmanın etkisiyle, değişiklikleri tek yönde yapan, mevcut düzenleyici çalışmalar, bilimsel bakış açısından kesinlikle takdir edilmeyen anormal bir durum göstermektedir. Nükleer güç santrallerinin fiyatlarını dört katlayan unsur, kesinlikle *politik* bir olaydır.

Nükleer Güç Santrallerinin

Gerçek Maliyetleri -Yönetmelik Kargaşası

Şu ana kadar tüm anlattıklarımız, Mühendisler Birliği'nin, proje başlangıç tarihindeki tüm yönetmeliklere uygun şekilde, mantıklı bir verimle yapılacak nükleer güç santralininin fiyatı konusundaki tahminlerine dayanıyordu. Ne yazık ki, gerçek nükleer güç santralleri bu şekilde yapılmaz. Yeni yönetmelikler yayınlandıkça, inşaa halindeki tesisler, onlara uyacak şekilde değiştirilmelidir. İnşaat sırasında yapılan bu yönetmelik değişikliklerini "yönetmelik kargaşası" olarak adlandırıyoruz; nede ni de az sonra açıkça anlaşılacaktır.

Evi inşa halindeyken tasarımında önemli değişiklikler yapmaya çalışan herhangi birinin de kabul edeceği gibi, böyle değişiklikler oldukça pahalıya mal olur ve çok zaman ister; hatta bu değişiklikleri orijinal planda yapmaktan bile kat kat pahalı olur. Bir binanın duvarları dikildikten sonra, içlerine büyük miktarda donanımın konmasını gerektiren yeni yönetmeliklerin ortaya çıktığı durumlar olmuştur [8] -bazı durumlarda bu neredeyse imkansızdır ve genelde, mühendislik ödemeleri, yerleştirilmiş donanımın, boruların ve kabloların yerlerinin değiştirilmesi için çok büyük masraf gerektirir. Yeni yönetmelikler yüzünden bazı durumlarda, dökülmüş betonun yıkılması gerekmiştir ve bu çok pahalı bir sorundur.

Böyle durumlardan kaçınmak için inşaatçılar, bir güç santralinin içinde, belki de hiçbir zaman olmayacak yönetmelik değişiklikleri için, gerekmeyen yerler yaparlar. Bu da maliyeti artırır.

İnşaat sırasında planların sık sık değiştirilmesi, hatalara yol açabilen, akıl karıştırıcı bir işlemdir ve hatalar da pahalıya mal olabilir. Diablo Canyon santrali, böylesi bir hata bulunduğu anda işletime hazırdu ve bu durum, aylarca gecikmeye neden oldu. %16 faizle borç alınan bir parayla yapılan 1.5 milyar dolarlık bir tesisin, işletimindeki gecikme, yıllık (1.5 milyar dolar x 0.16 =) 240 milyona, günlük 650,000 dolara mal olur.

Gecikme böylesine pahalı olduğu için de santral yapımcıları, genelde oldukça lüzumsuz olabilecek şeyler yapmayı tercih ederler. İnşaat işçileri, her ne pahasına olursa olsun, grev yapmamalıdır. Long Island'da, basında geniş yer almış bir olayda, üreticinin gönderdiği borular istenilen ölçüde değildi; onları iade edip zaman kaybetmektense, borular inşaat alanında istenilen ölçülere getirildi ve bu da maliyeti artırdı.

Bazı santrallerin fiyatlarının yükselmesindeki önemli bir etken de, oldukça iyi örgütlenmiş "müdehaleciler" in muhalefetine neden olduğu gecikmelerdir; bunlar, inşaatı geciktirmek amacıyla oturumları ve yasal stratejileri kullanan gruplardır. Midland (Michigan) santralının inşaatı, bu bölümde daha önce anlatıldığı gibi, bu yolla, üç yıl durduruldu, sonra birkaç kere daha geciktirildi ve sonunda tesisin maliyeti iki katına çıktı [1]. Aynı kuruluşun daha önce yaptığı Palisades santralinde, daha fazla gecikme olması yerine, 186 milyon dolarlık tesise, müdehalecileri tatmin etmek için 29 milyon dolarlık bir de ek yapıldı.

Long Island'daki Shoreham santrali, inşaat izni için yapılan oturumları bir sirke çeviren müdehaleciler tarafından 3 yıl geciktirilmişti [3]. Buna, yüksek lisans ve doktora yaptığını iddia eden bir sahtekarın, günler boyunca oturumları oyalamak ve basını dikkatini çekmek için gazete ve dergilerden yüksek sesle bölümler okuması ve aşırı uzun süren "karşılaştırmalı incelemesi" de dahildir.

New Hampshire'daki Seabrook santrali, müdehalecilerin etkinlikleri nedeniyle iki yıllık bir gecikmeye tabi tutuldu [9]. Gecikmenin maliyeti, 1978'de 419 milyon dolar olarak tahmin ediliyordu; o zamandan beri beklenmeyen yükseklikte enflasyon oranından dolayı, bu maliyet çok arttı. Müdehalecilerin yol açtığı gecikmeleri de yönetmelik kargaşalarına dahil etmek

adil gözüküyor; çünkü bu gecikmeler, yönetmeliklerin gerektirdiği işlemler sırasında oluyor.

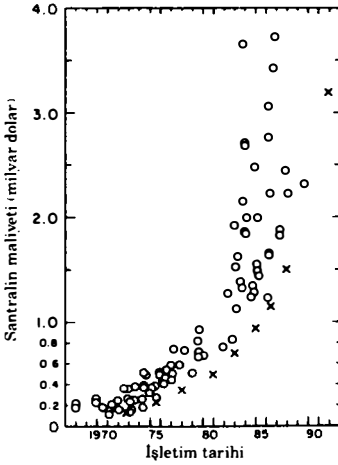
Fiyat artışının oldukça farklı bir kaynağı, kurumlara para akışında yaşanan sorunlardır. Bir projeye başladıklarında kurumlar, teknik planlar kadar mali planlar da yaparlar. Eğer mali ihtiyaçlar planlananı çok aşarsa, inşaat programına devam edebilmek için fazladan para bulmakta genellikle zorlanırlar. Böylece inşaatı yavaşlatır, ya da geçici olarak durdururlar; bu da tesisin son fiyatını oldukça yükseltir. Masrafları oldukça artıran bu durum da, yönetmelik kargaşasına bağlıdır.

Fiyat artışının son bir nedeni de, inşaatçıların hatalarıdır. Bu, nükleer karşıtı etkinsilerinin, bize asıl neden olarak göstermeye çalıştıkları durumdur. Ancak, 1960'larda ve 1970'lerin başlarında santralleri verimle ve başarıyla yapanlar, aynı inşaatçılardı. Bu kadar deneyim edindikten sonra beceriksizleştiklerine inanmamız mı bekleniyor? Hatalar yapıldığına kesinlikle inanıyorum -inşaat sırasında her zaman hatalar olmuştur ve her zaman olacaktır. Eğer hatalar sıklaştıysa, bunları yönetmelik kargaşalarına, tasarımda sürekli yapılan değişikliklere bağlıyorum.

Özetle, Şekil 20'de gösterildiği gibi, nükleer santrallerin fiyatlarının projenin başlatıldığı sırada yapılan tahminlerden daha yüksek olmasının bir sürü nedeni vardır. Beklenmedik yükseklikte enflasyon dışındaki nedenlerin neredeyse tümü yönetmeliği sıkılaştırma ve yönetmelik kargaşası yüzünden yaratılmıştır.

Gerçek Fiyatlar

ABD'deki nükleer güç santrallerinin gerçek fiyatları [10] (bir milyon kilowatt güce göre), Şekil 23'te tamamlanma zamanına karşılık olarak çizilmiştir. Orada çarpımla gösterilenler de, Mühendisler Birliği'nin proje başlangıcındaki tahminleridir. Örneğin, 1978 için olan çarpı, Mühendisler Birliği'nin, 1971'de inşasına başlanan ve yedi yılda biteceği düşünülen bir santral için yaptığı çalışmanın karşılığıdır. Gerçek fiyatların tahminlerden yüksek olmasının nedeni, bir önceki kısımda



Şekil 23. Ticari işleme başladıkları tarihe karşılık olarak nükleer güç santrallerinin (her milyon kilowatt başına) gerçek fiyatları (Kaynak 10'dan). Çarpılar, Şekil 21-23'te kullanılan Mühendisler Birliği verilerinin, tahmini bitiş zamanı için gösterdikleri sonuçları belirtmektedir.

anlatılanlar ve proje başlangıcındaki tahminlerden daha yüksek olan enflasyondur.

Şekil 23'ün çarpıcı bir özelliği, iki tesisin fiyatlarındaki büyük farklılıklardır. ABD'de yapılan nükleer santrallerin neredeyse tümünün tasarımı farklıdır. Bu, nükleer gücün, teknik gelişmelerin sık olduğu, genç ve değişken bir sanayi olması yüzündendir. Bir noktaya kadar da, tasarımların bu kadar sık değiştirilmesine neden olan yönetmelik sıkılaştırmasına bağlıdır.

Her tesisin fiyatının farklı olması, tasarımlardaki farklılıklardan başka sebeplere

de bağlıdır. İşçilik fiyatları ve işçilerin üretkenliği, ülkenin her yerinde değişmektedir. Bazı inşaatçılar, yönetmeliğin sıklaştırılmasına karşı iyi hazırlanmışlardır [11]; bazıları NRC'yle kurdukları yakın ilişki yoluyla, çıkacak yeni yönetmelikleri tahmin ederken, diğerleri açık ilanları beklemektedir. Koruma kabuğu için çok çeşitli tasarımlar vardır ve iç hacimleri küçük olanlar, yeni yönetmeliklerin istediği malzemeleri içeri koymakta daha fazla zorlanmaktadırlar. Bazı santrallerin tamamlanması müdahaleciler tarafından geciktirilirken, bazılarında müdahale olmamıştır. Para akışı sorunlarına bağlı olarak, bazılarında da inşaat gecikmeleri olmuştur. Three Mile Island kazasının olduğu sıralarda bitmek üzere olan tesisler, NRC'nin bu olaydan aldığı dersleri inceleyip, onlara karşı nasıl önlemler alınması gerektiğini düşünmesi nedeniyle iki yıl kadar gecikmişlerdir. Bunlar, Şekil 23'teki büyük fiyat farklılıklarına yol açan sebeplerden birkaçıdır.

Fiyatlar, sadece Mühendisler Birliği'ninkinden yüksek olmakla kalmayıp, inşaat süreleri de artırmıştır -zaten bu da fiyatların yükselmesi için bir sebeptir. 1981'de biten dört Amerikan nükleer güç santralının aslında 1973-1976 arasında bitmesi gerekiyordu; santrallerin yapımı 1960'ların sonlarında, Mühendisler Birliği'nin 5-6 yıllık bir sürede tamamlanacaklarını düşündüğü sırada başlamıştı [13]. Kısaca, yeni biten santrallerden alınan dersler, fiyat bakımından bir facia yaşandığını ve birkaç yıl içinde tamamlanacak santraller için durumun daha da kötü olmasının beklendiğini gösteriyor.

Şekil 23, 1971 ile 1983 arasında tamamlanan santrallerin ortalama fiyatlarının 10 kat arttığını göstermektedir. Bu sırada tüketici fiyat endeksi 2.5 kat yükselmiştir ve inşaat masraflarının tüketici fiyat endeksi artışına ek olarak yılda %2 artması, bu katsayıyı 3.2'ye yükseltmektedir ve bundan enflasyon sorumludur. Geriye kalan $(10 \div 3.2 =)$ 3.1'lik katsayı da yönetmeliği sıkılaştırmanın doğrudan ya da dolaylı bir sonucudur.

Şu anki mali koşullarla, hiçbir kurumun yeni bir nükleer güç santrali ısmarlamaya gücü yetmez. Mühendisler Birliği'nin Şekil 20'deki tahmini kabul edilse bile maliyet, birçok kurumun altından kalkabileceğinden daha yüksek olacaktır. Mühendisler Birliği'nin düşük tahminleri ve bunların geçen kıssımda anlatılan açık nedenleri de maliyetin çok daha yüksek olabileceği korkusuna neden olmaktadır. Dahası, tesisin tamamlanması için gereken süre Mühendisler Birliği değerlendirmelerine göre 12 yıldır (Şekil 22) ve bu değerlendirmelerin tarihi, sürenin çok daha uzun olabileceğini göstermektedir -bu, bir ticaret girişimcisinin mantıklı planlamalar yapabilmesi için çok uzun bir süredir. 1978'den beri neden yeni nükleer santrallerin yapılmadığı ve ısmarlananlardan da neden vazgeçildiği açıkça görülmektedir. Nükleer karşıtı etkinsiler, nükleer gücün gelişmesini durdurarak, savaşı kazandılar. Şu an son aşamalarındaki santraller tamamlanacak; ancak büyük değişiklikler olmadığı sürece bu ülkede yeni santral yapılmayacaktır.

Diğer taraftan, eğer sıkılaştırılmış yönetmeliklerin en ağır maddeleri değiştirilebilse, inşaat süresi 6-8 yıla inecek ve mali-

yet yarıya düşecektir. Bu durumda nükleer güç, elektrik üretmek için en ucuz teknoloji olarak oldukça çekici bir hale gelecektir. Hikayemizin kötü adamı, sıkılaştırılmış yönetmelik ve buna bağlı yönetmelik kargaşasıdır.

Diğer Ülkelerdeki Durum

Nükleer gücün ABD'deki gelişimi, 1970'lerin ortalarından beri fırlayan fiyatlar ve uzayan inşaat süreleri dolayısıyla durma noktasına geldiyse de, dünyanın diğer bölgelerinde durum farklıdır. Sovyetler Birliği, her yıl sekiz güç reaktörü sistemi üretebilecek, dev Atommash fabrikasyon tesisini devreye soktu [14]. Fransa, 1979'da yedi, 1980'de bir ve 1981'de altı reaktörün yapımına başladı ve bunları altı yıl içinde devreye sokmayı hedefledi [13]. 1981'de Fransa'da 12 nükleer güç santrali, (zeminin kazılmaya başlamasını takiben) ortalama altı yıllık bir inşaat süresi sonrasında işleme açıldı; bu arada ABD'de 1980 ve 1981'de toplam 6 santral ortalama 10.5 yıllık inşaat süresinin ardından devreye girdi. Fransız tesislerinin yapımı 1974-1975'te, ortalama 500 milyon dolar (her milyon kilowat başına) [11] maliyetle başlamıştı; o sıralarda inşaatı başlayan hiçbir Amerikan santrali henüz tamamlanamadı, ancak bittiklerinde 1,5 milyar dolara (1981 rakamlarıyla 1,1 milyar dolara) mal olacaktırlar. Resmi bir Fransız hükümeti tahminine göre yakın gelecekte yapımına başlanacak tesisler, 700 milyon dolar tutacak [15]; fakat ABD'de benzer tesisler 1,7 milyar dolara mal olacaktır [16] (iki değer de 1981 dolar kuruna göre dir).

Şuna da dikkatinizi çekmek isterim: Fransız santralleri Westinghouse'dan alınan lisansa göre Amerikan tasarımıyla yapılmakta ve sık sık Amerikalı inşaat yöneticileri kullanılmaktadır. Ben, Fransız reaktörlerinin Amerikan reaktörlerinden daha az güvenli olduğu yolunda hiçbir iddia duymadım. Fransızlar, reaktör ihracatı konusunda da aktiftirler; 1981'de dış ülkelere dört reaktör sattılar [14]. 1970'lerin başında uluslararası pazarın %70'ine hakim olan Amerikan üreticiler ise hiç satamadılar. 1981'de Fransa'nın elektriğinin %38'i nükleer güçten sağlanıyordu (ABD'deki %13'e karşın) ve 1985'te bu

oran neredeyse %60'ı bulacaktır. Japonya, nükleer güç kervanına geç katılanlardan biridir, ancak çok süratli çalışmıştır. 1979'den beri tamamlanan altı santralin ortalama inşaat süresi yedi yıl oldu [13]. Almanya, nükleer karşıtı etkinsilerden gelen büyük bir muhalefetle karşı karşıya kaldı; fakat 1982'de üç yeni tesise başladı.

Her ülkede nükleer karşıtı etkinsiler vardır; ancak bu gruplar diğer ülkelerin hiç birinde Amerika Birleşik Devletleri'ndeki kadar başarılı olamadılar. Uzun bir kargaşa döneminden sonra Fransızlar, hükümetlerini etkinsi gruplardan gelecek baskılara karşı güçlendirdiler. Ruslar'ın karşısında ise mücadele etmeleri gereken böylesi bir baskı yoktu. Görünen şudur ki, bu ülkeler, en sonunda, dünyanın en ucuz elektriğini kullanırlarken, ABD büyük endüstrileşmiş uluslar arasında en pahalı elektriği kullanan ülke olacaktır. Çok uzun zamandır geçerliliğini sürdüren, ABD'nin en ucuz enerjiye sahip olması gerçeği de tersine dönecektir. Birçok iktisatçı, bu ülkenin geçmişteki ekonomik başarısıyla ilgili olarak yapılması gereken birçok şey olduğuna inanmaktadır. Eğer haklılarsa, 1990'larda başlayacak zor günlere doğru ilerliyoruz demektir. Yirmi yıl önce, Krushev'in, Rusya'nın Amerika Birleşik Devletleri karşısında öngörülen ekonomik yükselişine dayanan "sizleri gömeceğiz" şeklindeki tehdidine gülüyorduk. Ne var ki Krushev, son gülün olabilir.

Politik Savaş Kaybedildi

Eğer yönetmeliğin sıkılaştırılması nükleer gücün ABD'de yaygın kullanımının durdurulmasına neden olduysa, doğal olarak yönetmelik sınırlamalarından kimin ya da neyin sorumlu olduğunu sorabiliriz? Bunun yeni teknik ve bilimsel gelişmeler nedeniyle *olmadığını* gösterdik; tersine yeni bilgiler olumlu etki yapmıştır ve yönetmeliklerde bir *gevşetme yapılmasını* önermektedirler. Yönetmelikleri sıkılaştırmanın ardındaki neden, açıkça politik arenada yatmaktadır. Bu, nükleerle ilgilenen bilim adamlarının (mühendisler ve diğer teknoloji uzmanları da dahil olmak üzere), nükleer karşıtı etkin-

cilerin karşısında ezici bir politik yenilgi almalarının sonucudur. Bu konuyla ilgili olarak kendi şahsi bakış açımı aktarmak isterim

İlk olarak savaşta rol alan kişileri tanıyalım. İki taraf, bütünüyle farklı türden kişilerden oluşmaktadır. Bir nükleer karşıtı etkincinin hayatındaki en büyük ilgi alanlarından biri, politik savaşlarken; nükleerle ilgilenen bilim adamlarının büyük bir çoğunluğunun, politik savaşlar konusuna hiçbir ilgisi veya eğilimi yoktur; varsa bile bu konuda pek yetenekli veya eğitilmiş oldukları söylenemez. Nükleer karşıtı etkinsiler üniversitelerde yazı becerisi, tartışma ve sosyal psikoloji konusunda dersler alırken, nükleerle ilgilenen tipik bir bilim adamı matematik, radyasyon fiziği ve moleküler biyoloji konusunda eğitim görür. Mezuniyetten sonra nükleer karşıtları, politik kampanyalara, çevreci etkinliklere ve Vietnam savaşı karşıtı protestolara katılarak (bunların önemli nedenleri olmadığını ima etmiyorum) konuşma konusunda deneyim kazanırlarken; nükleer-ciler, nötron taşınımı veya radyasyonun kanserojen etkileri konusundaki matematiksel karmaşıklıklarla uğraşarak ya da güç santrali tasarımı üzerine çok çeşitli sorunlara çözüm bulmaya çalışarak bilimsel deneyim kazanırlar. İlk grup, politik bağlantılar kurarken ve basın ile ilişkilerini sıkılaştırmak konusunda bilgi depolarken; diğeri politik çevreler ve basın ile ilişki kurmayı düşünmeksizin, laboratuvar veya alan sorunlarına gömülmüştür bile. Bu safhada birincisi, yeni savaş alanları arayıp ikincisine saldırmaya karar verir; bu, aslanın koyuna saldırması gibidir.

Nükleerle ilgilenen bilim adamları, güç santrallerinde olması gereken güvenlik önlemleri ve radyoaktivite yayılımlarının yaratabileceği sağlıksal etkiler gibi sorunlar üzerinde uzun süre uğraşırlar. Tüm tezler, herkesin görmesi için yayınlanmıştı. Savaşta cephaneye yapmak üzere bu bilgiyi almak, belli bir şekilde düzenlemek ve çarpıtmak, nükleer karşıtı etkinsilerin pek zamanını almadı. Tartışma ve politik savaşlar konusunda uzmanlaşmış biri buna hazırdır. Bu cephaneye savaşta saldırıya başladıklarında, nükleerle ilgilenen bilim adamları önce bu

saldırıların vahşiliğine güldüler; ama kahkahalar pek uzun sürmedi. Bu saldırıların yersiz olduğunu bilimsel ve teknik bilgilerle kolayca açıklayabiliyorlardı, ancak kimse onları dinle-miyordu. Saldırganların komik saldırıları anlatım konusunda-ki dikkate değer becerileriyle süslendiğinde, basın ve bilimsel bilgiye ya da deneyime sahip olmayan diğerleri için çok daha çekici hale geliyordu. İnsanlar bilim adamlarını dinlemek iste-diklerinde, saldırganlar kendi tezlerini sunuyorlardı -her za-man herhangi bir bakış açısını temsil edebilecek birkaç kişi bu-labilirsiniz ve onların, bilimsel topluluğun küçük bir azınlığını temsil ettiğini de ne yazık ki kimse bilmez. Nükleer karşıtı et-kinciler, kim oldukları ve kime saldırdıkları konusunun açığa kavuşmasına asla izin vermediler. Savaş, bilimsel konuda ca-hil olan politik etkinsicilerin nükleerle ilgili bilim adamlarına saldırısı olarak *tanınmadı*; oysa gerçek durum budur. Yerine, “çevrecilerin” -bu isim ne kadar güzel, tatlı ve saf bir ifade taşı-yor- halkın sağlığı ve güvenliği pahasına para kazanmak iste-yen büyük iş çevrelerine (nükleer endüstriye) saldırısı olarak gösterildi. Jane Fonda, nükleer alanında çalışan bilim adamlarıyla görüşmeyi reddetti; dediğine göre, şirket yöneticileri, onun düşmanlarıymış.

Bozgun, çabuk ve kesin oldu. Gerçekte, nükleerle ilgili bilim adamları savaş alanına bile çıkamadılar. Savaş alanı, toplum-sal görüşü tek başına etkileyebilecek güce sahip olan basındı. Basın kurumu, saldırganların hikâyesini, oltasını, misinasını ve kamışını yutarak onların müttefiki oldu. Açıkça ve sürekli olarak nükleer karşıtı etkinsicilere yer verdiler; ancak nükleerle ilgili bilim adamlarına asla şans tanımadılar. Bu tek yönlü pro-pagandaya sürekli maruz kalan toplumu yavaşça, ama emin bir şekilde elde ettiler. Buna ilişkin bazı ayrıntılar, önceki bölümlerde anlatılmıştı -toplumun radyasyon korkusundan nasıl çıl-dırarak duruma geldiği (bkz. 2.Bölüm); nükleer gücün kendile-rini öldürmeye, iyi tanınan katiller olan motorlu taşıt kazaları, sigara ve alkolden daha eğilimli olduğu gibi açıkça yanlış bir fikre nasıl inandırıldığı (bkz. 1. ve 4. Bölümler); gerçekte çok basit bir işlem olan nükleer atığın gömülmesinin, dünyanın ço-

zümlenememiş en büyük sorunlarından biri olduğu (bkz. 5 ve 6. Bölümler); bu konuda bilgi sahibi olan kaynakların söylediklerine karşın, Three Mile Island kazasının bir faciaya çok yaklaştığı (bkz. 3. Bölüm) ve dahası. Nükleer güçle ilgili herşey konusundaki korkular, diğer riskler konusunda sahip olunan korkulardan çok daha yükseklerle çıkarıldı (bkz. 4. Bölüm). Hitler'in adamı Goebbels, propagandanın neler yapabileceğini göstermişti; ancak nükleerle ilgili bilim adamları, hiçbir zaman propagandanın, bilimin akılcılığı karşısında başarı kazanabileceğine inanmamıştı. Ne var ki korkulan başa gelmişti. Nükleer karşıtı etkinsilerin zaferi kesindi. Muhafazakar işadamlarının, ağırbaşlı ev kadınlarının bile fikirleri değiştirildi ve onlar da çevrecileri destekler hale geldiler. Ben ve benim gibi nükleerle ilgili birkaç bilim adamı karşı saldırı yapmaya çalışıyoruz -bu kitap benim kavgaya devam ettiğimi gösteriyor- ancak basına çıkmadan yapabileceğimiz pek birşey yoktur. Geçtiğimiz sekiz yıl boyunca, yılda herkese açık 40 ders verdim, beni davet eden tüm gruplarla konuştum. Bu kadar yorucu çabayla 4,000 kişiye ulaşmış olabilirim, ancak bir TV programı 40 milyona ulaşıyor ve bu da onbin kat daha yüksek bir rakamdır. Onlar dinleyiciye hakim olma konusunda profesyoneldirler; büyük bütçeleri, bolca personelleri ve inanılmaz tesisleri vardır. Böylesi güçlere karşı bilimsel gerçeklerin ne kadar şansı olabilir?

Amerikan halkının zihniyeti için verilen savaşı kazandıklarından nükleer karşıtı etkinsiler, kontrolü ellerinde tutuyorlar. Ralph Nader bir mektup yazdığında Nuclear Regulatory Commission (Nükleer Yönetmelik Komisyonu) irkiliyor. Politik güç gerekli bile olmuyor. Basın ve toplum kapıyı yumruklarken, NRC'nin yönetmelikleri sıkılaştırmaktan başka hiçbir şansı yoktu. Nükleer karşıtı etkinsiler savaşı kazandılar ve yağmalama hakkı da fatihe aittir. Sonuç olarak nükleer bilimin, halkımızın o kadar ihtiyaç duyduğu ucuz ve bol enerjiyi sağlamasına engel olundu. Bu, onların özlemle bekledikleri hedefleriydi ve elde ettiler. Çocuklarımız ve torunlarımız onların kalpsiz oyunlarının kurbanları olacaklardır. Shakespeare, "gerçek ortaya çıkacaktır" dediğinde, günümüz basınının gücünü düşünmemiştir.

Kilowat Saat Başına Maliyet

Bir güç santralının ürettiği elektriğin maliyeti, tesisin ilk maliyetinin yanısıra birçok şeye dayanır. Bunlar rahatlıkla üç grupta toplanabilirler:

- **Sabit ödemeler:** Santralin ürettiği elektrik miktarına bağlı değildirler. Örneğin tesisin inşaat masraflarının geri ödenmesi, santralin ömrü boyunca bir ya da iki kere yapılması gereken bakım harcamaları, sigorta, vergiler, kurum hissedarlarının payları ve tesisin hizmet dışı bırakılması gibi. Sabit ödemeler, kâr da dahil olmak üzere, tesisin verimli ömrünün sonuna doğru tüm bu masrafları yılda bir ödeyeceği düşünülerek belirlenir. (hizmet dışı bırakılması gibi, tesisin kullanım süresinin sonlarında yapılan masrafların da bu ödeneğe dahil olduğu varsayılır.)

- İşletme ve bakım, genelde personele ödenen aylıklardır; ancak malzemeleri, donanımları ve dış hizmetleri de içerirler.

- Yakıt harcamaları, yakıtın alınmasını, kullanılmış yakıtın ve onun yarattığı atığın işlenmesini kapsar.

Bu üç harcamanın bir yıllık toplamı, santralin o yıl ürettiği kilowat saat (kW-saat) cinsinden elektrik enerjisine bölünerek tüketicinin her kW-saat için ödemesi gereken miktar bulunur (bu santraldeki masraf/kW-saat'tir; p dağıtım masraflarını içermez).

1982'nin ortasına doğru U.S. Energy Information Administration tarafından (EIA: ABD Enerji Enformasyon Dairesi) yapılan analize göre [16], o gün yapımına başlanacak ve 1995'te tamamlanacak bir nükleer santralde elektriğin fiyatı

Sabit Ödemeler:	2.9 cent/kW-saat
İşletme ve Bakım:	0.5 cent/kW-saat
Yakıt:	0.85 cent/kW-saat
Toplam:	4.3 cent/kW-saat

olur ve tüm fiyatlar 1980 dolar kuruna göredir. Bir yapı şirketinin iktisatçısı da, [5] benzer bir sonuç elde etmektedir². Bu, 4.3 cent/kW-saat şeklindeki maliyeti anlayabilmek için

ABD'deki elektriğin masraf/kW-saat tarihini bir gözden geçirelim. Maliyet, elektriğin ilk kullanılmaya başladığı 1880'lerden, 1.9 cent/kW-saat alt sınırına vardığı 1970'e kadar düzenli bir şekilde düştü (doların 1980 kuruna göre). 1976-1977'de nükleer güç için 2.1 cent/kW-saat'e, kömür için 2.4 cent/kW-saat'e yükseldi ve 1980'e varıldığında, sırasıyla 2.3 cent/kw-saat ve 2.5 cent/kw-saat'e tırmandı. (Yeni bitmiş Fransız nükleer güç santralleri, elektriği [18] 1.7 cent/kW-saat'e üretiliyorlar. [doların 1980 kuruna göre]). Yukarıdaki EIA tahmini, bugün yapımına başlanan ve 1995'te tamamlanacak olan bir nükleer santralin şu anki miktarı ikiye katlayacağını gösteriyor. Avrupa Ekonomik Topluluğu [19] tarafından yapılan bir çalışmaya göre, tipik bir örnek olarak 1982'de yapımına başlanan ve 1990'da tamamlanacak olan bir santral (aynı zamanda inşaatına başlanan bir Amerikan santralinden 5 yıl kısa sürede), 1980 dolar değerine göre, elektriği Fransa'da 2.3 cent/kW-saat, İtalya'da 2.2 cent/kW-saat, Belçika'da 2.8 cent/kW-saat ve 3.1 cent/kW-saat masrafla üretecektir. Burada yine, ABD'de elektriğin en ucuz olması durumunun tersine döndüğünü görüyoruz.

Yukarıdaki tablodan elektriğin maliyetinin 2/3'ünün, çoğu tesisin yapımında esas alınan sabit ödemelerden kaynaklandığını görüyoruz. Bu konuda suçlunun, yönetmeliği sıkılaştırma olduğuna karar vermiştik. Ancak yönetmelikleri sıkılaştırma başka yollarla da maliyeti etkilemektedir. Yönetmelikler, kontroller veya değişiklikler için santralin sık sık kapatılmasını şart koşmak yoluyla, bir santralin ürettiği yıllık kilowat saat miktarını düşürmektedirler. Bu da oransal olarak masraf/kW-saat'i artırmaktadır. Yönetmeliği sıkılaştırmanın bir etkisi, santrallerde çalışan iş gücüne olan ihtiyacı artırmak şeklinde oldu; bu da, işletme ve bakım harcamalarını doğrudan artırmaktadır. Burada kötü adamın yine, nükleer enerjinin fiyatını yükselten; öncülüğünün yapıldığı ve geliştirildiği ABD'de, dünyanın diğer endüstrileşmiş ülkelerindekine oranla daha pahalı olmasına neden olan sıkılaştırılmış yönetmelikler olduğunu görüyoruz.

Nükleer Maliyetlerine Karşılık Kömür Maliyetleri

ABD elektrik fiyatını rekabet edilebilir halde tutmak için olası bir çözüm, kömür yakan santraller yapmaktır. Bunun sağlık açısından zararlı olduğunu göstermiştik -bir nükleer santral yerine yapılan her bir termik santral (her yıl yaklaşık on kere oluyor), birkaç yüz insanı daha, vaktinden önce ölmeye mahkum etmektedir; ancak nükleer karşıtı etkinsiler yılda birkaç bin vaktinden önce ölümüne neden oldukları için pek rahatsızlık duymuyorlar. Belki de bu sonuç, nükleer güç reddedildikten sonra ülkemizi ekonomik açıdan rekabet edebilir kılmak için o kadar büyük bir bedel değildir.

Ancak ne yazık ki, kömür yakan santrallerin elektriğinin fiyatı, neredeyse nükleerinki kadar süratli artmaktadır. İnşaat masrafları, kirlilik önleyici donanım eklendikçe artmakta ve eklenen bu donanımların işletimi ve bakımı da pahalıya çıkmaktadır. Yakıt fiyatları, yani kömürün fiyatı da enflasyondan etkilenmektedir. EIA tahminlerine göre [16] kömürün fiyatı her yıl enflasyondan (tüketici fiyat endeksi) %3.3 daha süratli artmaktadır. 1980 dolar kuruna göre, 1995'te işleme geçen bir termik santralin masraflarının dağılımı şöyledir:

Sabit Ödemeler:	1.7 cent/kW-saat
İşletme ve Bakım:	0.4 cent/kW-saat
Yakıt:	2.2 cent/kW-saat
Toplam:	4.3 cent/kW-saat

Bunun nükleer enerjinin fiyatıyla aynı olduğunu görüyoruz. Yapım şirketinin analizi ise, kömür için masraf/kW-saat oranını nükleer enerjiden %13 daha yüksek buldu. Yani kömür, bizim, elektriğin fiyatıyla ilgili ekonomik sorunumuzun bir çözümü değildir.

İnşaatına aynı anda başlanan termik ve nükleer santrallerin fiyat karşılaştırmalarını gösteren birçok analiz yapılmıştır. Bu, yeni bir güç santrali yapmaya karar vermiş bir kurum için oldukça uygun bir sorudur. Kiraladıkları ekonomik danışma firmalarının, yatırımlar konusundaki kararlarında yardımcı

olmak üzere uzmanlık sağlayan bankaların ve kurumların kendi yaptıkları analizler mevcuttur. Hepsi, 1970'lerin başından bu yana nükleer gücün tutarlı bir oranda daha ucuz olduğunu bulguladılar. Örneğin, Tennessee Valley Authority (TVA) ABD'deki en büyük elektrik kurumudur. Sağladığı kârlar (sağlarsa), ABD hazinesine gitmektedir. TVA yıllarca nükleer gücün kömüre karşı olan fiyat avantajlarını incelemek üzere büyük ve etkin bir çaba sarfetti ve sürekli nükleer enerjinin kömürden daha ucuz olduğu sonucuna vardılar. EIA'nın 1982'deki analizi, kömür ve nükleer gücün fiyat bakımından eşit olduğunu bulan ilk çalışmaydı; daha önceki çalışmalar, nükleer gücün daha ucuz olduğu sonucunu veriyordu [4].

Bildiğim tek istisna, kurumlar için değil nükleer karşıtı etkinci örgütler için çalışan Charles Komanoff'tur [20]. Kendisi, geçmişteki deneyimine de ters düşen bir tavırla, sürekli olarak, analizi sırasında yapımına başlanan termik santrallerin, nükleer güçten daha ucuz olacağını iddia etti. Sonuçları normal olmayan varsayımlara dayanıyordu [21]. Geçmiş deneyimler tersini göstermesine karşın santrallerde gerçekte üretilen elektriğin, sürekli tam güçte çalıştıklarında üretecekleri elektrige oranı olan kapasite faktörlerinin, geçmiş deneyimler tersini göstermesine karşın termik santrallerde nükleer santrallerden daha yüksek olduğunu varsaydı. 1976'daki analizinde, tüm diğer analizlerin nükleer için büyük bir fiyat avantajı saptadıkları zamanda, nükleer santraller için farklı olarak kapasite faktörü değerini %48 varsaydı, ancak 38 nükleer santralden 36'sı bu değeri geçiyordu. Termik santraller için veri tabanındaki 93 santralden 86'sının kapasite faktöründen yüksek olan %73 değerini kullandı. 1980'deki analizinde, diğer analizlerden fiyat avantajı konusunda nükleer için %60, kömür için de %70 değerlerini kullandı. Komanoff'un çalışmalarında tarafsız olup olmadığı konusunda kuşku duyulmaması olanıksızdır.

Komanoff, nükleer santraller için yönetmelik sıkılaştırmanın, termik santrallerde karşılaştırılabilir etkisi olmaksızın, devam edeceğini varsaymakta; gelecekte bir ton kömürün fiyatında pek bir artış olmayacağını düşünmektedir. Komanoff,

bu işle uzun süredir uğraşan profesyonellerin şiddetle reddettileri birçok analitik yöntem kullanmaktadır.

Ben, profesyonel bir ekonomist olmadığım ve ekonomik bir analizin ayrıntılarını dikkatlice incelemediğim için, bu soruna yaklaşımım, kime inanılması gerektiğini açıklığa kavuşturmak şeklinde olacaktır. Komanoff'un bakış açısının ekonomi uzmanlarının birçoğuna ters düşüyor olması gerçeği beni etkiliyor. Ekonomi uzmanları, milyarlarca doları nasıl harcamak gerektiği konusunda çalışırken, Komanoff'un analizlerinin sadece politik amaçlarla kullanılıyor olması beni daha da çok etkiliyor.

Kurumların, nükleer enerjiden daha fazla kâr sağladıkları için onu tercih ettikleri yolunda iddialar vardı; ancak bu, TVA ya da belediyelerin sahip olduğu kurumlar gibi, kâr amacı gütmeyenlerin verdiği sonuçları açıklamaz. Bu kesinlikle, Sovyetler Birliği'nin ve diğer komünist blok ülkelerinin, dünyanın en büyük kömür kaynaklarına sahip oldukları halde neden nükleer güce döndüklerini de açıklamaz. Birçok Batı Avrupa güç santrali, hükümetler tarafından yapılmakta ve hükümete ait olmaktadır.

Nükleer gücün kömüre karşı ekonomik üstünlükleri konusunda Avrupa Topluluğu'ndan daha fazla destek gelmektedir [18]. AET, 1990'da tamamlanacak santraller için, nükleerin kömürden Fransa'da 1.7 kat, İtalya'da 1.7 kat, Belçika'da 1.3 kat ve Almanya'da 1.4 kat daha ucuz olduğunu bulgulamıştır. Bu sonuçlar kömür fiyatında çok az bir artış olacağı varsayımına dayanır ve sülfürün ayrılması için kullanılan gaz yakıycılarını kapsamaz. Yeni, kömür yakan güç santrallerinde, gaz yakıycılarının olması gerekmektedir ve bu gibi şeyler de fiyatları oldukça yükseltmektedir.

Bunların hepsi beni, Komanoff'un hatalı olduğuna ve ABD'de bu oran büyük miktarda azaltılmış olmasına karşın nükleer enerjinin kömüre karşı bir fiyat avantajı olduğuna inandırıyor. Ne var ki basın bu bakış açısını pek kullanmaz. Komanoff, basında, kendisi hakkında yapılan eleştiriler ve diğer tüm ekonomi araştırmalarının toplamından daha çok yer aldı. Nükleer karşıtı etkilicilerin bakış açısını destekleyen birkaçı, tüm basını

tekellerine alarak, radyasyon ile ilgili olarak çalışan bilim adamlarını saf dışı ettikleri gibi, ekonomistleri de hiçe saymaktadırlar. Komanoff, nükleer karşıtı hareket lehine yapılan toplumsal bilgilendirme programlarında sık sık konuşarak, bu hareketin en önemli kişiliği haline geldi. Benim dinleyicilerimden bazıları, hiç olmazsa son zamanlara kadar, nükleerin kömürden daha ucuz olduğunu söylediğimde şaşkınlıklarını belli ediyorlar -haberlar oldukları tek yaklaşım Komanoff'a aitti.

Bu durum bizi şu soruya götürüyor: kurumlar, neden son 5-8 yıldır nükleer santraller yerine termik santraller ısmarlıyorlar? İkisi arasındaki ekonomik fark, kömür santralinin inşaatının daha ucuz olmasıdır, ancak bunun yanında ürettiği elektriğin toplam fiyatını nükleer elektriğinkinin üzerine çıkaran, çok daha yüksek yakıt masrafları vardır. Şu anki durumda, yeni santraller yapabilmek için gereken anaparayı bulmakta zorlanmaları nedeniyle, termik santralleri seçmek, onlar için daha akılcıdır. Daha sonra yakıt için çok daha fazla para harcayacaklar; ancak bu harcama, tüketiciler tarafından anında geri ödenecektir. Böylece kurum, tüketicileri elektrik için daha fazla para öderken, daha az parasal gerginlik yaşayacaktır.

Bu günlerde herhangi bir kurum için en kolay yol, birçoğunun izlemekte olduğu politika olan hiçbir yeni güç santrali *yapmama politikasıdır*. Öte yandan nüfusumuz artıyor ve ekonomimiz, bugünün çocukları büyürken, bu yüzyılın kalan her yılı için, bir milyondan daha fazla yeni iş sahası yaratmak zorundadır. Dolayısıyla, elektrik ihtiyacımızda bir artış beklemek mantıklı gözükmektedir. Bu ihtiyaç, ekonomimiz baskı altındaiken o kadar acil değildir, ancak süratli ekonomik büyüme ve refahın geri dönmesi elektrik gücü noksanlığı yüzünden ciddi şekilde engellenebilir.

Eğer bu durum gerçekleşirse, yapılacak pek birşey kalmıyor; çünkü yeni bir güç santralini planlamak ve kurmak için yıllar gerekmektedir. Bu nedenle birçok ekonomik planlamacı, yeni güç santrali yapımındaki bu tikanıklığı tehlikeli bulmaktadır. Uzmanlar, gerekenden fazla santral yapmanın zararının, ihtiyaç duyulduğunda elektrik bulamamanın vereceği zarardan

çok daha az olduğuna değinmektedirler. Ancak ilk durumda, kaybın çoğundan kurum zarar göreceksen; diğerinde zarar, tüm ulusa ödetilmektedir.

Kurumları daha fazla santral yapmadıkları için suçlamak doğru değildir. Bu durumu düzeltmek için, inşaat döneminde tüketicilerden para istemek yoluna gitmeyi düşündüler, ancak kurumun topluma açık komisyonları, bunu yapmasına izin vermedi. Şu an yıllar önce yapılmış santrallerin ucuz elektriğinin keyfini çıkarıyoruz. Bu tesisler eskidiğinde ya da genişleyen ekonomimiz daha fazla güce ihtiyaç duyduğunda, elektrik faturaları inanılmaz şekilde yükselecektir. Daha da kötüsü, ihtiyaç duyulan elektrik bulunamayabilir, çocuklarımız işsizlik ve yoksulluk içinde yaşamak zorunda kalabilirler.

Bu sorunların ötesinde, azalan kaynakları koruyabilmek için petrol ve gaz yakan santralleri değiştirmek gerekebilir. Şu an elektriğimizin %30'unu ürettiklerini düşünürsek, onları termik ya da nükleer santrallerle değiştirmek, büyük miktarda tasarruf sağlayacaktır. Şu an için yeterince petrol ve gazımız olduğu için, bu sorunla pek ilgilenmiyoruz. Nükleer karşıt et-kincilerin hareketlerinden biz zarar görmüyoruz; ama çocuklarımız bedelini kat kat ödeyeceklerdir.

Durumu düzeltmek için henüz çok geç değildir. Yönetmeliklerin sıkılaştırılmasını durdurabilir ve nükleer güç santrallerinin güvenle oldukları kadar süratle, verimle ve ucuza yapılmasına izin verebiliriz. Fransız teknolojisi, Westinghouse'la yaptıkları bir lisanslama anlaşmasıyla, bizim teknolojemizi kopya etmişti; yani hiçbir şey yapmasak bile, onların yaptığını yapabiliriz. Geleceğin elektrik fiyatını yarı yarıya azaltabiliriz. Böyle bir şey, evdeki bütçe için olduğu kadar endüstrimiz için de ne kadar büyük bir nimet olurdu! Bunu sağlamak için, toplumun radyasyona karşı beslediği çılgın korku yenilmeli ve basın, nükleer gücün tehlikeli olduğu yolundaki yanlış mesajı aktarmayı durdurmalıdır. 2. ve 6. Bölümlerde anlatılan toplumsal boyuttaki yanlış anlama düzeltilmelidir. Bu imkansız bir iş gibi görünüyor; ancak elimizde bu kadar çok olanak varken, yapabileceğimizin en iyisini yapmalıyız.

9. BÖLÜM

Güneş Rüyası

Toplumsal boyuttaki yanlış anlamının ulaştığı en son önemli nokta, yakında güneşten elde edilen elektriğin kullanımına başlanacağı, dolayısıyla nükleer güce bulaşmaya hiç gerek olmadığı inancıdır. Bu yargıyı desteklemek için çığırkanlık yapan politik örgütler vardır ve basın da bunlara tam destek verir. Toplum, gelecek yüzyıldaki başlıca elektrik kaynağımızın Güneş olacağına büyük ölçüde inandırılmıştır.

Enerji teknolojisi konusundaki bilimsel toplantılara sık katılımlarımın sonucu olarak, birkaç güneş enerjisi uzmanıyla tanışma imkanı buldum, ne var ki bu görüşü paylaşan bir uzmanla henüz karşılaşmadım. Onların profesyonel hayatları güneş enerjisinin geliştirilmesine adanmıştır ve çoğu da onun geleceği konusunda oldukça umutludur. Yine de toplumun güneş enerjisi konusundaki beklentilerinin oldukça gerçek dışı olduğunu söyleyerek, genellikle benim nükleer enerji yararına çalışmalarımı desteklemektedirler. Uzmanlar güneş enerjisinin gelecekte, endüstrileşmiş bir toplum için ana kaynak olarak değil, bazı durumlardaki avantajlarıyla, diğer teknolojilere bir *destekleyici* olarak rol alacağını öngörmektedirler.

Güneş enerjisinin yukardaki rollerden ilkinin oynamasına engel olan iki önemli engel vardır: günümüzün maliyet standartlarına göre oldukça pahalı olması ve elde edilebilirliğinin oldukça düzensiz koşullara bağlı olması. Anlattıklarımız, güneşten elektrik üreten farklı tipte çeşitli sistemlerin geliştirilmekte olması nedeniyle, biraz karmaşıklaşacak, fakat biz, genelde en önemli üç tanesi olarak nitelenenleri ele alacağız: (1) güneş pilleri olarak bilinen fotovoltailer; (2) güneşin ısıyla suyu kaynatarak, termik ya da nükleer güç santrallerinde olduğu şekilde kullanılmak için buhar elde etmek üzere kullanılan güç kulesi⁷³;

(3) yüzlerce yıldır enerjimizin bir kısmını sağlayan yeldeğirmenlerinin geliştirilmiş hali olan rüzgar türbinleri. Güneş enerjisinin, binaların ısıtılması gibi bazı uygulamalarına, kitabın içeriğiyle uyumsuz kalacağı için, burada değinilmeyeceğini belirtmeliyiz. Nükleer enerji daha çok elektrik üretmek için kullanılır ve elektriğin de küçük bir kısmı, genelde kolaylığın maliyetten daha önemli olduğu durumlarda, bu işler için harcanır.

Maliyet Sorunları

ABD Enerji Bakanlığı, fotovoltaiik gelişmede maliyetlerin analizini ve gelecekteki maliyetler için hedefleri de içeren geniş bir programa sahiptir. Elimizdeki teknolojiyle, güneş pillerinin tepe watt başına 2.80 dolara ve tam anlamıyla güneşe bağlı bir elektrik sisteminin, tepe watt başına 10 dolara mal olacağı tahmin edilmektedir [1]. Tepe watt (peak watt), güneşli bir günde, öğle üzeri elektrik güç üretimidir, rakamlar 1980 dolar kuruna göreler. Programın hedefi, 1987'de güneş pillerini tepe watt başına 70 cent'e, 1990'larda programın bitiminde de tepe watt başına 25 cent'e üretecek kapasiteye ulaşmak ve komple sistemleri 1987'de tepe watt başına 1.60 dolara, 1990'larda da 1.20 dolara üretmektir [1,2].

Pillerle komple sistemlerin maliyetleri arasındaki farklılık, "tesisın dengelenmesi" denilen birkaç maddeden kaynaklanır. Bunlar [3,4] mühendislik, tesis yerinin hazırlanması, yapısal destekler (genelde tepe watt başına 30 cent [5]), yerleştirme, pillerin elektrik bağlantıları (8 cent), uygun voltaj ve frekansta alternatif akıma -çevrim (25 cent); yönetim, satış, kâr, ve diğer yönetim giderleridir. Bunlar, her tepe watt başına 90 cent-1.00 dolar arasında bir toplam vermektedirler. Yıllardır süregelen yoğun uğraşlar, maliyetleri pek azaltamadı [6].

Nükleer tesislerin maliyetinde oldukça yüklü bir tutar karşılığı olan inşaat sırasında kullanılan kaynaklar için söz konusu faizin buraya dahil edilmemiş olduğuna dikkatinizi çekmek isterim. Bunların göz ardı edilmesinin ardındaki neden, fotovoltaiik pillerin bir yıl veya daha kısa bir sürede döşenip çalışmaya başlayabilmesidir.

Pillerin üzerine düşen güneş ışığı gün boyunca değişir (gece-leri sıfıra düşer), yazla kış arası büyük ölçüde farklılaşır; yani ortalama üretim, tepenin çok altındadır. Güneybatı ABD'deki çöllerde tepe değerden 4.5 kat ve kuzeybatıda 7 kat daha azdır. Eğer program hedeflerine ulaşılabilirse, olası güç üretiminin her *ortalama* wattı başına maliyeti, yaklaşık olarak 7 dolar mertebesinde olacaktır.

Bu masrafları daha iyi anlamaya çalışalım. Güneşli bir günde öğle üzeri, dünyanın yüzeyine düşen güneş ışığı, metrekarede 1,000 watt civarındadır. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini elektriğe çevirirken %10'dan daha fazla bir verimle çalışmazlar -kaplamalardaki, yapılardaki ve elektrik çevrimindeki kayıplar dahil edildiğinde, günümüzün sistemleri sadece %5-8 verimliliğe sahiptirler [7]. Dolayısıyla metrekarede 100 wattan daha az bir elektrik üretimi bekleyebiliriz. Ulusal fotovoltaik gelişmenin hedefi, yukarıda değinilen rakamlara göre, tepe watt başına 25 cent'e fotovoltaik piller üretmektir; bu da $(0.25 \times 100 =)$ metrekarede 25.0 dolar demektir.

Genelde beton kaldırımların metrekaresi 20 dolara mal olur [8]; bu bizim güneş enerjisinin maliyeti için yapacağımız tahminlerin, yani zemini güneş pilleriyle kaplamanın maliyetinin, yeri ince bir beton tabakasıyla kaplamanın maliyetine yaklaşık olarak eşit olacağı anlamına gelmektedir. Bir güneş pili oldukça karmaşık, elektronik bir alettir; yaklaşık iki buçuk santimetre çapındadır ve 1950'lerde geliştirilen kuantum fiziği ilkelerine dayanmaktadır. Piller, oldukça yüksek saflıktaki maddelerden imal edilmektedir; bu, 1940'ların sonlarına kadar bilimsel laboratuvarlarda bile elde edilmesi olanaksız bir saflıktır. Piller, modern teknolojinin geliştirilmesi için oldukça büyük çaba sarfettiği bir işlemle üretilmektedirler. Açık havanın tüm koşullarına 20-30 yıl dayanabilmeleri gerekir. Zemini, sadece taşı ögütüp ısıtarak elde edebileceğimiz çimentodan ince bir tabakayla kaplamakla, bu karmaşık aletlerle kaplamanın aynı fiyatta çıkması, gerçekten zor bir hedeftir. Bundan daha iyisini elde etmeyi de bekleyemeyiz. Burada verilen rakamlar, aynı zamanda güneş enerjisinin neden pahalı olduğunu da gösteriyor -gü-

neş ışığındaki enerji öylesine dağılmıştır ki, ihtiyacımızı karşılayacak kadar güç elde edebilmemiz için ısıyı geniş alanlardan, aynı ölçüde geniş kollektörlerle toplamamız gerekecektir. Büyük bir nükleer güç santraliyle aynı miktarda güç üretmek için, 8.5 kilometre çapında bir alan güneş pilleriyle donatılmalıdır.

Yukarıda anlatılanlar, büyük bir merkezi elektrik üretim tesisini konu alıyordu; oysa evlerde, çatıların üzerindeki tesisatlara da en azından aynı ölçüde yer verilmelidir. Yine de bunların aynı fiyata, hatta daha pahalıya mal olduklarını düşünmek için birçok neden vardır [9]. Toprak ve destek yapısı için harcanacak para azalabilir, ancak bu durumda döşeme, bakım, satış komisyonu, dağıtım, güç yönetmelikleri, güvenlik özellikleri, kontroller, göstergeler ve sigorta için daha fazla masraf yapılacaktır. Dahası inşaat yönetmelikleri, üretim standartları ve sorumlulukları, güneş ışığına ulaşma, yerleştirme sınırlamaları, estetik nitelikler, tesisat bakımı, işletimi, acil durum prosedürü, tesisat bağlantısı ve tesisatı yapacak personelin eğitiminde çıkabilecek karmaşalar da harcamaları artırabilir. İnşaatı tamamlanmış binalara tesisat döşemek, aynı işi inşaat sırasında yapmaktan daha pahalıya mal olur. Müstakil olmayan binalarda, birçok ticari ve endüstriyel yapılarda ihtiyaç duyulan elektrikli üretmek için yeterli büyüklükte çatı da yoktur. Sonuçta, merkezi bir tesisin maliyeti için watt başına harcanacak 7 dolar, ulusal ortalama olarak alınabilecek en düşük miktardır.

US Energy Information Agency (ABD Enerji Enformasyon Dairesi)'ne göre [14], 1982'de yapımına başlanan ve 1995'te tamamlanan bir nükleer güç santralının maliyeti, watt başına 1.60 dolardır (8. Bölüm'de anlatılan bir milyar wattlık tesislerin maliyetinin milyarda biri). Zamanın %72'sinde çalışabilir durumda olacağı için [11] bu, elde edilebilir her watt başına $(1.60 \div 0.72 =) 2.20$ dolar maliyete denk gelmektedir. Nükleer tesisler, ürettikleri enerjinin maliyetini %20 oranında artıran yakıtla çalışırlar; buna karşılık nükleer tesisin fiyatı da %20 artırılarak 2.75 dolara çıkarılır. Nükleer tesislerle güneş enerjisi tesislerinin bakım ve işletim giderlerinin birbirine yakın olduğunu düşünürsek (zaten toplamın küçük bir parçasını oluşturlar),

nükleer güç için watt başına ortalama 2.75 dolarlık maliyet, güneş enerjisinin watt başına ortalama 7 dolarlık maliyetiyle rahatça karşılaştırılabilir.

Güneş enerjisi kaynaklı elektrik için söz konusu bu fiyatlar, durumu yeterince açık gösterememektedir; çünkü nükleer tesisler için yukarıda verilen fiyat bile, işletmecilerin kabul edemeyeceği kadar yüksektir. Dolayısıyla güneş enerjisinin maliyetlerini, watt başına 1.35 dolar olan, Fransız tesislerinin fiyatlarıyla karşılaştırmak daha anlamlı olacaktır [12]⁷⁴. Şu anki elektrik fiyatını belirleyen ve 1975 civarında tamamlanmış olan ABD nükleer güç santrallerinin maliyetleri, her watt başına ortalama 1.10 dolardır (8. Bölüm, Şekil 4'e bakınız). Ben, fotovoltaiik elektriğin kilowatt-saatinin gelecekteki fiyatı konusunda yürütülen tahminlerden pek haberdar değilim. Yayınlanmış bir tahmin, 1980 dolar kuruyla 8.5 cent/kW-saat'tir [13]. Kömür ve nükleer kaynaklı elektriğin 1980'deki ortalama fiyatı, çalışan santraller için 2.4 cent/kW-saat'ti. Tesis ve yakıt maliyetleri arasında altı kat fark varken, fiyat/kW-saat oranında sadece 3.5 kat fark olmasını anlamak zordur. Şahsen ben bir muhasebe hokus-pokusundan kuşkulanyorum. Ne olursa olsun, güneşten fotovoltaiik pillerle elektrik üretmek, bizim ödemeye alıştığımız ya da Avrupalılar'ın 1990'larda nükleer elektrik için ödeyeceği fiyattan, 2.2-3.1 cent/kW-saat, yani birkaç kat daha pahalıdır [14].

ABD Enerji Bakanlığı, aynı zamanda güç kulesi yaklaşımıyla elektrik üretmek için de büyük bir projeye sahiptir [6,15]. Barstow, California'da bilgisayar kontrolünde hareket ederek güneş ışığını 100 metre yükseklikte bir kuledeki alıcıya yansıtan, yaklaşık olarak toplam yüzbin metrekaare yüzölçümüne sahip aynalarla donatılmış 30 hektarlık bir tesis tamamlanmak üzeredir. Bu büyüklükteki bir tesisin üreteceği tepe güç, büyük bir nükleer veya termik santralin üreteceğinin %1'i kadardır. Barstow santrali, her tepe watt başına 11 dolara mal olmuştur, ancak Enerji Bakanlığı'nın hedefi, güç kulesi santrallerinin fiyatını tepe watt başına 1.80 dolara düşürmektir [6]. Bu tesisler, güneşin önü bulutlarla kapalıyken enerji üretemeyeceklerdir; yani

maliyet, en iyi konumda bile en azından ortalama watt başına 8 dolar olacaktır. Bu, fotovoltaik sistemlerin umulan fiyatından biraz daha yüksektir.

Rüzgar türbinleri için fiyatlar [18], hiç olmazsa bazı konumlarda daha uygundur. *Ortalama* rüzgar hızının en azından saatte 26 kilometre olduğu yerlerde watt başına ortalama fiyatı, kömür ve nükleer elektriğin fiyatıyla rekabet edebilir. Budurum, rüzgara, güneş enerjisinin diğer formlarına karşılık rüzgara büyük bir avantaj sağlamaktadır ve bazı yerlerde büyük rüzgar gücü tesisleri için ticari girişimler konusunda aktif planlamalar sürmektedir (uzun zamandır küçük ölçekli uygulamalar yapılmaktadır) [19].

Bu teknolojinin rahatsız edici bir yönü, toprağı insafsızca kullanmasıdır -uygun bir konumda, (3 kilometrekareden daha az yer kaplayan) büyük bir nükleer santralle aynı miktarda elektrik üretmek için 600 kilometrekareye yayılmış en azından 70 metre yükseklikte bin kuleye ihtiyaç vardır. Birçok yerde, rüzgar hızı, bu teknolojinin çok daha pahalı olmasına ve daha fazla alan kaplamasına yol açacak kadar düşüktür.

Aslında, elektriğin başlıca kaynağı olarak rüzgara, güneş pillerine veya güç kulelerine bağlı olmanın en büyük zorluğu, elde edilebilirliğindeki değişikliklerdir.

İhtiyacımız Varken Bulunabiliyor mu?

Elektrik enerjisini depolamak zor olduğu için, doğal olarak, üretildiği anda kullanmak gerekmektedir. Ne yazık ki elektriğin kullanımı, güneş ışığı ve rüzgar gibi zamana göre pek bir değişiklik göstermiyor. Elektrik kullanımımıza etkiyen mevsimsel unsurlar çok azdır; fakat güneş enerjisi yazın, kışın olduğundan 2 ila 3 kat daha fazladır [20]. Geceleri güneş ışığı yokken büyük miktarda elektrik kullanırız ve bulutlu günlerde elektrik kullanımımızın azalması için pek bir neden yoktur. Eğer güneş enerjisine büyük ölçüde bağlı olsaydık, bu sorunları nasıl halledecektik?

En kesin çözüm, *depolamaktır* ve buna bağlı olarak akla ilk, arabalarda kullanılanları benzer depolama aküleri gelir. Bun-

lar, kısa vadede bazı sorunları çözebilirdi; örneğin, 2-3 yılda bir değiştirilen 3,000 dolarlık aküler, gece klima kullanmak şartıyla, normal ev ihtiyaçlarını karşılayacak kadar elektriği gündüzden depolayabilirler [21]. Ancak peşpeşe birkaç bulutlu gün, işi oldukça zorlaştıracaktır. Yaz-kış değişimleri ise durumu daha da zorlaştırır. Kış için yeterli gücü üretecek kapasitede akülerden oluşan bir sistem düşünülebilir kuşkusuz ve böyle sistemler bulutlu günlerde bile yararlı olabilir, ne var ki bu durumda tesisatın kapasitesi, kullanılan yıllık ortalamanın beş katı kadar olmak zorundadır [21]. Bu da sonuçta bizim bahsettiğimiz sistemden beş kat daha yüksek bir maliyetin karşılığı olacak; o zaman da elektrik şu ankinden 20 kat daha pahalıya gelecektir! Geceleri ve kışın daha fazla elektrik kullanan işyerleri ve fabrikalar için sorun çok daha büyüktür.

Elektrik depolama sistemi için diğer basit yöntem ise, elektriği tepenin üzerindeki bir depoya su pompalamak için kullanmaktır; aşağı inmesine izin verildiğinde su, tekrar elektrik üretmiş olacaktır [22]. Bunun inşaatı pahalıdır, elektriğin yaklaşık olarak üçte birini harcar, çeşitli çevre sorunlarına yol açar⁷⁵ ve sadece yeterince su ve tepe olan bölgelerde uygulanabilir. Çatılara kurulacak sistemler için kullanışlı değildir.

Elektrik depolamanın yanında, elde edilebilirliğindeki değişkenlik konusunda bir başka çözüm, yedek elektrik gücü kaynakları bulundurmaktır. El altında bir nükleer veya termik santral bulundurmak düşünülebilir, fakat bunun ekonomik açıdan hiçbir anlamı yoktur. Yedekte bekleyen tesisin inşa edilmesi gerekecek, işletim ve bakım personelinin tümüne de ihtiyaç duyulacaktır. Tasarruf edilecek tek şey, nükleer ve termik gücün toplam maliyetinin sırasıyla %20'si ve %50'sini oluşturan yakıt masraflarıdır [10]. Yedek gücün tüketici fiyatı, tüm elektriği güneş enerjisinden sağlamaktan daha az olmamalıdır.

Yel değirmenleri veya güneş pilleri ile yedek güç için bir elektrik idaresiyle bağlantı hattı olan ve hatta bazı durumlarda ürettikleri fazla elektriği elektrik idaresine geri satan kişiler hakkında sık sık hikâyeler duyarız -birçok eyalette elektrik ida-

releri, yasal olarak bu elektriği almak zorundadır. Az sayıda kişi, bu işi yaptığı sürece zararı yoktur, ancak çok sayıda tüketici buna kalkışırsa sistem işlemez. Kurum, ürettikleri gücün az bir kısmını satarak işletmeksizin yedek güç santralleri kurmak zorunda olmakla kalmayacak; aynı zamanda güneş parlarken veya rüzgar eserken kullanmayacağı büyük miktarda elektriği de satın almak zorunda kalacaktır. Böyle bir durumda, ancak sattığı küçük miktarda elektriğin fiyatını yükselterek hayatta kalır.

Çatıdaki bir güneş pili için en pratik yedek güç, bir dizel jeneratördür. Bu, elektrik üretmek için çok pahalı bir yöntemdir ve gelecekte petrol fiyatları beklendiği gibi artarsa, daha da pahalı olacaktır. Sahibine büyük miktarda bakım ve onarım işi çıkarır ve güvenilirliği için de bir çok unsur gerektirir. Dizel motoru evde çalıştırmak için oldukça da gürültülü bir alettir.

Genelde, güneş ışığının veya rüzgarın değişken doğasıyla başa çıkabilmek için gereken yedeklemenin ya da depolamanın miktarı, ne kadar zahmete dayanabileceğimize bağlıdır. Ama şu anda zevkini çıkardığımız bağlı olduğumuz elektrik sistemin düzeyine ulaşmak bile oldukça pahalıya mal olacaktır.

Neden Güneş Kaynaklı Elektrik?

Neden birçok iyi ve dürüst bilim adamı, bu kadar çok sorunu olan güneş enerjisi konusunda böylesine çok uğraşıp, kariyerlerini onun gelişmesine adıyorlar? Cevabı, güneş enerjisinin *destek kaynağı* olarak yararlı olmasıdır. Yararlı olduğu birçok durum vardır. Bir elektrik idaresi tarafından hizmet götürülmemiş uzak bir bölgede, kamyonla getirilen mazotla çalışan bir dizel jeneratörle elektrik sağlanmaktadır. Bu durumda elektriğin kilowatt-saati 1 dolara kadar çıkabilir; oysa şehirde oturan biri için bu rakan 20 kat daha düşüktür. Böyle bir durumda güneş kaynaklı elektrik daha ucuza mal olacaktır. Bu koşullarda yaşayan insanlar kesintiler sırasındaki zahmetlerden kurtulmak isteyeceklerdir. Bir başka yararlı uygulama da, tarım için su pompalamaktır; çünkü güneş enerjisinin değişken doğası hiç önemli değildir. Güneş açtıkça pompa çalışır, güneş yokken de durur ve hiçbir zarar ya da zahmete neden olmaz.

Eğer güneş kaynaklı elektriğin fiyatı umulan düzeye inerse, birçok alanda uygulama bulacaktır. Bunların en önemlisi, elektrik idareleri için “tepe yük” sağlamaktır [7]. Elektrik gücü için en yüksek talep, birçok klimanın çalıştığı, sıcak yaz öğleden sonralarında olur. Elektrik işletmeleri bu tepe yükü termik veya nükleer santrallerle karşılayamazlar; çünkü bunlar, yatırım maliyetlerinin yüksekliği yüzünden, ancak sürekli çalıştıkları takdirde ekonomik açıdan kârlı olacaklardır. Bunların yerine kendisi ucuza; ancak çalıştırması pahalıya mal olan içten patlamalı motorlar kullanılır. Bu tepe yük, elektriği sürekli olarak her gün sağlanandan daha pahalıya çıkararak güneş enerjisinin rekabet gücünü artırmaktadır. Dahası, güneş enerjisinin süreksizliği burada pek bir sorun çıkarmaz, çünkü klimalara genelde güneş parlarken ihtiyaç duyulur⁷⁶. Bu, güneş elektriğinin en önemli kullanım alanı olarak ele alınmaktadır.

Kömürün ve nükleer gücün gelecekteki fiyat artışları sonucu, daha fazla kullanım alanı ortaya çıkacaktır. Eğer güneş kaynaklı elektriğin diğerlerinden ucuza mal olacağı noktaya ulaşırsa, elektriğin %30’undan fazlasını karşılamadığı sürece, süreksiz elde edilebilirliğinin bir sorun çıkarmayacağı tahmin edilmektedir. Ancak, bu durumda bile elektriğin çoğunun kömürden ya da nükleer enerjiden sağlanması gerekecektir. Gelecekte tüm elektriğin güneşten elde edileceğini düşünenler vardır; fakat onlar gözlerinde bugünkünden çok daha farklı bir dünyayı canlandırmaktadırlar [23]. Bu, ilkel teknolojinin ve daha basit hayatın söz konusu olduğu bir dünyadır ve onların gözündeki güzel bir yaşam şeklidir. Bu dünyada daha az makineleşmiş bir tarım, daha fazla el işi, daha az makine, daha az konfor ve rahatlık olacaktır. Onlar, bunu doğayla içiçe yaşamak olarak adlandırıyorlar (ancak bu aynı zamanda, basit atalarımızın hayat şekline geri dönüş olarak da adlandırılabilir). Böyle bir dünyada büyük termik veya nükleer güç santrallerine yer olmayacağını öne sürüyorlar ve tahmin edebileceğiniz gibi güneş pili üretimi dışında büyük endüstriyel tesisler de olmayacağını söylüyorlar.

Bakış açılarınin doğruluğu, benim üzerinde uzman olmadığım sosyal, politik, demografik ve psikolojik mütalaalara bağlıdır. Ben sadece, onların düşüncelerinin bilimsel, teknik ya da ekonomik analizlerden çok, politik kaygılara dayandığını açıkça göstermek istiyorum. Onların bu analizlere yaklaşımları sığ ve büyük ölçüde taraflıdır; uzmanlar tarafından da genelde kabul değil, itiraz görmüşlerdir.

Çevresel Sorunlar, Basın ve Politika

Daha önceki bölümlerde, basının nükleer enerji konusunda nasıl yanlış anlamalara yol açtığını tekrar tekrar anlatmıştık; güneş enerjisini ele alışları da aynı ölçüde dengesizdir; ancak tam ters doğrultuda. Bu bölümün ilk iki kısmında açıklanan güneş enerjisinin ciddi sorunlarına dikkat çeken hiçbir basın haberi duymadım ve seyretmedim. Propagandacı demesek de, sundukları herşey olumludur.

Bu konuda yazılmış olanlar arasında benim en sevdiğim hikâye, üstü güneş pilleriyle kaplı bir güneş arabasından bahseden hikâyedir! Arabanın üzerine güneşli bir öğle üzeri düşen toplam güneş enerjisi yaklaşık 1,000 watt'tır ve elde edilebilen en fazla sistem verimi olan %10 ile bu 100 watt'lık bir elektrik verir; yaklaşık olarak da 1/8 beygir gücüne denk düşer. En küçük arabalar bile 50 beygir gücünde motorlara gereksinim duyarlar, öyleyse güneş arabası birkaç yüz kat daha az bir güçle nasıl gidecektir? Geceleri boşversek bile, sabahın erken saatlerinde, öğlen geç saatlerde, bulutlu günlerde ve kışın ne olacak?

Güneş enerjisinin sağlıksal ve çevresel sorunlarıyla ilgili bir basın haberi görmedim. 5. Bölüm'de, bir kömür santraliyle aynı miktarda elektrik üretecek bir güneş pili dizilimini inşa etmek için, santralde yakılanın %3'ü kadar kömür tüketmek gerekeceğini göstermiştik. Bu, güneş enerjisinin kömür kullanımının %3'ü oranında hava kirliliğine yol açacağı anlamına gelmektedir ve büyük bir çevresel sorun olmamasına karşın nükleer enerjiden daha fazla kirliliğe yol açacaktır. Buna ek olarak güneş enerjisinin, nükleer atıkların basında çok yer alan sağlıksal

etkilerinden yüzlerce kat daha büyük olan ve 5. Bölüm'de anlatılmış olan uzun vadeli atık sorunları vardır. Güneş pillerinin yapımında, kaza durumunda sağlık sorunları yaratabilecek hidroflorik asit, boron triflorat, arsenik, kadmiyum, telliryum ve selenyum bileşikleri gibi birçok zehirli bileşikler kullanılmaktadır [25,26]. Aynı zamanda, nükleer için gerekenden daha fazla inşaat işi vardır; inşaat, işçilerin maruz kaldığı kazalar açısından en tehlikeli endüstrilerden biridir.

Kaç insan, çatılardaki güneş panellerini temizlerken, değiştirirken, veya üzerlerindeki karı atarken ölebilir ya da yaralanabilir? Peki ya karmaşık elektrik çevrim sisteminin onarımı? Her yıl elektrik çarpmasından binin üzerinde Amerikalı ölmektedir ve güneş enerjisi için gereken güç donanımının tesisatı, bu riskte önemli bir artışa neden olacaktır. Yedek sistemler, özellikle evdeki dizel motorlar önemli sağlık sorunlarına neden olurlar [27]. Dizel egzozları, bilinen en kanserojen maddeleri içermektedir ve Bölüm 4'te bahsedilen, kömür kullanımına bağlı hava kirliliği sorunlarının çoğuna da bunlar neden olurlar.

Aynı zamanda çevresel ve ekolojik sorunlar da vardır [28]. Eğer 8 kilometre çaplı bir alan güneş pilleriyle veya aynalarla kaplanırsa, orada yaşayan hayvanlara ne olur? Güneş enerjisi tesisleri için oldukça çekici yerler olan çöller, özellikle bu konuda son derece hassastırlar.

Rüzgar türbinleri gürültülüdür ve çirkin oldukları söylenir, özellikle manzarayı her yönden birkaç kilometre boyunca kaplıyorlarsa -bir nükleer santralin yerini tutabilmesi için 570 kilometrekare alana yayılmış 20 katlı bina yüksekliğinde bin tane kule gerektiğini hatırlayın. Dahası, kuşlar ve uçan böcekler için sorunlar yaratıp, televizyon yayınlarını bozarlar [17,22]. Güç kulelerinin, büyük miktarda suya ihtiyacı vardır ve bu tesisler için en ideal yer olan çöllerde az su bulunur. Tüm güneş enerjisi teknolojileri, büyük miktarda araziye yayılarak, alanın başka amaçlar için kullanımını engellerler. Uygun yerlerde çatının üzerine kurulacak bir sistem, tek bir ailenin yaşadığı evin ihtiyaçlarını giderebilir; ancak apartmanlar, işyerleri ve çoğunluk sanayi tesisleri için kesinlikle yeterli değildir.

Bu sağlıksal ve çevresel sorunlar, aşırı derecede ciddi şeyler değildir; öte yandan tarafsız bir analiz, sağlıksal ve çevresel etkiler açısından nükleer güçten daha zararlı olduğunu gösterecektir. Yine de, basın sürekli olarak nükleer gücün zararlarından bahsederken, güneş enerjisinininkilere hiç değinmez. Nükleer tesislerde güvenlikle ilgisi olmayan küçük teknik sorunlar bile, basında fazlaca yer alır. Diğer taraftan, yerleştirilmelerinden birkaç ay sonra, büyük sayıda güneş pili onarılamaz şekilde bozuldu; fakat basın bunlara hiç değinmedi.

Basının olayları ele alışındaki bu dengesizliğin sonucunda insanlar, güneş enerjisinin en güvenilir ve çevre açısından en iyi elektrik üretme yöntemi olduğunu düşünüyor ve nükleer gücün her bakımdan olumsuz olduğuna inanıyorlar. Aynı zamanda, geliştirildiğı takdirde güneş enerjisinin ucuz ve kullanımının da kolay olacağına inandıkları açıktır. Ben, böylesi bir iyimserliğe neden olacak bilimsel bir temelden haberdar değilim.

Uygulamada, güneş enerjisinin toplumun gözünde böylesine iyi bir imaja sahip olması politik açıdan oldukça önemli olmuştur. Hükümetimiz, toplumun isteklerine karşı epeyce duyarlıdır. Federal hükümet, güneş enerjisi ile ilgili aletlerin fiyatının %40'ının, vergiden düşülmesini kabul etmektedir. Bazı eyaletler buna ek indirimler sağlayarak, ödemesi için her doların yalnızca 30 sentini tüketiciye bırakmaktadırlar.

Carter yönetimi sırasında, nükleer enerji resmi olarak “başvurulacak son kaynak” şeklinde damgalanırken, güneş enerjisini tercih etmek, politik yaşamın bir parçasıydı. Ülkeyimizin en büyük elektrik kurumu, TVA'nın başı olan ve Carter'a bağılı olarak çalışan bir kişi, günümüzü “güneş öncesi çağ” olarak adlandırıyordu. Hükümet ajansları, güneş enerjisini destekleyen propagandayı yaymak için birbirlerini ezenken, nükleer enerjiyi destekleyen, toplumu aydınlatıcı bilgi, kongre üyeleri ve hükümet yetkilileri tarafından sert bir dille eleştiriliyordu. Benim burada “propaganda” ve “bilgi” sözcüklerini seçmem kasıtlıdır. Güneş enerjisi hakkındaki yayına “propaganda” diyorum; çünkü yukarıda tartışılan, çok ciddi boyuttaki maliyet ve elde edilebilirlik sorunlarına değinmeye-

rek ve geleceğimizin büyük ölçüde güneşe bağlı olacağını ima ederek yanlış izlenimler yaratmaktadır. Diğer taraftan nükleer konusuna ilişkin bilgi, genelde bu işle ilgilenen bilimsel topluluğun tartışılmakta olan sorulara nasıl baktığının dengeli bir değerlendirmesi olmuştur.

Kongre, güneş enerjisinin bilimsel ve teknolojik gelişimini yönlendirmesi için, Solar Energy Research Institute (Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü)'nü kurdu. Carter yönetiminin bu bilimsel ve teknolojik enstitünün başına getirdiği kişi, bu konuda hiçbir bilimsel veya teknik bilgisi ya da deneyimi olmayan, üniversiteden yeni mezun olmuş bir tarihçi idi. Onu üne kavuşturan, güneş enerjisini destekleyen gruplara yaptığı liderlikti. Yönetici olarak yaptığı ilk önemli iş, güneş enerjisi konusunda yeterince coşkulu olmadıklarını söyleyerek enstitünün en iyi bilim adamlarından bazılarını işten atmak oldu. ABD'deki tüm diğer ulusal laboratuvarlar ve araştırma enstitüleri kuşkusuz bilim adamları tarafından yönetilmişlerdi ve yönetilmektedirler. Üstelik yöneticiler veya bilim adamları, daha önce politik bazı nedenlerle işlerinden atılmamışlardı.

Reagan yönetimi işbaşına geldiğinde, enstitünün yöneticisi işten atıldı ve bütçesi de oldukça küçültüldü. Diğer hiç bir ulusal laboratuvarın veya enstitünün başına böyle bir şey gelmemiştir.

Biraz Daha Politika

Bilimle politikanın birbirine karıştırılması, teknolojiye bağlı bir ülkeden çok, bir "Muz Cumhuriyeti"ne yakışan, tehlikeli bir eğilimdir. Ne yazık ki, nükleer bilimlerin buna karşı bağışıklığı yoktur. Nükleer enerjiyi muhafazakar cumhuriyetçiler desteklerken, liberal demokratların karşı olduğu görülmektedir. Bu bölünme, çoğu politik açıdan liberal demokrat olan, ancak bilimsel temellerine göre nükleer gücü tercih eden, ilgili bilim adamları için geçerli değildir. Ben, 50 yıldan uzun bir süre, yani tüm yaşamım boyunca liberal demokrasiye inandım. Bilim alanındaki çalışma arkadaşlarımla çoğunluğu gibi, kendimi sıradan insanın refahına adanmış (bu, "liberal" için en sevdiğim tanımdır). Onun refahının, nükleer gücün gelişimine oldukça bağlı olduğu da açıkça görülmektedir.

Liberal demokrat politikacılar, nükleer güce her zaman karşı değillerdi. Bu günlerde insanlar, nükleer gücü, kongre ve politika çevresinden oluşan bir kitlenin muhalefetine karşın hükümet bürokratlarının gayretsiz desteğiyle kurumlar tarafından tercih edilen bir şey olarak görüyorlar. Ne var ki geçmişte, durum tam tersi idi [29]. House-Senate Joint Committee on Atomic Energy (Atom Enerjisi Beyaz Saray-Senato Ortak Komisyonu) liderliğinde Kongre, 1950'lerde nükleer gücün gelişmesinin arkasındaki gerçek etkin kuvvetti. Atomic Energy Commission (Atom Enerjisi Kurumu) tarafından temsil edilen hükümet bürokrasisi daha yavaş, planlı bir gelişme programından yanayken; kuruluşlar, buna oldukça karşıydılar. Aslında kuruluşlar, programa katılmadıkları takdirde, kömür ve petrol yakan santrallerine karşılık olarak, hükümetin kendi nükleer güç programıyla rekabet etmek durumunda bırakılacakları tehdidiyle karşı karşıya bırakılmışlardı. Nükleer gücün gelişiminin tarihçesinde ilk bölüm, kongrenin işlerin hızlandırılması yolundaki güçlü baskılarıyla kapandı. Bu dönemde, yani 1970'lere kadar çok iyi tanınan John Pastori, Clinton Anderson, Henry Jackson, Albert Gore ve Stuart Symington gibi liberal demokrat senatörler Ortak Komite'de çalışarak nükleer gücün yaygınlaştırılmasında kilit roller oynadılar. Aleyhlerinde bazı şeyler ortaya çıktığında, senato hemen, belli başlı bilim adamlarının gerçekleri açıklamaları için çağrıldıkları bir oturum düzenliyordu. Bilgili ve karşılıklı olarak birbirine saygı duyan insanlar arasında fikir alışverişi yapılıyor ve sorular da böylece cevaplanıyordu.

Politikacılar arasında nükleer enerjiye karşıtlık, 1970'lerin başlarında, bilim adamlarından öneriler almayı bırakıp, yerine "çevreci hareket" olarak anılan politik etkinci gruplara başvurdukları sıralarda görülmeye başladı. Genelde Ralph Nader tarafından yönlendirilen bu gruplar bilgiye, bilimsel görüşlere çok az başvuruyor ve zaten bilgiye pek ihtiyaç duymuyorlardı. İnançlarını politik felsefe temeline oturtuyor ve bilimsel topluluktaki görüşlerin sonucu ne olursa olsun, bir yerlerden kendilerini destekleyecek bilim adamları buluyorlardı.

Politik felsefeleri, nükleer enerjinin kötü; güneş enerjisinin ise iyi olduğu yolunda bir şekilde onları ikna etti. Bu görüşü desteklemek için, avukatların yaptığı gibi bir dava yarattılar - tek amaç kazanmaktı. Bilimsel gerçekler ve bilgiler, davalarını ne yönde etkilediklerine bağlı olarak sunuldu ya da göz ardı edildi.

Gerçeği aramıyorlardı -bildiklerinden eminlerdi. Aradıkları, toplumu inandırabilmeleri için gereken malzemeydi.

Görüşlerini birçok liberale sattılar. "Güneş iyidir, nükleer kötüdür" ifadesi bugün, liberal yapı ve ona karşı sempati besleyen basın için bir inanç sözüdür. Basının da kendi taraflarında olması sonucu toplumun kazanılması, sadece zamana bağlıdır.

Bu süreçte ilgili bilimsel topluluk özellikle göz ardı edildi. Biz, politik oyunlar ve basın entrikaları için deneyimsiz ve gereksiz kalıyorduk. Mesajımızı topluma eriştirebilmek için mücadele ettik, ve mücadeleye de devam edeceğiz. Kaybedeceğimiz nerede ise kesindir.

Sorun, bizim öne sürdüğümüz fikirlerin bilime dayalı olmasına karşılık, onların davalarının politik felsefe üzerine kurulmuş olmasıdır. Refahı büyük ölçüde teknolojiye bağlı olan bir toplum, bilim yerine politik felsefeye dayanarak karar alıyorsa, ölümcül bir tehlikenin eşiğinde demektir.

10. BÖLÜM

Anketlerden Çıkan Sonuçlar

Toplumun nükleer enerjiye karşı olmasının nedeninin, bu teknolojinin dünyaya bombalar aracılığıyla tanıtılmış olmasından kaynaklandığını öne sürenler oldu. Ancak, 1950'lerde bombalarla nükleer enerjinin adının birarada en sık anıldığı sıralarda, ya da 1960'larda, reaktörler ülkenin dört bir yanında belirlemeye başladığında, nükleer enerjiye karşı böyle bir antipati yoktu. Toplumlar, nükleer güç santralleri olduğu için gurur duyar ve daha fazlasını yapabilmek için yarışarlardı. 1956'da yapılan bir GALLUP anketi, toplumun sadece % 20'sinin bölgelerinde bir nükleer güç santrali olmasına karşı olduğunu tespit etmişti. Bir 1977 Roper anketinde, bu rakam % 33'tü ve 1979'da % 56'ydı [1]. Görülen son artış biraz Three Mile Island kazasına bağlıydı; oysa İngiltere'deki Windscale kazası⁷⁷ çok daha ciddiydi; ancak ne İngiltere'de ne de ABD'de öylesi bir etki yapmadı.

Toplumun nükleer enerji karşıtlığının yeni ve gelişmekte olan bir durum olduğunu düşünüyorum. 1960'larda nükleer güç, geleceğin enerji kaynağı olarak görülüyordu; ancak en çok kabul gören üç enerji kaynağı konulu bir 1980 GALLUP araştırmasına göre halkın %66'sı güneşi, %33'ü kömürü tercih ederken, sadece %27 oranında bir kesim nükleeri yeğliyordu [1].

Yapılan anketler nükleer enerjinin gittikçe halkın gözünden düştüğünü gösteriyor. Öte yandan bilimsel topluluğa yapılan anketlerin sonuçları nasıl? Bu konularda bilim adamlarının düşünceleri nelerdir?

Rothman - Lichter Anketleri

1980'de, iki sosyal bilimci, Smith College'dan Stanley Rothman ve Columbia University'den Robert Lichter, bilimin "Kim Kimdir"i olan, *American Men and Women of Sciences* (Amerika-

lı Bilim Adamları ve Kadınları) adlı kitaptaki listeden gelişigüzel seçilen bilim adamlarına bir anket uyguladılar [2]. Toplam olarak 741 cevap geldi. Cevaplayanlardan 249'unu, atmosferik kimya, güneş enerjisi, tasarruf ve ekoloji gibi disiplinleri de içerecek şekilde geniş kapsamlı tutarak, enerji ile ilgili alanlarına göre, "enerji uzmanı" olarak sınıflandırdılar. 72'sini de, radyasyon genetiğinden reaktör fizikine kadar yayılmış uzmanlık alanlarına dayanarak, nükleerle ilgili bilim adamları olarak sınıflandırdılar.

Tablo 1'de sıralanan bir kısım sonuçlara göre, tüm bilim adamlarının % 89'unun, enerji ile ilgili alanlarda çalışan bilim adamlarının % 95'inin, radyasyon ve nükleerle ilgili bilim adamlarının % 100'ünün, nükleer enerjinin geliştirilmesine devam edilmesinden yana olduklarını görüyoruz. Şans eseri endüstri, hükümet ve üniversitelerde çalışanların cevapları arasında pek önemli farklılıklar yoktur. Endüstri ya da hükümetten ekonomik destek alanların cevaplarıyla, almayanlarınkiler arasında da hiç fark yoktur.

	Tüm Bilim Adamları	Nükleer konusunda Uzmanlar	Enerji konusunda Uzmanlar
Hızla geliştirilmelidir	53	70	92
Yavaş geliştirilmelidir	36	25	8
Gelişim durdurulmalıdır	7	4	0
Santraller kaldırılmalıdır	3	1	0

Tablo 1. Güç Geliştirilmesine Nasıl Devam Edilmelidir? Sonuçlar Kaynak 2'dendir.

Bir başka ilginç soru da yaşadıkları şehirde nükleer santral yapılmasını isteyip istemedikleriydi (aslında, büyük şehirlerin sınırlarının 35 kilometreden daha yakınına bir nükleer santral kurulamaz). İstediklerini söyleyenlerin oranları, tüm bilim adamları için %69, enerji ile ilgili bilimlerde uzman olanlar için %80, radyasyon ve nükleer konularında çalışan bilim adamları için %98'di. Bu sonuç, toplumun genelinde söz konusu olan %56 oranındaki *karşı çıkmayla* tam bir zıtlık oluşturmaktadır.

Rothman ve Lichter, aynı zamanda çeşitli kategorilerden basın muhabirlerinin düşüncelerini de incelediler ve nükleer

enerjiye verdikleri destek konusunda oranlamalar yaptılar. Vardıkları sonuçlar, Tablo 2’de sıralanmıştır.

Açıkça görülüyor ki bilim adamları nükleer enerjiyi muhabirlerden çok daha fazla desteklemektedirler. Öte yandan, bilim muhabirleri, nükleer enerjiyi muhabirlerin genelinden daha fazla desteklemektedirler; ancak, bir nedenden dolayı, nükleer enerji konusunda basında çıkan haberlerin çoğunu diğerleri yazmıştır. Büyük gazete ve televizyon kanallarında çalışmakta olan ve en çok etki yaratabilen muhabirler, nükleer enerjiye meslektaşlarına göre daha soğuk bakmaktadırlar. Bu sonuçlar, elinizdeki kitapta sık sık bahsedilen, basın haberleri ile ilgili sorunların açıklanmasına oldukça yardımcı olmaktadır.

Battelle ve Basın Enstitüsü Çalışmaları

Kâr amacı gütmeyen bir vakıf kuruluşu olan Battelle Memorial Institute, *New York Times*’ı da içeren dört süreli yayında çıkan, nükleer enerjiyi destekleyen ve ona karşı olan yazıların sayımını yaptı [3]. 1972’de çıkan ve nükleer enerjiyi destekleyen yazıların sayısının, karşı olanlardan biraz daha fazla olduğunu buldu, ancak 1976’da karşı yazılar, destekleyenleri 2’ye 1 oranıyla geçti.

Washington merkezli bir kuruluş olan Basın Enstitüsü, televizyon kanallarının 1970’lerdeki akşam haberleri üzerine yapmış oldukça geniş bir çalışmayı yayınladı [4]. Günümüze kadar, tahmin edilen üye sayısı [2], tüm bilim adamlarının sadece %0.1’i kadarı olmasına karşın en çok değinilen bilgi kaynağı Duyarlı Bilim adamları Birliği (UCS) adlı nükleer karşıtı etkinci örgüttü. En fazla adı geçen “nükleer konusunda uzman” kişi ise Ralph Nader’di. Ayrıca Three Mile Island kazasını izleyen bir ay boyunca başvuru alan tek bilim adamı da, (nükleer karşıtları da dahil olmak üzere) tüm bilimsel toplulukça, radyasyon sağlığı konusunda çalışan bilim adamları arasında en az güveniliri olarak gösterilen Ralph Nader idi. Mayıs 1978’den Nisan 1979’a kadar, en çok başvuru alan on kaynak arasında, nükleer enerji yanlısı “konunun uzmanı” bir kişi bile yoktu. İlk onda yer alan nükleer enerji yanlısı kaynaklar da, toplumda, özellikle o sıralarda, en az inanılabilirliği sahip olan, nükleer sanayidendi.

Kategori	Yapılan Anket Sayısı	Destek Oranı
Nükleer konusunda uzman bilim adamları	72	7.9
Enerji konusunda uzman bilim adamları	279	5.1
Tüm bilim adamları	741	3.3
Bilim muhabirleri	42	1.3
Saygın basın muhabirleri	150	1.2
<i>New York Times, Washington Post</i> ve Televizyon kanallarındaki		
Bilim muhabirleri	15	0.5
Televizyon yapımcıları ve sunucuları	18	-1.9
Televizyon gazetecileri	24	-3.3

Tablo 2. Nükleer Enerjiye Verilen Destek*

a: Ölkük tam bir destek için +10'dan, tam bir red için -10'a kadar olan aralıktadır. Kaynak: Z'den.

Radyasyon Sağlığı Uzmanı Bilim Adamlarına Yapılan Bir Anket

Bu kitabın ilk taslağını tamamladıktan sonra, bazı rahatsız edici sorunların aklıma takıldığını farkettim. Ben, bu kitapta anlatılan görüşlerin, bilimsel toplulukta yer alan kişilerin çoğu tarafından desteklendiğini iddia ediyordum; fakat bunu okuyuculara nasıl kanıtlayacaktım? Edindiğim izlenimler sayısız görüşmelere, vurgulamalara ve imalara dayanmaktaydı; ancak yine de bunları söyleyen kişiler, tüm topluluğun küçük bir kesimini oluşturuyordu. Dahası insanlar, gerçekte inandıkları şeyleri, bazı baskılar nedeniyle toplum içinde söyleyemeyebilirler.

Bu sorunların bir kısmını çözmek amacıyla, radyasyon sağlığı konusunda uzman bilim adamlarına posta aracılığıyla bir anket düzenlemeye karar verdim. Bu topluluğa hizmet veren başlıca profesyonel cemiyetler, Sağlık Fiziki Cemiyeti (HPS, Health Physics Society) ve Radyasyon Araştırmaları Cemiyeti'dir (RRS, Radiation Research Society). Üyelik oldukça ucuzdur (vergiden düşülebilir) ve bu alanda çalışanların okuması gereken bilimsel makalelerin çoğunu yayınlayan, *Health Physics* (Sağlık Fiziki) ve *Radiation Research* (Radyasyon Araştırmaları) adlı dergilere ücretsiz üyeliği de içerir. Bunlar ve diğer bazı nedenlerden dolayı, radyasyon sağlığı alanında çalışanların tümü, bu cemiyetlerin birine ya da ikisine birden üyedir. İkisi de,

toplamı 5,000'i bulan; isim ve adresleri veren üye listeleri yayınlarlar. Ben sadece üniversitelerde çalışanları ankete dahil etmeye karar verdim; böylece kişilerin düşüncelerinin, işleri konusundaki endişelerinden etkilenmiş olması konusundaki tereddütleri azaltmış olacaktım ve onlar da araştırmalara daha yakın olmaları nedeniyle daha inanılır olacaktı. Bu çalışmayı üniversitelerde çalışanlarla sınırlamak, ankete dahil edilmesi gerekenlerin sayısını yeterince azaltmaya yetmedi ve bu nedenle aralarından rastgele bir seçim yapıldı.

Üyelik listeleri alfabetik sıradadır ve HPS'ninki 122 sayfa, RRS'ninki de iki sütunlu olmak üzere 40 sayfadır. Benim rastgele seçim yöntemim, HPS listesinin her sayfasındaki en son; RRS listesinin her sayfasındaki ilk ve son üniversite çalışanını almaktır. Sonuçta, iki cemiyetten de yaklaşık olarak eşit sayıda, toplam 310 kişi çıktı (HPS'nin listesindeki bazı kolonlarda hiçbir üniversite çalışanı yoktu ve yardımcı öğrencimle aramızdaki bir yanlış anlaşma sonucu, HPS listesinin son 14 sayfası kullanılmadı).

Her birine gönderilen mektup, (daha sonra anlatılacak olan 5. soru hariç), aynen şöyledir:

Halkın ilgilendiği önemli konularla ilgili olarak, Sağlık Fizik Cemiyeti (arka sayfa, beyaz) ve Radyasyon Araştırma Cemiyeti (arka sayfa, sarı) üyesi olan ve üniversiteyle ilgisi bulunan, rastgele seçilmiş kişilere yapılan bir görüş anketini yönetmekteyim. Aşağıdaki soruları cevapladıktan sonra, üzerinde pul ve adres bulunan bir zarfla, bir iki gün içinde bana gönderirseniz çok memnun olurum. Bu iş yalnızca birkaç dakikanızı alacaktır. Cevapları oy birliği ile cevaplayıp cevaplamadığınızı belirtmenize gerek yoktur; zaten cevapların ne şekilde verildiğini gösterecek hiçbir şey de bulunmamaktadır ve bunu anlamak için bir girişimde bulunmayacağıma da söz veririm. Cevaplamamayı tercih ettiğiniz sorular varsa, bunları boş bırakabilirsiniz.

Saygılarımla,
Bernard L. Cohen

Sorular

1. Halkın radyasyona karşı duyduğu korkuyla, radyasyonun gerçek tehlikelerini karşılaştırırken, düşünüyorum ki halkın korkusu (birini işaretleyiniz):

- 2 gerçekçi olmaktan çok uzaktır (yeterince korkulmuyor)
- 9 gerçekçi olmaktan uzaktır
- 8 yaklaşık olarak gerçekçidir
- 18 gerçekçi olamayacak kadar abartılmıştır
- 104 gerçekçi olamayacak kadar çok abartılmıştır
- 70 öylesine aşırı derecede abartılıdır ki gerçekçi olamaz (yani, çok fazla korkulmaktadır)
- 211 Toplam

2. Radyasyonun tehlikeleri konusunda TV yayınlarıyla yaratılan izlenim (birini işaretleyiniz):

- 59 tehlikeyi çok fazla abartmaktadır
- 110 tehlikeyi önemli ölçüde abartmaktadır
- 26 tehlikeyi biraz abartmaktadır
- 5 yaklaşık olarak gerçeği yansıtmaktadır
- 3 tehlikeyi olduğundan biraz az göstermektedir
- 2 tehlikeyi olduğundan epeyce az göstermektedir
- 1 tehlikeyi olduğundan çok çok az göstermektedir
- 206 Toplam

3. Radyasyonun tehlikeleri konusunda gazeteler ve popüler magazin yayınlarıyla yaratılan izlenim (birini işaretleyiniz):

- 47 tehlikeyi çok fazla abartmaktadır
- 113 tehlikeyi önemli ölçüde abartmaktadır
- 38 tehlikeyi biraz abartmaktadır
- 8 yaklaşık olarak gerçeği yansıtmaktadır
- 3 tehlikeyi olduğundan biraz az göstermektedir
- 2 tehlikeyi olduğundan epeyce az göstermektedir
- 0 tehlikeyi olduğundan çok çok az göstermektedir
- 211 Toplam

4. Ulusal refahımız açısından bakıldığında ve halkın korunması gereken diğer sağlıksal tehditlerle karşılaştırıldığında, bugün ABD’de radyasyondan korunma için harcanan para (birini işaretleyiniz):

18	çok fazladır
35	oldukça fazladır
30	biraz fazladır
62	yeterlidir
22	biraz yetersizdir
21	oldukça yetersizdir
4	çok çok yetersizdir
192	Toplam

5. Yalnızca 1972'den beri yaptıkları çalışmaları ve halkın ifadelerini göz önüne alarak (örneğin, bu tarihten önce yapmış oldukları her şeyi göz ardı ederek), radyasyon alanında çalışan aşağıdaki bilim adamlarını ya da bilim adamı gruplarını, bilimsel inanılırlıkları açısından nasıl sıraladınız? Her bir boşluğa, radyasyon sağlığı alanında çalışan bilim adamlarının inanılırlıklarının hangi yüzde dilimi içinde yer alacağını belirtmek üzere, 0 ve 100 arasında bir sayı yazınız; örneğin "60", bir kişinin çalışmasının, bu alanda çalışan tüm diğer bilim adamlarından %60 daha inanılır; %40'ından da daha az inanılır olduğu anlamına gelir. Bu kişilerin hepsi, radyasyon konusunda yazmış ya da söz almış kişilerdir ve birçok bilim adamı, kamu tartışmalarına girmenin, inanılırlığı tehlikeye attığına inanmaktadır. Lütfen bu önyargıyı hesaba katmamaya çalışınız. Çalışmalarından ya da görüşlerinden haberdar olmadığınız kişiler için bir şey yazmayınız.

0-82(175)	BEIR Komitesi (Bilimler Milli Akademisi)
0-81(116)	UNSCEAR Komitesi (Birleşmiş Milletler Bilim Komitesi)
K-25(157)	Ralph Nader araştırma örgütleri
0-85(157)	ICRP
K(?) -41(122)	Duyarlı Bilim adamları Birliği
0-85(157)	NCRP
0-72(60)	WASH-1400 Sağıksal Etkiler Paneli
0-78(102)	Hükümet için çalışan bilim adamı A (bir enstitüye bağlı)
K-14(154)	Ernest Sternglass (Pittsburgh Üniversitesi)
0-71(113)	Hükümet için çalışan bilim adamı B (bir enstitüye bağlı)

K-30(129)	John Gofman (Livermore Laboratuvarları ve California Üniversitesi-emekli)
O-75(52)	Hükümet için çalışan bilim adamı C
K-28(96)	Thomas Mancuso (Pittsburgh Üniversitesi)
O-80(114)	Hükümet için çalışan bilim adamı D
K-32(60)	Thomas Najarian-Potsmouth ve New Hampshire tersane işçilerini inceledi
O-71(80)	Hükümet için çalışan bilim adamı E
K-19(52)	Irwin Bross (Roswell Park Memorial Institute)
O-81(38)	Hükümet için çalışan bilim adamı F
K-26(107)	Helen Caldicott-Toplumsal Sorumluluğa Sahip Doktorlar

6. Bütünyle nükleer güç sanayiine bağlı olmanın getireceği radyasyon tehlikeleri ile (tüm elektriğin en azından %50'si nükleer güç santrallerinde üretilmektedir) tamamen kömürle çalışan bir sanayiye bağlı olmanın getireceği hava kirliliğinin tehlikelerini karşılaştırma konusunda, her iki durumda da rutin işlejin yanı sıra kazalar da dahil olmak üzere, aşağıdakilerden hangisi sizin görüşünüzü yansıtıyor?

7	nükleer çok daha fazla tehlikelidir
10	nükleer oldukça daha fazla tehlikelidir
21	nükleer biraz daha tehlikelidir
31	ikisi de eşit derecede tehlikelidir
40	kömür biraz daha fazla tehlikelidir
79	kömür oldukça daha fazla tehlikelidir
15	kömür çok daha fazla tehlikelidir
203	Toplam

7. Haber basını sık sık, Birleşik Devletler hükümet organlarının, radyasyonun tehlikeleri konusunda korkutucu bilgileri sürekli olarak gizlediği izlenimini vermiş ya da öyle olduğunu öne sürmüştür. Hükümet organlarının diğer konularda nasıl davrandığını göz önünde tutarak, onların *açıklığını* ve *dürüstlüğü* (saklamanın tersi), radyasyonun tehlikelerine göre şöyle değerlendiriyorum (1972 öncesi ve 1972 sonrası için birer yanıt işaretleyiniz; eğer bir görüş için yeterli temeliniz yoksa, boş bırakınız):

1972 öncesi	1972 sonrası
2	17 ortalamanın çok üzerinde (<i>saklamıyorlar</i>)
23	78 ortalamanın üzerinde
33	70 ortalama civarında
74	23 ortalamanın altında
36	1 ortalamanın çok altında (<i>saklıyorlar</i>)
8. Benim en yüksek akademik derecem (bir tanesini işaretleyin)	
156	doktora
41	yüksek lisans
10	lisans
3	lisans eğitiminin altı

Yanıtlayan kişinin seçimini işaretlemesi için bırakılan yerlere, gelen 210 cevabın (gönderilen soruların %68'i) toplamalarını yerleştirdim. İki cemiyetten gelen cevaplar arasında çok az farklılık vardı. Tüm sorularda yanıt vermemeyi seçen hiç olmazsa birkaç kişi vardı; ancak bu rakam özellikle 5'inci soruda oldukça fazlaydı. Verilen yanıtlar, tüm cevapların *ortalamasıdır* ve parantez içindeki rakamlar, yanıtlarını ifade etmektedir. Ayrıca, adı geçen kişinin -BEIR, UNSCEAR, ICRP ile NCRP tarafından kabul edilen ve bu kitapta sunulan görüşleri destekleyerek- "Otorite" taraftarı mı, yoksa -radyasyonun "Otorite" tarafından gösterilenden daha tehlikeli olduğunu iddia eden- Otorite "Karşısı" mı olduğunu belirtmek üzere bir O ya da bir K harfi ekledim.

Bunu ya da bir başka rastgele seçme yöntemini kullanarak anketi tekrar etmek isteyen biri olursa, benimkinden çok daha farklı sonuçlar elde etmesi durumunda masrafının (yaklaşık olarak 300 dolar) iki katını ona vermeyi vaadediyor; tarafsızlığıyla bilinen bir örgüt, aynı şeyi istiyorsa, masrafları ne kadar olursa olsun karşılamayı öneriyorum. Bana göre, yanıtlayan kişinin kesinlikle bilinmemesi önemli bir noktadır, böylece yanıtlayan kişinin, düşüncelerini gizlemek için hiçbir nedeni olmayacaktır.

Her okuyucu, yanıtları istediği şekilde yorumlayabilir. Ben, aşağıdaki kısımda, kendi yorumumu sunuyorum.

Soru 1

Anket, toplumun taşıdığı korkunun, radyasyonun gerçek tehlikelerine oranla, “çok abartılı” ya da “aşırı derecede abartılı” olduğu görüşünü destekliyor. “Çok abartılı”nın, “aşırı derecede abartılı”dan daha çok seçilmiş olmasının nedeni bana göre, bilim adamlarının geleneksel bir şekilde uç noktaları tanımlayan sıfatları kullanmaktan her zaman çekinmesidir.

Toplumun korkusunun gerçekçi olmaktan *uzak* olduğunu söyleyen 11 kişi, radyasyonun, “Otorite”nin tahminlerin gösterdiğinden çok daha tehlikeli olduğunu savunuyor gibi görünüyor. Bununla birlikte 5. soruda, onbir kişiden yedisi, *tüm* otorite gruplarına -BEIR, UNSCEAR, ICRP ve NCRP- *herhangi* bir otorite karşısı bilim adamından daha yüksek bir güvenilirlik değeri vermişler. Geriye kalan dört kişinin yalnızca ikisi, 5. soru ya da diğer sorular için, otorite karşısı olanları işaretlemişdir (bu iki kişiden biri ise 5. soruyu cevaplamamış). Bu yedi kişi, halkın radyasyonun tehlikeleri konusunda oldukça duyarsız olduğuna inanmış durumdadır.

Ankete göre bilim adamlarının %82.5’i, halkın korkusunu önemli ölçüde ya da çok fazla abartılı bulmaktadır. Burada önemli olan nokta da budur.

Soru 2

Anketin sonuçları, televizyon yayınlarının, radyasyonun tehlikelerini “önemli ölçüde” ya da “çok fazla” abarttığını göstermektedir. “Önemli ölçüde”nin, “çok fazla”ya tercih edilmesinin nedeni de, yukarıda belirtildiği gibi, uç noktaları belirten sıfatları kullanmaktan çekinmedir. TV’nin, radyasyonun tehlikelerini olduğundan az gösterdiğini söyleyen 6 kişiden yalnızca 3’ü, halkın korkusunun gerçekçi olamayacak kadar az olduğunu söyleyenler (1. soruda) arasında yer alır. Diğer üçü, 5. soruya otorite karşısı bir yaklaşımda bulunmazlar. Birkaçının, 2. soruyu yanıtlamayacaklarını; çünkü televizyon seyretmediklerini söylediklerini belirtmenin de yararı olabilir.

Her durumda burada önemli olan nokta, ankete katılanların %82’sinin, TV yayınlarıyla yaratılan izlenimin, önemli ölçüde ya da çok fazla abartılı olduğunu düşünüyor olmasıdır.

Soru 3

Tehlikenin önemli ölçüde ya da çok fazla abartılı olduğunu söyleyenler, gazete için %76; TV için %82 olsa da, gazete yayınları ve 2. sorudaki TV yayınları için varılan sonuçlar oldukça benzerdir. Gazete yayınlarının, TV yayınlarına göre biraz daha dengeli olduğunu ben de kabul ediyorum. Gazetenin tehlikeyi olduğundan az gösterdiğini söyleyen beş kişi, 2. soruya, TV'nin tehlikeyi olduğundan az gösterdiği şeklinde cevap veren altı kişi arasındadır.

Soru 4

Bu soru, nükleer karşıtı etkinsilerin, “bilim adamları ve mühendislerin nükleer enerjiyi savundukları; çünkü bunun cüzdanlarını kalınlaştırdığı”, şeklindeki iddialarını test etmek için konulmuştu. Eğer gerçekten öyle olsaydı, bu sorunlara harcanan paranın yetersiz olduğu şeklinde yanıt verirlerdi. Oysa sonuçlar tam tersini gösteriyor; yalnızca %24'ü parayı yetersiz bulurken, %43'ü fazla ve %28'i de önemli ölçüde fazla ya da çok fazla buluyor. Bilimin bir başka alanında büyük bir çoğunluğun, finansmanı az bulacağından eminim. Yaptığınız araştırmanın çok önemli olduğuna inanmak da doğaldır.

Soru 5

Bu soruyu hazırlarken, yanıtlayanların taraf tutmasını önlemek için otorite taraftarı ve otorite karşıtı kişi ve grupları, bile rek karıştırdım. BEIR, UNSCEAR, ICRP ve NCRP, 81-85 arası değişen ortalama oranlamalar aldılar. BEIR için yapılan 175 puanlamadan yalnızca biri 50'nin altındaydı; UNSCEAR için 3, ICRP için 0 ve NCRP için 2 kişi 50'nin altında puan vermişti ve bunlardan yalnızca biri, 40'ın altındaydı.

Ralph Nader araştırma örgütlerinden başında sıkça bahsedilir; ancak bunların, bilim adamları arasında inanırlılığı çok düşüktür (ortalama 25 dolayında bir puan). Onlar için yapılan 157 puanlamadan yalnızca 4'ü 75'in üzerindeydi ve yalnızca biri de 85'ten fazlaydı. Duyarlı Bilim adamları Birliği, radyasyonun tehlikeleri ile ilgili bilimsel sorular konusunda otorite karşıtı değildir⁷⁸ ve aslında BEIR'ın önerilerini göz önüne alır. Ben de dolayısıyla onlara K(?) değerini verdim. Aldığı puan 41 idi ve

bu, Nader'in gruplarından oldukça yüksek olmasına karşın, yine de otorite grupların aldığı puanlardan çok daha düşüktü.

Bu anketlerin sonuçlarının yayınlanması sırasında, adlarını verdiğim bu kişiler, kendilerini tartışmanın ön saflarına attılar. Adları verilmeyen diğerleri ise, kendi bakış açılarını yaymak için uğraşmadılar. (Ankete katılmış olan ve iki kategoriye de dahil edilemeyecek iki bilim adamı daha vardı; ancak onlar da benim kişisel merakımı giderdiler. Sonuçları burada verilmemiştir.) Tüm bu kişilerin adları, orijinal oylamada yer aldı.

Oylama son derece tarafsız bir şekilde yapıldı, sunuldu ve oylar kaydedildi. Otorite taraftarı olanların ve karşıtlarının isimlerinin bilinçli olarak karıştırılması dışında, isimlerin sıralaması rastgele yöntemle yapıldı. Tüm otorite bilim adamları, 71 ile 81 arasında değişen güvenilirlik oyu alırken; çalışmaları burada eleştirilmiş olan kişilerin hepsi de, 32 ya da daha altında bir puan aldılar. Bu dramatik bir farktır. En düşük puan olan 14, yalnızca 154'te 3 oy alan Ernest Sternglass'a verilmişti. Bu grup içindeki en yüksek ortalama puan da, daha sonra iddialarının çoğunu geri almış olan Najarian'a ve -rilen 32 idi.

Ben, 5. soruya verilen yanıtlardan, radyasyon sağlığı ile ilgilenen bilimsel çevrenin, otoriteyi güçlü bir şekilde desteklediği ve otorite karşıtı bilim adamlarına da çok az sempati duyduğu sonucunu çıkarıyorum.

Soru 6

Sonuçlar, anketi yanıtlayanların %66'sının, kömürün nükleer enerjiden daha tehlikeli olduğuna; %19'unun da bunun tersine inandığını gösteriyor. Radyasyon sağlığı ile ilgili bilim adamlarının, hava kirliliği konusunda genelde pek bir yetkinlikleri yoktur. Dolayısıyla, kömür için verdikleri olumsuz yanıtların, 1. Bölüm'de bahsedilen, kömürün nükleer enerjiden daha tehlikeli olmasıyla ilgili çalışmaların olduğu ortak bir sonucu olduğunu hiç sanmıyorum. Öte yandan bu, radyasyon sağlığı alanında çalışan bilim adamlarının, sürekli iç içe oldukları bir konu olan nükleer güç kaynaklı radyasyonun riskini, hayatımız boyunca birlikte yaşadığımız elektrik kaynağı kadar tehlikeli bulmadıklarının bir göstergesidir.

Soru 7

Sonuç, genelde eski Atom Enerjisi Kurumu'nca temsil edilen hükümetin, 1972'ye kadar daha az açık ve daha az dürüst olduğunu; durumun, açıklık ve dürüstlük konusunda ortalamanın üstünde olan Enerji Bakanlığı ve Nükleer Yönetmelik Komisyonu ile 1972'den sonra değiştiğini gösteriyor. 1972'de nükleer güç konularıyla ilgilenmeye başlamadan önce, bu alanda kişisel bir deneyimim yoktu; dolayısıyla bundan önceki dönem için bir yorumda bulunamam. Bununla birlikte, geçmiş yıllarda teknik bilgi almak için bu organları yüzlerce kez aradım ve onlar da son derece ilgili davrandılar. Cevap aradığı teknik bir sorusu olan herhangi bir vatandaş, kendilerini arayarak bunu deneyebilir. Aradıktan sonra, bu teknik konuyla ilgisi olan birini rica ederek, kendinizi tanıtip soruyu sormanız yeterlidir.

Özet

Bu anket, hiçbir şeyi göstermiyorsa, radyasyon sağlığı ile ilgili bilim adamlarının, basın tarafından ifade edilen ve halk tarafından da kabul gören görüşten çok daha farklı bir görüşe sahip olduklarını göstermektedir. Onlar, halkın radyasyon konusundaki korkusunun ve basında tehlike ile ilgili olarak yer alan haberlerin çok fazla abartılı olduğunu düşünüyorlar. Dahası, otorite komitelerini ve onlar için çalışan bilim adamlarını sonuna kadar destekliyor ve basında çok fazla yer alan otorite karşıtı bilim adamlarının da çok az inanırlılığı olduğunu düşünüyorlar.

11. BÖLÜM

Dinleyicilerden Gelen Sorular

Sınıfta ders anlatırken ya da konferans verirken, daima dinleyicilerden sorular gelir. Bu bölümde, böyle sorular yönelten örnek bir grubu ele alacağız.

Radyoaktivite ve Radyasyon

S: Radyoaktivite, vücudumuz dışındaki kaynaklardan yayılarak ya da yiyecek, su ve soluma yoluyla içimize girerek bizi radyasyona maruz bırakabilir; ancak siz konferansınızda, bu yollardan yalnızca biri hakkında bilgi verdiniz. Diğerleri nelerdir?

Y: Bu yolların hepsi, her durumda, bilimsel yazında ele alınır; fakat açıklamaları basitleştirmek açısından, bu yolların yalnızca bir tanesinden bahsedilir. Örneğin radyoaktif atığı ele alırken, genelde suyun ya da yiyecek kaynaklarının kirlenmesinden bahsedilir. Atığın sızmasını sağlayacak en önemli mekanizma, yeraltı suyunda çözünmesidir. Su ya da yiyecek kaynaklarına karışarak insan vücuduna girmesi, çalışmalara göre en olası yoldur. Ayrıntılı hesaplamalar, bunu doğrular.

S: Radyasyonun yol açtığı kanserlerin gelişmesi 50, genetik etkilerin ortaya çıkması ise 100 yıl sürebilir. Bu durumda Three Mile Island kazasının, sonuçta hiç sağlıksal etkiye yol açmayacağını nasıl söyleyebiliriz?

Y: Radyasyon dozlarını milirem cinsinden hesapladık; 2.Bölüm'de de anlatılmış olduğu gibi, deneyim ve bilimsel araştırmalar dayanarak, belli bir radyasyon dozunun sonuçta yol açacağı sağlıksal etkileri biliyoruz.

S: Örneğin, havadaki radyoaktivite ile ilgili ölçümler, bir iki kontrol istasyonununda yapıldı. Kontrol istasyonu olmayan yerlerde seviyelerin daha yüksek olmayacağını nereden biliyoruz?

Y: Bilim adamları, kontrol istasyonlarının yerlerini, böyle bir olasılığa meydan vermeyecek şekilde belirler ve belirli hava koşulları altında maddelerin nasıl bir yayılım gösterdiğiyle ilgili, oldukça fazla bilimsel bilgiyi bir araya getirirler. Bu bilgi, emin olmak için kontrol edilen çeşitli istasyonların kayıtları arasındaki ilişkiye de ışık tutar. Açığa çıkan radyasyon miktarından ve rüzgarın hızına, yönüne, yüksekliğe karşı toprak üzerindeki sıcaklığın ne olduğuna ilişkin hava koşullarından yola çıkarak çeşitli yerlerdeki radyasyon seviyeleri tahmin edilebilir. Nükleer tesislerin bulunduğu çevredeki hava koşulları sürekli olarak kontrol edilir. Three Mile Island kazasında, daha fazla veri elde etmek için uçaklarla hava örnekleri toplandı ve çevredeki dükkanlardan fotoğraf filmleri alınarak, radyasyon yüzünden filmlerde ne derece puslanma görüldüğü ölçüldü. (Filmlerde hiç puslanma görülmedi; oysa önemli ölçüde bir radyasyon sızıntısı olsaydı filmler mutlaka puslanırdı.) Dolayısıyla, radyasyon etkilenimini belirlemenin birçok ayrı yolu vardır ve her biri, bir diğerini kontrol eder.

Bu durum, kömürün yanması sonucu meydana gelen hava kirliliği ile tam anlamıyla zıt bir görüntü oluşturur. Havanın kirlenmesine neden olan maddeleri kontrol etmek çok daha zor ve pahalı olduğundan, büyük metropolitan bölgelerde bile çok az kontrol istasyonu vardır. Üstelik hava kirliliği, her yıl binlerce insanın ölümüne yol açmakta ve sağlığımız için nükleer tesislerden çıkan radyoaktiviteden çok daha büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

S: Çeşitli biyolojik organizmalar yoluyla radyoaktif maddelerin konsantrasyonu sağlanabilir. Örneğin bir ineğe enjekte edilen stronsiyum-90'ın çoğu hayvanın sütüne karışır. Bu durum radyoaktiviteyi, sizin hesaplamalarınızın gösterdiğinden çok daha tehlikeli kılmaz mı?

Y: Bu unsur, tüm hesaplamalarda ve tahminlerde göz önüne alınmıştır. 1950'lerde, sütteki stronsiyum-90 konusu büyük ölçüde ihmal ediliyordu; ancak bilimsel bir ifadeyle belirtmek gerekirse, bu çok uzun zaman önceydi.

S: Hava kirliliği insanları şimdi öldürmekte, radyasyon ise

gelecek kuşaklara zarar verecek genetik bozukluklara yol açmaktadır. Peki, biz nükleer enerjinin olumlu yönlerinden yararlanırken, bedelini gelecek kuşaklara ödetmek gibi bir adaletsizliği nasıl kabullenebiliriz?

Y: Mikro organizmalar üzerinde yapılan testler, kömürün yanması sonucu çıkan hava kirliliği ve kimyasalların da genetik etkileri olduğunu gösteriyor. Ancak bunlar tam olarak anlaşıp nicelenmediğinden, kömürün yol açtığı genetik etkilerin, nükleer enerjininkilerden daha az ya da daha az ciddi olduğunu düşünmek için de bir neden yoktur.

Radyasyonun genetik etkileri fazla değildir. Tüm gelecek kuşaklar da göz önüne alındığında, radyasyona maruz kalmanın sonuçta yol açacağı toplam genetik bozukluklar, neden olacağı kanser sayısından daha azdır.

Teknolojimizin gelecek kuşaklara zarar verdiği birçok alan vardır. Örneğin dünyanın sınırlı mineral kaynaklarını tüketmek, onlara radyasyonun genetik etkilerinden sonsuz derecede daha fazla zarar verecektir. Oysa radyasyona karşılık olarak onları, birçok genetik hastalığın önlenmesi de dahil olmak üzere sağlık koşullarını geliştirecek biyomedikal araştırmalarla destekliyoruz. (2. Bölüm'de genetik etkilerden büyük ölçüde bahsedilmiştir.)

S: Düşük seviyeli radyasyonun yol açacağı genetik etkiler insan soyunu mahvedebilir mi?

Y: Hayır. Doğal seçim kanunu, iyi mutasyonların yayılıp kötülerinin yok olmasını sağlar. Çok uzun vadede, belli bir radyasyon etkileniminin neden olacağı mutasyonlar, zararlı iseler yok olur; yararlı iseler korunurlar. Dolayısıyla bu mutasyonlar, çok küçük bir etkiyle de olsa, insan soyunun gelişmesine yararlar ancak.

İnsanoğlu, daima doğal kaynaklı radyasyona maruz kalmıştır ve bunun dozu da, nükleer sanayi kaynaklı düşük seviyeli radyasyonun ortalama dozundan yüzlerce kez daha yüksektir. Kaldı ki bu doğal radyasyon bile genetik bozuklukların yalnızca küçük bir yüzdesinden sorumludur. Bu bozuklukların büyük bir kısmından ise, kendiliğinden ortaya çıkan mutasyonlar sorumludur.

S: İnsanların yakın zamana dek hiç maruz kalmamış olduğu, nükleer sanayi kaynaklı yapay radyasyon, her zaman var olmuş olan doğal radyasyondan daha mı tehlikelidir?

Y: Radyasyonun yol açtığı kanserlere ve genetik etkilere, belli bir moleküldeki elektronu yerinden ayıran bir radyasyon parçasığı, örneğin gama ışını neden olur. Bu süreç içinde, bu gama ışınının, doğal olarak radyoaktif bir atomdan mı yoksa nükleer teknoloji tarafından radyoaktif kılınmış bir atomdan mı yayıldığıнын elektron ya da molekül tarafından “bilinmesine” olanak yoktur. Bu soruya cevabım HAYIR’dır.

S: Ebeveynlerin radyasyona maruz kalması iki başlı ya da daha başka bozuklukları olan çocukların doğmasına neden olur mu?

Y: HAYIR. İnsanoğlu daima doğal radyasyona maruz kalmış olmasına karşın, böyle şeyler olmamıştır. Doğal radyasyonun yapmadığı şeyleri yapay radyasyonun yapmasına olanak yoktur.

S: Radyasyonun “İnanılmaz Dev” gibi canavarlar yaratabileceğine dair, gerçeğe dayalı bir temel var mıdır?

Y: Kesinlikle yoktur. Bunlar, sanatçıların hayal güçlerinin yarattığı şeylerdir.

S: Görüşlerinizi desteklemek için sık sık istatistikleri kullanıyorsunuz. Ancak herkes biliyor ki “istatistikler yalan söylemese de yalancılar istatistikleri kullanabilir.” Sizin istatistiklerinize nasıl güvenebiliriz?

Y: Ben istatistikleri çok az kullanırım; çünkü nükleer sanayi kaynaklı radyasyonun insan sağlığına zarar verdiğine ilişkin istatistiksel kanıt yoktur. Ben, farklı bir değere sahip olan olasılıkları kullanırım⁷⁹. Eğer olasılığa inanmıyorsanız, sizinle yazı tura oynamak ya da zar atmak gibi bir oyunu zevkle oynarım. Las Vegas, çeşitli devlet piyangoları ve sigorta şirketleri, olasılık kanunlarını göz önüne alarak çok iyi kazanmaktadırlar.

Aldatmak için sürekli olarak istatistikleri kullananlar, nükleer karşıtı etkinsilerdir. İyice ararsanız, kanser riskinin ortalamadan yüksek olduğu bir nükleer tesis alanı bulabilirsiniz. Aynı dikkatle ararsanız, kanser riskinin ortalamadan düşük ol-

duğu bir tesis alanı da bulabilirsiniz tabii; ancak onlar bundan asla bahsetmezler.

S: Radyasyona bağılı ölümlere nasıl istatistiksel olarak bakabilirsiniz? Bunlar acı çeken ve ölen insanlardır.

Y: Hava kirliliğinden kimyasal zehirlerden, yoksulluktan, vb. dolayı acı çeken ve ölen insanlar da vardır. Nükleer güç, bu sorunları azaltacaktır. Ben, yalnızca acı çeken ve ölen insanların toplam sayısını azaltmak istiyorum.

S: Neden öldüklerini bilmeksizin, 10,000 kişinin hava kirliliği yüzünden teker teker ölmesi, bir nükleer kaza yüzünden 1,000 kişinin bir anda ölmesinden daha iyi değil midir?

Y: Buna kesinlikle karşıyım. İnsanların böyle bir şeye inanmalarının nedeni, basının konuyu bu yönde ele almasıdır. Bin kişiyi (hatta 100 kişiyi) öldürecek bir nükleer kazayı yere göğe sığdıramazlar; oysa her yıl hava kirliliği yüzünden ölen 10,000 kişiden pek bahsetmezler. Ancak bu saçmalıklarla beynimizin yıkanmasına izin vermemeliyiz ve onların asıl işinin ilgi çekme olduğunu hatırlamalıyız.

Büyük bir kaza olması durumunda her yıl 1,000 kişiyi öldürecek bir teknoloji yerine, hava kirliliği yüzünden her yıl 10,000 kişinin ölümüne neden olacak bir teknolojiyi seçecek olursanız; boşu boşuna ölecek 9,000 kişiye (ve sevdiklerine), ölmek zorunda olduklarını; çünkü basının büyük kazaları haber yapmayı sevmediğini de siz anlatırsınız artık. Böyle bir durumda, fikrinizi hemen değiştireceğinizden eminim.

S: Radyasyon insanların karanlıkta parlamasına neden olur mu?

Y: Radyasyon, bir nükleer reaktörün içinde olduğu gibi, ancak çok yoğun olduğunda ışık çıkarır. Bu kadar çok radyasyona maruz kalan biri, anında ölür (bir fırının içinde de aynı durum söz konusudur.) Komedyenler, insanların karanlıkta parlaması ile ilgili şakalar yaparak insanları güldürüyorlar; ancak bu görüş için gerçeğe dayalı bir temel yoktur.

S: Radyasyona maruz kalmak nasıl bir histir acaba?

Y: Vücudumuzun ya da dişimizin röntgeni çekilirken hepimiz bu deneyimi yaşamışızdır. Bu işlemler, nükleer sanayi kaynaklı olandan çok daha yüksek dozlara maruz kalmamıza ne-

den olur. Radyasyon terapisi ile tedavi edilen insanlar, milyon milliremlik dozlarla ifade edilebilecek bir radyasyona maruz kalırlar. Sonuç olarak, radyasyon etkilenimi, bir his ya da dokunuş olarak duyumsanmaz.

S: Radyasyonu hissedemiyorsak, ona maruz kalıp kalmadığımızı nasıl bilebiliriz?

Y: Radyasyonu tetkik edecek sayısız alet vardır. Birçoğu çok ucuz, güvenilir ve duyarlıdır. Radyasyonu tetkik etmek, hava kirliliğinin tehlikeli bileşenlerini tetkik etmekten çok daha kolaydır.

Güven ve İnanç

S: Nükleer bombalar ve birçok yok edici silah yapmış olmalarına karşın bilim adamlarına neden inanalım?

Y: Askeriye için çalışıyor olması, bir insanın gerçeği söylemediğinin bir göstergesi değildir. Ayrıca, nükleer güç alanında çalışan bilim adamları (birkaç istisna dışında), nükleer silahları geliştirmiş olanlardan tamamen farklı bir grup teşkil eder.

Bilimsel çevrenin halkı aldattığına dair hiçbir kanıt görmedim; çünkü bu çevre, böylesi bir şey yapamayacak kadar farklıdır. Üstelik bilim adamı olarak çalışmak, yüksek ölçüde dürüstlük gerektirir; çünkü hiçbir şey olmasa bile, en azından o kişinin dürüst davranmadığı keşfedilir ve kariyeri, telafisi mümkün olmayacak bir şekilde zarar görür.

S: Nükleer alanında çalışan bilim adamları hayatlarını nükleer sanayiden kazandıkları parayla sürdürdüklerine göre, onlara nasıl inanabiliriz?

Y: Üniversitede çalışan bilim adamları, nükleer sanayiye bağımlı değildir; hatta birçoğu çalıştıkları üniversite tarafından ömür boyu iş garantisine alınmıştır (ben de bunlardan biriyim). İnsanlar radyasyonun *daha* tehlikeli olduğuna inandıkları takdirde, radyasyon sağlığı ile ilgili olarak çalışan bilim adamlarının önemi ve iş güvenliği *artacaktır*; çünkü halkı radyasyondan koruyan onlardır. Bugün nükleer sanayiden vazgeçilecek olsaydı, tesislerin kapatılması işinde çalışmak yoluyla güvenli ve ömür boyu sürecek bir kariyere sahip olurlardı.

Öte yandan nükleer karşıtı etkinsiler de, nükleer güce karşı çıkarak kendilerine iyi bir hayat sağladılar. Yaptıkları konuşmalar için kendilerine iyi ücretler ödenir ve kitapları da iyi satar. Nükleer alanında çalışan bir bilim adamı, fazladan para kazanmak isteseydi, konumunu değiştirip nükleer karşıtı olurdu.

Üniversitede çalışan nükleerle ilgili bir bilim adamı, rahatlıkla nükleer karşıtı olabilir ve bu durum işine yansımaz. Hükümet için çalışanlar için de aynı şey büyük ölçüde geçerlidir. Öte yandan, nükleer karşıtı etkinsi örgütlerde çalışan bilim adamları, nükleer taraftarı olmaya karar verdikleri anda işlerine son verilir.

S: Radyasyonun tehlikeleri ile ilgili olarak çalışan ve farklı görüşlere sahip bu kadar çok bilim adamı varken, hangi tarafa inanacağımızı nereden bileceğiz?

Y: Bilim çevresindeki ayrılık, basının sizi inandırmaya çalıştığı gibi “yarı yarıya” değildir; küçük bir azınlığı temsil eder. Saygın bilim adamlarından kurulu tüm resmi komiteler, BEIR, ICRP, UNSCEAR, NCRP ve yabancı ülkelerdeki tüm diğer komiteler, radyasyonun etkileri ile ilgili ortak bir karara varırlar (kamu oyunu ilgilendirmeyecek kadar küçük bir dizi fark dışında) ve ilgili bilimsel çevrenin çok büyük bir çoğunluğu tarafından desteklenirler. Bu komiteler içinde, basında sürekli olarak bahsedilen nükleer karşıtı görüşler lehine oy vermiş olan tek bir bilim adamı bile yoktur. “Ayrılık” olarak nitelenen durum, tamamen basının uydurduğu bir şeydir (bkz. 10. Bölüm).

S: Nükleer güce ilgili olarak hükümet tarafından verilen bilgilere neden güvenmeliyiz?

Y: Radyasyonun sağlıksal etkileri ile ilgili bilimsel kanıt, hükümetin bilgi kaynaklarına dayalı olarak elde edilmiş değildir. Aynısı, bu kitapta anlatılan birçok diğer alan için de geçerlidir. Asıl yapmanız gereken, uluslararası bilim çevresine güvenmektir.

Kime güvenmeniz gerektiğini sorgulayacak olursak eğer, basının kesinlikle listenin sonunda yer almalıdır. Halkı bilinçli olarak yanılttıkları birçok durumdan, kitabın çeşitli yerlerinde bahsedilmiştir. Politik yargılar ya da cehalet yüzünden ortaya çıkan kasıtsız yanıltmalar ise, basının genel tavrıdır. Onların

üstünlüğü, doğru bilgi aktarmadıkları halde okuyucuyu kendilerine esir etmeleri, bağlamalarıdır. Son derece iyi niyetli de olsa bir basın mensubunun, bilmediği bir konu hakkında bilgi vermesi zordur. Ancak halk, nükleer güç konusunda sahip olduğu bilginin çoğunu basından almaktadır.

S: Nükleer otorite bize, hiçbir zaman bir reaktör kazasının olmayacağını söyledi; ancak Three Mile Island kazası önümüzde duran bir örnektir. Onlara nasıl güvenebiliriz?

Y: Nükleer otorite, bir reaktör kazasının hiçbir zaman olmayacağını söylemedi. Bu konuda nükleer otoriteyi diğerlerine göre daha fazla temsil eden Rasmussen Çalışması tahminine göre, (sivil ve donanma reaktörlerinden birinde) %20 olasılıkla bir erime kazası olmuş olması gerekiyordu; oysa hiç görülmedi. Ayrıca şimdiye dek iki soğutucu kaybı kazası olmuş olması gerekiyordu, fakat buna tek örnek Three Mile Island kazasıdır.

S: Deprem tehlikesi olan bölgelere nükleer güç santralleri kuran nükleer otoriteye nasıl güvenebiliriz?

Y: Ciddi tehlike arzeden bir deprem fayına en yakın nükleer güç tesisi, Diablo Canyon'a 5.5 km uzaklıkta olan California güç santralidir (NRC Atomik Lisanslama Komisyonu, Kurul Kararı No.644, 16 Haziran 1981). Burada sorunun temeli abartılıdır. Reaktörlerin yerinin, deprem fayları hesaba katılarak belirlenmesi ile ilgili yönetmelikler çok ayrıntılı, karmaşık ve tekniktir. Ülkede deprem konusunda en bilgili bilim adamları, bu konu üzerinde çalışırlar. Bir reaktörün faydan ne kadar uzağa kurulacağı, fayın türüne ve en son etkinlik göstermesinden bu yana ne kadar zaman geçtiğine bağlıdır. Deprem uzmanlarının ne yaptıklarını bildiklerinden ya da en azından, bu kararlara saldıran göstericilerden daha fazla bilgiye sahip olduklarından kesinlikle eminim.

S: Reaktör operatörlerinin işlerini doğru yaptıklarına nasıl güvenelim? Sarhoş olup bir kazaya yol açmayacaklarını nereden biliyoruz?

Y: Güvenlik analizleri yapılırken, reaktör operatörlerinin mükemmel oldukları varsayılmaz. Tersine, yanlış düğmeye basmak, gerekeni yapamamak gibi, herkesin yapabileceği hata-

ları yapacakları farzedilir. Güç santrali tasarımındaki ana felsefe olan güvenlik boyutunun temel ilkesi uyarınca, böyle kazaları telafi edecek yedek sistemler yerleştirilir. Bunlardan birinin çalışmaması, güvenlik boyutunun etkinliğini azaltır. Dolayısıyla bu durumdan olabildiğince kaçınılır. Reaktör operatörleri, sık sık zorlu sınavlardan geçirilmelidirler. Sürekli olarak birkaç operatör bulunur ve onlar da eğitim programlarına tabi tutularak, nezaret ve kontrol altında bulundurulurlar. Ancak reaktör operatörlerinin de insan olduğu ve tüm diğer insanlar gibi davranmalarının normal sayılması gerektiği de hatırdan çıkarılmamalıdır.

S: Kuruluşların paradan tasarruf etmek amacıyla üstünkörü önlemlere başvurarak güvenliği tehlikeye atmayacaklarından nasıl emin olabiliriz?

Y: Tesis inşaatı uygulamalarında hiç yer almadığım için, bu konuda bir uzman gibi konuşamam. Ancak kuruluşlar, olması gereken şekilde davrandıkları takdirde, Kamu Kuruluşları Komisyonları'ndan oldukça büyük bir kâr elde ederler. Bu nedenle kestirme yollara başvurarak paradan tasarruf etmeye de hevesli değildirler. Üstelik nükleer tesiste kaza olması, bir kuruluş için olabilecek en kötü olaydır ve ortaklarının milyonlarca hatta milyarlarca dolar zarara girmesine neden olur. Three Mile Island'ın sahibi olan kuruluş, kazadan sonra neredeyse iflas ediyordu.

Tüm bunlara ek olarak, Nükleer Yönetmelik Komisyonu(NRC), düzenli tetkikler yapar. Gerektiği gibi yapılmamış olan bir bölüm, ne kadar pahalıya mal olursa olsun yıkılır ve yeniden yapılır. Cincinatti yakınlarındaki bir tesis, bu yüzden çok zor durumdadır.

Dolayısıyla kuruluşlar, tesisleri gerektiği gibi inşa etmeye çok büyük bir özen gösterirler. Aynı şey işlemekte olan tesisler için de geçerlidir. Bunlar da NRC tarafından sık sık kontrol edilirler ve standarda uygun olmayanlara ağır para cezaları uygulanır. Nükleer sanayi tarafından desteklenen, Atlanta temelli bir örgüt olan Nükleer Güç İşletmeleri Enstitüsü de dikkatli tetkikler yapar. Herkes, bir tesisteki kazanın tüm sanayi için zorluklar yaratacağını bilir.

Reaktör Kazaları ve Güvenlik

S: Bir reaktör, nükleer bomba gibi patlayabilir mi?

Y: Hayır. Bu olanaksızdır. Bir bomba için yüksek derecede zenginleştirilmiş, kolay parçalanabilir yakıt gereksinim vardır; oysa reaktör yakıtının yalnızca %3'ü parçalanabilir maddeden oluşur. Eğer yakıtın çevresi suyla sarılıysa, bomba işleyemez; çünkü sudaki hidrojen, nötronları yavaşlatır. Nükleer bir patlamayı olanaksız kılacak başka nedenler de vardır.

S: Three Mile Island kazası, felakete “yakın” bir kaza mıydı?

Y: Tüm çalışmalar öyle olmadığını gösteriyor (ayrıntılar 3. Bölüm'de verilmiştir).

S: Nükleer güç güvenli midir?

Y: Dünya daki hiçbir şey mükemmel derecede güvenli değildir. Ancak elektrik üretmek için kullanılabilecek diğer yöntemlerle ya da elektrik dışındaki diğer risklerle karşılaştırıldığında, nükleer gücün tehlikeleri çok azdır.

S: Nükleer güç oldukça yeni ve farklı bir alandır. Beklenmeyen yeni sorunların çıkmayacağını nereden biliyorsunuz?

Y: Potansiyel tehlikelerle ilgili alanlarda sayısız araştırma yapılmıştır ve ticari reaktörler 25 yıldan fazla bir süredir işlemektedir. ABD Donanması da 20 yıldır birçok reaktör işletmektedir. Ancak yeni ve beklenmedik sorunlar çıktı kuşkusuz (bkz 3. Bölüm) ve her yeni teknolojiye olduğu gibi çıkmaya da devam edecektir. Devam eden araştırmalar, tesisler arasında yürütülen bilgi alışverişinin ve NRC'nin sorunlara bu kadar çok zaman harcamasının nedeni budur. Sorunların önüne geçemeyeceğimize ve mevcut güvenlik düzeyimizi koruyamayacağımıza inanmak için bir neden göremiyorum. Deneyim arttıkça, güvenlik sorunlarıyla ilgili daha çok şey öğreniyoruz ve dolayısıyla güvenliği *geliştiriyoruz*. Three Mile Island kazasından birçok değerli ders aldık.

S: Rasmussen Çalışması'nda kullanılan “hata ağacı analizi”ne nasıl güveniyorsunuz?

Y: Bu, elimizde bulunan en iyi yöntemdir. Eğer güvenmiyorsanız, deneyimleri kontrol edebilirsiniz. 4,000 reaktör yılı işlemlilik deneyimimiz var; ne bir crime oldu ne de erimeye “yakın”

bir durum görüldü. Üstelik hatalı işleyişler dolayısıyla elde edilen deneyimler sonucu, reaktör güvenliği sürekli olarak artmaktadır-Three Mile Island kazasından alınan dersler sonucu birçok gelişme kaydedildi. Dolayısıyla erime kazalarının her 4,000 reaktör yılı işleyişte birden daha sık görülmeyeceği sonucuna varmak da gayet mantıklı bir çıkarım gibi görünmektedir. Hata ağacı analizinin verdiği sonuç da bundan düşük değildir. Erime kazalarının çoğunun sağlığa hiçbir etkisi olmayacağını da unutmayınız.

S: Reaktörler bu kadar emniyetliyse, ev sahipleri için uygulanan sigorta poliçeleri neden reaktörleri de kapsamıyor? Bu, sigorta şirketlerinin onlara hiç güvenmediği anlamına gelmiyor mu?

Y: Sigorta şirketleri reaktörleri sigortalıyor. Aslında, bir nükleer kaza sonucu girecekleri zarar, herhangi bir diğer kötü durum sonucunda girecekleri zarardan daha büyüktür. Bununla birlikte, bir olaya karşı uygulayacakları sigorta tutarı, yasalar tarafından sınırlı tutulmuştur; çünkü şirket batarsa, ellerinde poliçe bulunan birçok masum insan korumasız kalabilir.

Reaktörler için uygulanan güvenilirlik sigortası, Kongre tarafından alınmış bir kararla belirlenmiştir ve her tesis için 560 milyon dolarlık bir sigortayı zorunlu kılar. Ne var ki sigortanın zararı karşılaması için işleyiş sırasında bir hata yapılmamış olduğu halde kaza görülmesi gerekir (bu miktarın bir milyar dolara çıkarılması planlanmaktadır). Sigortanın 160 milyonluk kısmı özel sigorta şirketlerine, geriye kalanı da nükleer güç santrallerine ait, ortak bir sandığa aittir. Bu sigorta nedeniyle, ev sahiplerine uygulanan sigorta çift kuvertür sağlamak durumunda olduğundan, bu kapsama girmez. Bir kaza sonucu ortaya çıkacak zararın maksimum değeri (bugün için 560 milyon dolar) aştığı durumlarda Kongre, müşterinin başına felaket niteliğinde bir olay gelmesi örneğinde olduğu gibi, bir teselli ödeneğinin yapılmasını kararlaştırmıştır. Özel sigortalıların bu kadar çok ödeme yaptığı diğer felaket durumlarının sayısı çok azdır. Örneğin köprülerin ya da barajların yıkılması gibi durumlar için çok az ödeme yapılır ya da hiç yapılmaz.

S: Eğer reaktörler güvenliyse, neden çevrelerindeki alanlarda yaşayan insanlar için tahliye planları yapılır?

Y: Bu da Nükleer Yönetmelik Komisyonu'nun şart koştuğu yönetmelik kurallarından biridir. Yakın zamana kadar böyle planlar yoktu ve başka ülkelerde de uygulanmıyordu. Kimya tesislerinin çevresi için düşünülmüş bir tahliye planı yoktur; oysa buralarda tahliye gerektirecek bir durumun olması, bir nükleer tesisin çevresinde tahliye gerektirecek bir olayın görülmesinden daha olasıdır. Tahliyelerin çoğu, zehirli kimyasalların söz konusu olduğu tren ya da kamyon kazalarının ardından görülür; ancak bunlar için de önerilen bir planlama yoktur. NRC'nin, "tahliye planlarının bulunması, güvenliği bir dereceye kadar artmasını sağlayacaktır", şeklindeki görüşüne karşı çıkmak zor olacaktır. Yetkililer, bu planların varlığının ve reklamının halkı telaşlandırdığını hesaba katmıyorlar.

Radyoaktif Atık

S: Radyoaktif atığı ne yapacağız?

Y: Kaya kütlelerine dönüştürerek kayaların doğal ortamına, yani yerin çok altına gömeceğiz.

S: Bunun güvenli olacağını nereden biliyoruz?

Y: Kayaların davranışları hakkında çok şey biliyoruz. Kaya ya dönüştürülmüş atık da aynı şekilde davrandığı takdirde, bu yöntem inanılmaz derecede güvenlidir (bkz. 5. Bölüm'deki değerlendirme).

S: Bu iş o kadar kolaysa neden atıkları hemen gömmüyoruz?

Y: Nedenlerden biri, halihazırda gömülecek atığın bulunmamasıdır. Atıkların gömülmeye hazırlanması için önce yeniden işleme sorununun çözülmesi gerekmektedir.

Bir başka neden, *olası en iyi* gömme teknolojisini belirlemek için araştırmalar yapılıyor olmasıdır. Alanların çoğu, yeterli güvenliği sağlayacak; ancak bazıları daha da güvenli olacaktır. Dolayısıyla alan seçimi konusunda büyük bir çaba harcanmaktadır.

Tarafsız bir gözle bakıldığında, atığı gömmek için acele etmeye gerek yoktur. Üstelik atığı gömmeden önce 50-100 yıl bekle-

menin getireceği birçok avantaj vardır (İsveç'in planı budur). Bununla birlikte, yanlış anlama yüzünden halktan gelen baskılar nedeniyle hükümet, atığı 1990 ortalarında gömme planları yapmaktadır.

S: Radyoaktif atığın ortadan kaldırılması “çözülmemiş bir sorun” değil midir?

Y: Çözölmüş sorun nedir? Kömürün yanması sonucu çıkan ve “hava kirliliği” olarak bilinen bir kısım atıklar, Amerika'da her yıl binlerce kişinin ölümüne sebep olmalarına karşın havaya salınmaktadırlar. Bu çözölmüş bir sorun mudur? Kömürden çıkan katı atıklar ise toprağa saçılmaktadır ve bunlar gelecek yüzbin yıl içinde binlerce insanın ölümüne neden olacaktır (bkz 5. Bölüm). Bu çözölmüş bir sorun mudur?

Radyoaktif atığın gömölmesi ile ilgili olarak, birçok tatmin-kâr çözümümüz vardır ve yapmamız gereken tek şey bunlardan hangisini seçeceğimize karar vermektir. Bunlardan herhangi biri, sağlık için kömürden binlerce kez daha az zararlıdır. Şu anda gömmeye hazır nükleer atığımız bulunmadığından, daha fazla çalışma yapmak bize zaman kaybettirmez. Çeşitli makul alternatiflerden birini henüz seçmemiş olmamız mı bunu çözümsüz bir sorun kılıyor? Ne yazık ki şu an gerçek sorunla ilgilenmek yerine, konuyu açıklayan konuşmalar ve propagandalar yapmak zorundayız.

S: Radyoaktif atık ne kadar bir süre için tehlikeli kalacaktır?

Y: Zehirliliğinin %98'ini 200 yıl içinde kaybedecek ve ancak topraktaki mineraller kadar tehlikeli olacaktır. *Geriye kalan zehirliliğinin %99'u da, sonraki 30,000 yıl içinde kaybolacak; ancak yine de milyonlarca yıl boyunca bir miktar zehirlilik taşıyacaktır. Zehirliliklerini hiç azaltmaksızın sonsuza dek* koruyacak olan civa, arsenik, kadmiyum, vb. gibi bazı diğer zehirli kimyasallarla karşılaştırıldığında, radyoaktivite için durum çok daha olumludur.

S: Kullanım süreleri sona erdiğinde reaktörleri ne yapacağız?

Y: Radyoaktivitenin neredeyse tamamını içeren yakıt, her yıl çıkartılır. Bir reaktörün ömrü dolduğunda, ~~reaktörün yakıtı çıkarılır ve reaktörün yakıtı çıkarılır~~

~~reaktörün yakıtı çıkarılır ve reaktörün yakıtı çıkarılır~~
DAİRE BAŞKANLIĞI

çıkartılarak yeniden işlemeye gönderilir ve yüksek seviyeli atık olarak ortadan kaldırılır. Çok az radyoaktivite taşıyan geriye kalan donanım, düşük seviyeli atık haline gelir. Bunlara ne yapılacağına ilişkin birkaç öneri vardır ve şimdiye kadar birkaç küçük reaktör bu işleme tabi tutulmuştur. Çalışmalar, bu sürecin, elektrik maliyetinin küçük bir yüzdesi kadar bir miktara mal olduğunu göstermektedir.

Çeşitli Diğer Konular

S: Uranyum kaynaklarımız ne kadar süreyle yeterli olacaktır?

Y: Mevcut reaktörlerin yakıtı da hesaba katıldığında, önümüzdeki 30 yıl boyunca tesis inşa etmeye devam edebilir ve her birine ömrü boyunca yetecek kadar yakıt sağlayabiliriz. Ancak üretken reaktör teknolojisine geçmemiz gerekecektir zaten. Bu teknolojiyle, elektrik fiyatını hiçbir şekilde etkilemeksizin, yakıt kaynağımız sonsuza dek yetecektir (bkz. 7. Bölüm)

S: Nükleer güç gerekli midir?

Y: ABD, yakın gelecek olarak nitelenen süre boyunca kömürle idare edebilir. Bu yöntem, hem daha pahalı hem de sağlığımız ve çevre açısından daha tehlikelidir; ancak yine de buna dayanabiliriz. Diğer ülkeler için, durum çok daha olumsuzdur. Batı Avrupa'nın ve Japonya'nın bize göre daha az kömürü vardır ve petrol tükendiğinde ya da ekonomik veya politik nedenlerle ihraç edilmediğinde, nükleer güce umutsuzca ihtiyaç duyacaklardır. Onlar için nükleer güç, herhangi bir diğer alternatiften çok daha ucuzdur.

S: Teröristler, bir nükleer güç tesisini ele geçirdiklerinde ne gibi bir zarara yol açabilirler?

Y: Herşeyden önce, kendileri de dahil binlerce insanı öldürecek çok kötü bir kazaya neden olabilirler. Bununla birlikte, kurbanların hemen hiçbirinde anında ortaya çıkan etkiler görülmeyecek, insanlar, 15-50 yıl içinde kanserden öleceklerdir. Kanser normal nedenlerle ve yüksek oranda görüldüğü düşünülürse, fazladan görülecek bu vakalar farkedilir nitelikte olmayacaktır (bkz. 3. Bölüm). Öte yandan, teröristlerin birçok insanı anında öldürebilecekleri birçok diğer yol vardır. Örneğin,

büyük bir binanın havalandırma sistemine zehirli bir gaz koyabilirler. Diğer örnekler, 7. Bölüm'de verilmiştir.

Nükleer güç tesislerinin, çok sıkı güvenlik önlemleri vardır. Her zaman görev başında olan bir düzineden fazla silahlı koruma, içeriye gizlice girmeye çalışanları tetkik edecek elektronik aletler, acil durum uygulamaları ve telsiz bağlantısı bunlardan bazılarıdır. Bir nükleer tesisi etkin olarak sabote etmek için, oldukça fazla teknik bilgiye ya da bir kamyon dolusu patlayıcıya ihtiyaç vardır.

Teröristlerin *tek* istediği, elektrik üretim kapasitesine zarar vermek olsaydı, bir termik santrali sabote etmeleri çok daha kolay olurdu. Termik santrallerde adeta hiç güvenlik önlemi yoktur ve bu santraller, sabotaja karşı da hiç dayanıklı değildir.

S: Reaktörler silah fabrikalarına dönüştürülebilir mi?

Y: Eğer bir yeniden işleme tesisi varsa, güç reaktörlerindeki plutonyum bu iş için kullanılabilir; ancak kalitesiz olur (bkz. 7. Bölüm). Hemen hemen her durumda, nükleer silah isteyen her ülke için, plutonyumu başka yollarla üretmek çok daha ucuz, hızlı ve kolaydır. Böylece bombaları daha yüksek bir patlama gücüne ve güvenilirliğe sahip olacaktır.

S: Neden ABD güneş enerjisini bir kenara bırakıp, nükleer enerjiyi geliştirdi?

Y: Tarafsız bir analiz, nükleer güçten enerji elde etmenin, aynı şeyi güneş enerjisiyle yapmaya oranla çok daha ucuz olduğunu gösterecektir. Üstelik güneş enerjisi, hava güneşliken işe yarar ve bu yüzden de ana güç kaynağı olarak kullanıldığı takdirde sorunlar ve maliyet artar.

Hiç kimse, o sıralarda nükleer güce karşı yapılan politik muhalefetin, ABD'de fiyatları yükselten etken olduğunu anlayamadı.

S: Atığın ortadan kaldırılmasının ve kullanım ömrü bitmiş santrallerin iptal edilmesinin⁸⁰ maliyetleri de yapılan nükleer güç tahminlerine dahil midir?

Y: Atığın ortadan kaldırılması, nükleer güçle üretilen elektriğin maliyetinin yalnızca %1'i kadar bir miktara mal olur. 1982'de Kongre, bu maliyeti karşılayacak bir vergi yasası

tasarısı çıkarmıştır (aslında vergilerden elde edilen gelir, bu amaç için fazladır bile). Tesisin iptal edilmesinin masrafları, kuruluşun kendisi tarafından karşılanacağından bu kısmı, müşterilerin ödeyeceği oranın içine dahil ederler ve bu da müşterinin ödediği kısmın %1'i kadardır.

S: Anlattıklarınız bizim anlayamayacağımız kadar teknik. Bilimle ilgisi olmayan birinin söylediklerinizi anlamasını nasıl bekliyorsunuz?

Y: Anlattıklarımı anlaşılır kılmak için elimden geleni yaptım. Bununla birlikte, nükleer güçle ilgili olarak yapılan eleştirilere, nükleer güce karşılık alternatif teknolojilerin yol açacağı ölüm vakalarının sayısını gösteren *nicel* değerler belirtmeksizin karşılık vermek olanaksızdır. Bu değerlere yer veremeyerek, herhangi bir teknolojinin, daha tehlikeli ya da daha güvenli görünmesini sağlayabilirim. Bu nicel değerlerle uğraşmak istemiyorsanız, bilim çevresinin büyük bir çoğunluğu tarafından kabul edilmiş olduklarını göz önüne alarak bunları doğrudan kabullenebilirsiniz. Sonuçlardan en kısa şekilde 4. Bölüm'de bahsedilmiştir (parantez içindekiler, nükleer karşıt etkinsicilerin esas aldığı sonuçlardır): tüm elektriğimizi nükleer enerjiden sağlamak, ortalama ömrümüzü bir saatten az bir miktar kısaltır (1.5 gün); bir sigara tiryakisinin, her 15 yılda (3 ayda) fazladan bir sigara içmesi; fazla kilolu birinin 0.3 gr (24 gr) daha alması ya da ABD otoyol hız limitinin 90'dan 90,01 (90.6) km'ye çıkarılması kadar tehlike taşır ve standart boy araba yerine küçük araba kullanmaktan da 2,000 kez (30 kez) daha az risklidir.

Nicel risk değerlendirmelerine bakmak ya da sonuçlarını kabul etmek istemiyorsanız, o halde nükleer güç konularında fikir yürütmekten de kendinizi men etmelisiniz. Nicel risk değerlendirmelerine oldukça büyük bir ağırlık vermeksizin, biri nasıl olur da mantıklı fikirler üretmeye kalkabilir hiç anlamıyorum.

12. BÖLÜM

Bir Yardım Çağrısı

Bu kitaba, nükleer güçle ilgili konuların halk tarafından çok büyük ölçüde yanlış anlaşıldığını göstererek başladım. Anketler, gerçekleri en iyi bilecek konumda olan uzmanlara kıyasla halkın, nükleer güçten çok daha fazla korktuğunu ve bu teknolojiyi kabul etme konusunda da çok daha isteksiz olduğunu gösteriyor. Bu yanlış anlama durumunun birçok nedeni vardır. Bunlara kısaca tekrar bir göz atalım:

1. Korkunç Derecede Abartılmış Radyasyon Korkusu

Halk radyasyona çok yeni, esrareniz ve son derece tehlikeli bir şey olarak bakar. Ancak radyasyonla ilgili olarak *yeni* bir şey yoktur. İnsanoğlu, her zaman, nükleer güçten alabileceğinden *yüzlerce kez daha yüksek* seviyelerde radyasyona maruz kalmıştır. Aynı karşılaştırma, yeni bir radyasyon kaynağı olan, ilk kez bu yüzyılın başında tanınan ve en az iki kuşaktır korkusuzca kabul edilen röntgen ışınları için de geçerlidir. Üstelik, hava yolu uçuşları, fosforlu kadrani olan saatler, televizyon, tuğlalar, binalarımızın inşaatında kullanılan sıva ve normal olarak kabul gören birçok diğer madde ve etkinlik, daha büyük ölçülerde radyasyon etkilenimine neden olur. Bu kaynaklardan alınan radyasyon, nükleer sanayinin getirdiği radyasyondan daha farklı bir şey değildir.

Nükleer gücün esrareniz bir yanı da yoktur; en azından bilim adamının gözüyle bakıldığında. Radyasyon, sağlıksal etkileri hava kirliliğine, gıda katkı maddelerine, kimyasal maddelere, yani herhangi bir diğer çevresel tehdit unsuruna göre daha iyi anlaşılmış olan, basit bir fiziksel olaydır. Üzerinde bilimsel çalışmalar yapılmış ve 40 yıldan fazladır da yaygın bilimsel araştırmalara konu olmuştur. Basının yarattığı imajın tersine, bilim çevresinde, radyasyonun sağlığa olan etkileriyle ilgili olarak çok az görüş ayrılığı vardır.

Radyasyon ne kadar tehlikelidir? Bu nicel olarak değerlendirilmesi gereken bir sorudur ve başka türlü ele alındığında karmaşaya neden olur. Basının çok geniş yer ayırdığı tüm kazalarda, radyasyona maruz kalanların sağlıklarına bir zarar gelmesi olasılığı, bir milyonda birdir. Aslında söz konusu etkilenim, tek bir röntgen ışınının yol açtığından çok daha azdır ve her birimizin birkaç gün içinde doğal kaynaklardan aldığı miktardan daha fazla değildir. Düşük seviyeli radyasyonun tehlikeli olmamasının nedeni, bize zarar verebilecek minimum miktarda radyasyon içeriyor olması *değildir* -tek bir radyasyon parçacığı bile kansere yol açabilir (birçok kimyasal maddenin tek bir molekülü gibi). Gerçek neden, kansere yol açma *olasılığının* son derece düşük olmasıdır (bize çarpan her bir parçacık için 50 katrilyonda bir). Doğal kaynaklar nedeniyle bize her saniye çarpan 15,000 parçacığın -yılda 500 milyar parçacık- pek risk taşımamasının nedeni budur. Radyasyonla oynadığımız bu şans oyununun, zorunlu olarak katıldığımız binlerce ölümcül oyundan yalnızca biri olduğunu anlayabilmek çok önemlidir. Aldığımız her soluk, yuttuğumuz her bir yiyecek kırıntısı, dokunduğumuz herşey ya da herkes, üzerimize esen rüzgar, attığımız her adım, yerimizde durduğumuz her dakika; bizim için ölümcül olacak bir maddenin molekülünü, bir mikro organizmayı ya da yıldırımından düşmeye kadar birçok tehlikeyi beraberinde getirebilir. Bizi kurtaran tek şey, bu şans oyunlarında olasılıkların bizim lehimize olmasıdır. Radyasyon içinse olasılıklar, normalden de olumludur: 50 katrilyonda bir olasılık oldukça iyidir.

Basında yayınlanan aşırı derecede fazla ve yanıltıcı haberin bir sonucu olarak, halk radyasyon korkusuyla *çılgın* hale getirilmiştir; öyle ki, tehlikelerinin algılanışı, gerçeğe ilgisini tamamen yitirmiş; bu tehlikelerin birçok diğer riskle karşılaştırılması için gereken gerçekçilik yok olmuştur.

2. Bir Reaktör Erimesi Kazasının

Oldukça Çarpıtılmış Tablosu

Kaza sonrası yapılan tüm çalışmalar tersini gösterse de halk, Three Mile Island kazasının toplum sağlığına yönelik bir felâ-

kete yaklaştığına inandırılmıştır. İnsanlar, reaktör kor erimesinin son felaket olduğuna inanmaktadırlar; oysa bilimsel analizler çoğu erimenin, bir tek ölüme bile yol açmayacağını göstermektedir. Halk, nükleer enerjinin, mevcut temel elektrik üretim yöntemimiz olan termik santraller kadar tehlikeli olabilmesi için, ABD'de her iki haftada bir erime kazasının olması gerektiği gerçeğini bir türlü anlamamakta; olası donanım kullanım hatalarına, insanların yapacağı hatalara ve birçok diğer unsura karşın bir erime kazasını son derece olasılık dışı kılan sayısız güvenlik özelliğine ve savunma boyutuna değer vermemektedir. İnsanlar, içeride ne olursa olsun, halkı tehlikeden koruyacak olan güvenlik kabuğunun sağladığı büyük güvenlik payını da hiçe saymaktadırlar. Çünkü basının yayınladığı haberlerle ve duygu sömürüleriyle yanlış yönlendirilerek reaktör kor erimelerinin, karşılaştığımız en büyük tehdit olduğuna inandırılmışlardır. Oysa ülkedeki en önemli nükleer karşıtı etkinlik örgüt olan Duyarlı Bilim Adamları Birliği'nin tahminlerini dikkate aldığımızda bile nükleer güç, hava kirliliğinin, düşmenin, banyo yaparken boğulmanın, elektrikle çarpılmanın, zehirlenmenin, yanmanın ya da birçok diğerinin taşıdığı risklerle karşılaştırıldığında çok daha az tehlikelidir.

Ne yazık ki reaktör kazalarının karmaşıklığını ve potansiyel sonuçlarını anlamak, teknik ayrıntıları dikkatlice incelemeyi gerektirir. Gerçekte, bir güvenlik sorunun ne olduğu ve ne olmadığı bile tam olarak anlaşılmış değildir. 3. Bölüm'de bu soruları çözmeye ve gerekli bilgiyi vermeye çalıştık.

3. Riski Anlama ve Niteleme Konusundaki Başarısızlık

Çoğu bilimsel analizlere göre, bugün ABD'de tüm elektrik nükleer güçle sağlanacak olsaydı; buna bağlı olarak sıradan bir Amerikalı'nın ortalama ömür kaybı, OÖK, yalnızca bir saat olacaktı. Duyarlı Bilim Adamları Birliği'nin tahminlerini dikkate aldığımızda, bu sonuç 1.5 gündür. Buna karşın, sigara kullanımının, bekar olmanın, yoksul ve/veya eğitimsiz olmanın, vücut ağırlığının %10 daha fazla olmasının, kömür madeni işçisi olarak çalışmanın, polis ya da gemi işçisi olmanın ve Birleşik Dev-

letler'in Güneydoğu kesiminde yaşamının yol açtığı OÖK, birkaç yıl kadardır. Bu risklerin her biri, nükleer gücün risklerinden en az 10,000 kez daha yüksektir. Küçük araba kullanma, herhangi bir meslekte iş kazası geçirme ve öldürülme gibi risklerin yol açtığı OÖK, 40-100 gün arasında değişir. Nükleer gücün hayatımızda olması durumuyla karşılaştırıldığında, bunların her biri en az bin kez daha tehlikelidir. Nükleer gücün başlıca alternatifi olan termik santrallere bağlı hava kirliliği 13 gün, elektrik sanayiinin bir başka yönü olan elektrik çarpması ise 5 günlük bir OÖK'ya neden olur. Hangi açıdan bakırsa baksın, nükleer gücün yol açtığı OÖK, gerçekten önemsizdir.

Durumu ifade etmenin bir başka yolu da, tüm elektriğin nükleer güç sisteminden sağlanması halinde ortalama bir Amerikalı için söz konusu olacak riske eşdeğer diğer risklerin bir listesini yapmaktır. Verilen sayılar, Duyarlı Bilim Adamları Birliği'ninkileri de içeren bilimsel tahminlerdir. Bu eşdeğer risklerden bazıları, sürekli olarak sigara kullanan birinin, her 15 yılda (her 3 ayda) fazladan bir sigara içmesi; fazla kilolu birinin 0.3 gr (24) daha alması; ABD otoyol hız limitinin 90 km'den 90.01 km'ye (90.6) çıkarılmasıdır.

Bugünkü olanaklarla, termik santrallerden elektrik elde edilmesi, aynı işi nükleer yakıt kullanarak yapmaktan 300 (10) kez daha tehlikelidir. Nükleer santral yerine kurulan ve kömürle çalışan her bir santral, hiç gerek olmadığı halde yüzlerce vatandaşımızı erken ölüme mahkum etmektedir. Duyarlı Bilim Adamları Birliği'nin nükleer güçle ilgili tahminlerini kabul ettiğimizde de, durum geçerliliğini sürdürür.

Petrol, gaz, güneş enerjisi ve hidroelektrik gibi enerji kaynakları da halk sağlığı için nükleer güce göre daha tehlikelidir. Ancak tüm enerji stratejileri içinde sağlığa en zararlı olanı, korkunç boyutlara varmış olan tutuculuktur -önlemler alarak enerji kullanımını azaltmaya çalışmak, atığı ortadan kaldırmanın ötesinde bir şeydir.

Halkın radyasyona karşı duyduğu çılgınca korkunun bazı trajik sonuçları vardır. Sağlık bakımına ve otoyol güvenliğine yapılacak harcamalarla, kişi başına 100,000 dolardan az bir

miktar karşılığında her yıl binlerce hayat kurtarılabildi; oysa nükleer enerji kaynaklı radyasyondan korunum için, kişi başına on milyonlarca dolar harcamaktayız. Bu, hükümetimizin halkın endişe duyduğu konulara eğilmek zorunda olmasının bir sonucudur. Sorun, halkın ilgisinin, geçerli bilimsel bilgiler yerine basın tarafından yönlendirilmekte olmasından kaynaklanmaktadır. Böylece de daha önemli olan riskleri bir kenara bırakarak, nükleer enerjinin risklerini abartan basın yüzünden her yıl boşu boşuna binlerce insan ölmekte, milyarlarca dolar sokağa atılmaktadır.

4. Radyoaktif Atığın Ortadan Kaldırılması Konusunda Son Derece Haksız Korkular

Radyoaktif atığımızı ne yapacağız? Kayalara dönüştürüp, kayaların doğal ortamı olan yerin altına gömeceğiz. Bu güvenli midir? Kayaya dönüştürülmüş olan atık diğer kayalar gibi davranırsa, bu yöntem son derece güvenlidir ve kömürün atıkları ile karşılaştırıldığında, insan sağlığı için çok daha az zararlıdır. Gömülü atık ve diğer kaya arasındaki bu karşılaştırmanın geçerliliği, araştırma- larla sabittir.

Radyoaktif atığın tehlikeleri konusunda uygun bir bakış açısı sağlayan birçok diğer karşılaştırma vardır. Kömürün yanmasına bağlı olarak çıkan ve bu teknolojinin en önemli atıklarından biri olan hava kirliliğine göre, çok daha az ölüme yol açacaktır. Kömürün yanması sonucu açığa çıkan ve sonsuza dek varlığını sürdürecektir olan bazı maddeler -berilyum, kadmiyum, arsenik, nikel ve krom- aynı miktar elektrik üretmek sonucu çıkan nükleer atıkla karşılaştırıldığında, binlerce kez daha fazla ölüme neden olacaktır. Güneş enerjisi sistemlerinin üretilmesi ve yayılması sonrasında çıkan atıklar da, nükleer atıklara göre çok daha fazla insanın ölümüne neden olacaktır.

Uranyumun radyoaktif bozunumu sonucu çıkan ve doğal olarak radyoaktif bir gaz olan radonla ilgili sorunlar, konuyu bir başka açıdan görmemizi sağlar. Isı kaybını önlemek için binaların izolasyonun artırılması, radonun içeride kalmasına neden olur ve çok daha fazla ölüme yol açar. Konu radyasyon olduğunda, enerji tasarru-

fu en tehlikeli stratejidir. Uranyum kömürde saf olarak bulunur ve kömür yandığında o veya bu şekilde açığa çıkarak, toprağa ulaşarak bir radon kaynağı oluşturur. Kömürün yanmasından çıkan atıklar, yalnızca bu yolla bile, nükleer enerjiye göre binlerce kez daha fazla insanın ölümüne neden olur. Artıklardan çıkan ve radon yayan atıklar, en dikkatli şekilde ele alınsalar bile yüksek seviyeli atığa göre 30 kez daha fazla insanın ölümüne yol açarlar. Bu durumda yalnızca nükleer atıkları göz önüne alacak da olsak, yüksek seviyeli atıktan çok üretim artıklarından çıkan radon konusunda endişe etmeliyiz. Ancak basında yayınlanan yüksek seviyeli atıklar olduğundan, halkın hemen hemen tüm endişesi bu alandadır; dolayısıyla hükümetin tüm dikkati ve parası da bu yönde harcanır.

Nükleer güç sanayi kaynaklı radonun en önemli sağlıksal etkisi, uranyumu kazarak çıkarmak ve böylece gelecekte radon etkilenimine neden olacak bir kaynağı ortadan kaldırmak yoluyla *kurtarılan* hayatlardır. Bu işlem, yüksek seviyeli atığa bağlı olarak kaybedilen her hayata karşılık, on binlerce hayatın kurtarılmasını sağlar.

Nükleer sanayi kaynaklı yüksek seviyeli atık ve transuranik atık, düşük seviyeli atıktan daha az tehlikelidir. Radyoaktif atığın nakliye sırasında arz ettiği tehlikeler ise çok önemsiz boyuttadır. Örneğin, nükleer atığın nakliyesi sırasında radyasyonun açığa çıkmasına bağlı olarak görülecek hayat kaybının, kömürün nakliyesine bağlı olarak görülecek ölümlerin 1/100,000'i kadar olması beklenmektedir. Bugüne kadar nükleer atığın nakliyesi sırasında ortaya çıkmış tüm kazaları göz önüne alarak, tek bir ölüm olayı görülmesi olasılığını %1 olarak hesaplarız. Radyoaktif atık konusunda gösterilen bazı politik etkinlikler ve basının etkinlikleri, halkın kandırılmasına ve yanlış yönlendirilmesine neden olmuş; hükümetin, vergi mükelleflerinin paralarını utanç verici bir şekilde sokağa atmasına yol açmıştır. İşte ülkemizdeki gerçek atık sorunu budur.

5. Plutonyum Konusunda Duyulan Korkular ve Nükleer Güçle Nükleer Bombalar Arasındaki Bağlantı

Plutonyumun, insanoğlunun başına bela olduğu düşünülür; oysa plutonyum üretken reaktörlerde kullanıldığında, fiyatlar da hiçbir artış olmaksızın, insanlığın gereksinim duyacağı tüm

enerjiyi sonsuza kadar sağlayabilir. Dolayısıyla gelecekte, onun Tanrı'nın en büyük lütfu olduğu düşünülebilir. Nükleer güç ve nükleer silahların yayılması konusunda yapılan çalışmalar sonucunda bu bağlantının çok zayıf olduğu bulgulanmıştır. Nükleer silah geliştirmek isteyen bir ülke, ancak olağanüstü durumlarda, bu iş için nükleer güç santrallerini kullanmayı düşünebilir. Normalde daha tahrip edici ve güvenli bombalar üretebileceği çok daha kolay, ucuz ve hızlı yöntemler vardır. Tabii bu durumun, ABD'deki nükleer güç kullanımıyla bir ilgisi yoktur.

Teröristlerin plutonyum çalarak nükleer bomba yapması olasılıkları, oldukça abartılı bir fikirdir. Teröristler plutonyumu çalma ve bombaya çevirme girişimlerinde oldukça caydırıcı engellerle karşılaşacaklardır. Üstelik, yapacakları kabataslak bombalar, çok daha kolay yöntemlerle elde edeceklerinden daha tahrip edici özellikler sağlamayacaktır.

Plutonyumun zehirliliği konusundaki tehlikeler de son derece abartılıdır. Sürekli kullanılan ifadelerin tersine plutonyum, bilinen en zehirli madde *değildir*; ciğerlere ulaşan tek bir parçacık da ölümcül *değildir* ve basın tarafından uydurulan diğer korkunç abartılar da aynı ölçüde yanıltıcıdır. Nükleer güç konularında hal-kın yanlış propogandalarla yönlendirilmesine bir örnek de budur.

6. Güneş Enerjisiyle Üretilen Elektriğin Nükleer Enerjinin ya da Kömürün Yerini Alabileceği veya Alması Gerektiği Şeklindeki Romantik Fikir

Güneş enerjisiyle üretilen elektriğin iki sorunu vardır: (1) fiyatı bugün elektriğe ödediğimiz miktardan her zaman için daha yüksektir ve öyle de olmak durumundadır ve (2) verimliliği günle gece, yazla kış, bulutlu havayla açık hava arasında değişiklik gösterir. Hükümetin, güneş enerjisi programıyla ilgili uzun vadeli hedefleri, toprağın, her biri 2.5 cm çapında, dışarıdaki hava koşullarına 20-30 yıl dayanabilecek oldukça yeterli elektronik cihazlarla kaplanmasını ve tüm bunların, bugün aynı alanları çimentoyla kaplamak için ödediğimiz kadar bir maliyete çıkmasını içerir. Bu mucize başarılsa bile elektirik, bugün ödediğimizin 5 katı bir maliyete çıkacaktır.

Tüm elektriğimizi bu teknolojiyle sağlayacak olursak, güneş enerjisinin değişkenliğiyle birlikte yaşamak daha da zor olacaktır. Güneşli bir günde gece kullanmak üzere enerji depolamak, bir eve yılda bin dolara mal olacaktır. Bu rakam, bugün bir evin elektrik için ödediği toplam ücretten birkaç kez daha fazladır. Peşpeşe birkaç bulutlu gün boyunca hizmet sağlamak daha da pahalıya gelecektir. Bu sorunlar nedeniyle güneş enerjisi uzmanları bu teknolojiyi, nükleer güç ya da kömürle üretilen elektriğe ek bir kaynak olarak görüyorlar. Ne var ki halk bunu anlamıyor. Yine basının çarpıtmasına ve yanlış yönlendirici propogandasına bağlı olarak, oldukça iyimser bir düşüncenin de yardımıyla halk, nükleer güce ya da kömüre gereksinim duymaksızın, Güneş'in sağladığı "bedava" enerjiyle yetinebileceğimizi sanmaktadır.

Güneş enerjisi kaynaklı elektrik ne aşırı derecede ucuz ne de kirlilik yapmayan bir yöntemdir. Aslında, nükleer enerjiye kıyasla sağlığımız için önemli ölçüde daha tehlikelidir. Burada halk yine aldatılmıştır.

Yanlış anlamaların bir sonucu olarak halktan gelen baskı, Nükleer Yönetmelik Komisyonu'nu, nükleer gücün maliyetini oldukça yükselten bazı sınırlamalar getirmeye yöneltti. Sonuçta, bir kuruluşun yeni bir nükleer güç santrali ismarlaması olanaksız hale geldi ve şu an inşaat halinde olan santrallerin maliyetleri de aşırı derecede arttı.

Bu çılgınlık, bugün için çok fazla zararlı olmamakla birlikte, yakın bir gelecekte ABD'de elektriğin maliyeti, şu anki dolar kuru üzerinden iki kat artacaktır. Aynı durum, Batı Avrupa ve Japonya için de geçerlidir. ABD elektriğinin dünyanın en ucuz elektrikleri arasında olduğu günler de geride kalmaktadır. Bu durumun ekonomimize yükleyeceği yük, oldukça ciddidir.

Özetle, kitapta anlatıldığı gibi, halkın yanlış algısının sonuçları çok trajiktir. Bu sonuçlar, her yıl ülkemize binlerce hayata, milyarlarca dolara mal olmaktadır ve rahatlıkla ekonomimizin çökmesine, fiyatların katlanarak artmasına neden olabilir.

Bu trajediden kim sorumludur? Yanlış anlamaların sorumluluğu, halkın bilgi kaynağı olan basına aittir. Basın mensupları, nükleer güçle ilgili yayınlarını insafsızca çarpıttılar. Bazı

durumlarda hareketleri bilinçsizceydi; ama çoğu durumda kendilerini yönlendiren, asıl işlerinin eğlendirme olduğu gerçeği-ydi. Okuyucularını kaybetmemek için gerekli olan eğlendirme ve ilgi çekmeyle karşılaştırıldığında halkı eğitmek, ikincil bir öneme sahiptir. Böylesine rekabetçi bir sektörde, basın pazarının başka türlü ayakta kalmasına olanak yoktur.

Bu trajedideki kurban ve aynı zamanda suçlu, Amerikan halkıdır. Gereksinim duyduğu bilgiyi, eğlendirici bir şekilde almayı istediği; bilimsel konularda bilim adamlarının görüşlerine kulak vermek yerine basın tarafından yönlendirilmeyi kabullendiği ve böyle kararlar almak için gerekli nicel bilgiyi elde etmeksizin, bilimsel ve teknolojik konularda halk politikası oluşturmak için demokratik haklarını kullanmaya çalıştığı için Amerikan halkı, bu trajediye kendisi neden olmuştur.

Ancak suçlamak yerine, bu trajediye bir son vermek ya da en azından azaltmak için ne yapılabileceği sorusunu ele almak gerekir. Eğitim ya da deneyim süreci içerisinde benim bu alanda uzman, hatta pratisyen sayılmamı sağlayacak çok az şey vardır. Bu kitap, gerekli uzmanlığa sahip herhangi bir okuyucuya yaptığım bir yardım çağrısıdır. Bilim çevresi içinde biz, mümkün olan her şekilde yardıma hazırız. Bilgi sağlayacak, istenilen şekilde iletecek ve bizi anlayabilecek kitleler için konuşmalar yapacak; yazılar yazacağız.

Çoğumuz, maddi bir amaç gütmeksizin zamanımızı ve enerjimizi bu gibi etkinliklere adamayı gerçekten çok istiyoruz. Tek amacımız, insanlığın, kendisini yutacak olan bu gereksiz trajediden dolayı çektiği sıkıntıyı azaltmaktır. Bu amaç uğrunda elimizden gelen herşeyi yapacağız.

Eğer yardımlarınızla halkın yanlış anlama sorununu ortadan kaldırabilir ve durumu düzeltebilirsek; nükleer gücün bize sağlayacağı nimetlerden yararlanabiliriz -son derece iyi sağlık koşulları, güvenlik ve çevre korumasıyla birlikte, son-suza dek ucuz ve bol enerji...

Dipnotlar

1. 10. Bölüm'e bakınız.
2. Bunlara ek olarak, ilk üç kışiden her birinin birer kitabı yayınlanmıştır, ancak bilimsel araştırma, onların kitapları (ve bu kitap) gibi toplum için yazılmış kitaplar ta'afından yönlendirilmez.
3. Bu tahmin, daha sonra tartışılacak olan radonun et. ülerini içermez.
4. Zaman zaman kullanılan diğer birimler, milirad ve ı uliröntgendir. Gama, X ve beta ışınları için bunların üçü de temelde aynıdır. Rem (1 rem = 1,000 mrem), mikroron (1 mrem = 1,000 mikroron) vb. de genelde kullanılır.
5. Bu hesaplama, daha sonra ele alınacak olan radon etki erini içermez.
6. Bundan aıklıkla sadece ölümcül kanserleri ifade eden "kanseri riski" olarak söz edilecektir. Miktarı belirlenmedikçe bir doz radyasyon, bu seviyeye tüm vücudun maruz kalması anlamına gelir.
7. Bir çalışmada hem görülen hem de beklenen vakaların sayını göz önüne alınıp, "beklenenden fazla", görülenin beklenen miktarı geçtiği durumdur. Beklenen sayı aynı yaş, cinsiyet, ırk ve aynı yaşama koşullarının söz konusu olduğu; radyasyona maruz kalmamış bir grup içinde bulguların sayıdır ve bunun için de sık sık ulusal istatistiklere başvurulur.
8. Yazıların sayını Argonne Ulusal Laboratuvarı tarafından da belirlenmiştir.
9. New York Times Veri Tabanı hakkındaki bilgiler, Pittsburgh Üniversitesi Kütüphanesi tarafından elde edilmiştir.
10. Tek olası istisna, danışman olarak Mancuso Çalışması'nda yer aldığı için dahil etmediğim K.Z. Morgan'dır.
11. Bu raporlar, bilimsel açıdan oldukça iyidir, veri toplar ve doğru olarak analiz ederler. Bununla birlikte her bir raporun, düşük seviyeli radyasyonun kanseri riskiyle ilgili kesin bir cevap verdiği anlamı da çıkarılamaz. Örneğin, farelere kanseri riskiyle ilgili olarak yapılan bir çalışma insanlara uygulanamaz. İnsanların yaptığı hiçbir çalışma tam olarak kontrol edilemez; beslenmedeki çeşitlilikler, kimyasal maddelere maruz kalma, sigara alışkanlığı, sosyo-ekonomik statüler, sık karşılaşılan komplikasyonlardır. Her bir çalışma, çeşitli değişkenlere göre kanıt sunar ve hepsi birlikte ele alındığında, kabul edilebilir bir risk dağılımı oluşturur. Normal olarak bilimsel sonuç, bunun ortalamasına yakın bir değerdir. Bununla birlikte, sağlık riskleriyle ilgili durumlarda, bilimsel tatbik edilebilirlik derecesine sahip, maksimuma yakın sonuçları seçmek, uzun zamandır süregelen bir gelenek olmuştur. Çünkü sağlık riskini olduğundan yüksek çıkarmanın, olduğundan düşük çıkarmaktan iyi olduğu düşünüldü.
12. Radyasyon sağlığıyla ilgilenen bilim adamlarının, endüstriye danışmanlık yapmak için çok az fırsatları vardır. Ancak, eğer para kazanmak isteselerdi, son derece iyi finanse edilmiş ve oldukça yüksek konferans ödemeleri olan nükleer karptı güçlere katılabilirlerdi.
13. Burada "iyi özellikler", insan soyunun hayatta kalmasına yardımcı olan kalıtsal özelliklerdir.
14. Japonya'da atom bombası sonrası hayatta kalan insanlardan elde edilen verilere dayanan hazırlanmış ve insanların genetik hasara karşı farelerden dört kez daha az duyarlı olduğunu öne süren bir rapor vardır [32]. Bununla birlikte danıştığım genetikçiler, bu raporu yaygın kullanım için yeterince kesin bulmadılar.
15. Kendiliğinden ortaya çıkan mutasyonlar, temelde kimyasal reaksiyonlardır. Kimyasal reaksiyonların ısıyla hız kazandığı gerçeğine yemek pişirme, sıcak suyla çamaşır yıkama, iyileşmeyi hızlandırmak için ısı yastıkları kullanma, ya da ateş yakmak için kibrit kullanma gibi etkinlikler dolayısıyla yabancı değildir.
16. Daha önce ele alınan genetik etkiler gebelikten önce ebeveynlerin cinsiyet hücrelerine verilen hasara bağlıdır. Burada ele alınan etkiler ise, gebeliğin başlangıcından çok sonra verilen hasara bağlıdır.
17. Normal olarak "beklenen", aynı yaş, cinsiyet, ırk, sosyo-ekonomik statü, coğrafi çevre, vb. grubuna dahil

kişiler üzerinde bulgularan istatistik veri anlamına gelir. Birçok vakada, aynı yaş ve cinsiyet dağılımı grubuna dahil Amerikalılar (ya da aynı eyaletten olanlar) için söz konusu olan veri kullanılır. Lösemin ortaya çıkması, yaşla doğru orantılı olarak hızla (35-70 yaş arası on kat daha fazla) arttığı için yaş dağılımı çok büyük önem taşır.

18. Neredeyse bilgimin ve deneyiminin tamamı A.B.D.'de Westinghouse, Babcock and Wilcox ve Combustion Engineering tarafından üretilen 'Basınçlı Su Reaktörü' (PWR: Pressurized Water Reactor) ile sınırlıdır. Bu ülkedeki reaktörlerin %70'i bu tiptir. Buradaki tartışma genel olarak onları konu alır.

Biri dışında geriye kalan %30 ise General Electric tarafından üretilen "Kaynar Su Reaktörleri"dir (BWR: Boiling Water Reactor). Bunların güvenlik sorunları ve korunma sistemleri genelde aynı, ancak ayrıntılarda farklıdır. Ben, burada onlar hakkında tartışabilecek kadar bilgiye sahip değilim. Bunlardan yalnızca halkın ilgisini çektikleri birkaç durum itibarıyla bahsedilecektir.

Reaktör kazaları ve güvenliği konusunun büyük bir kısmı, benim ana uzmanlık dalım dışındadır. İkinci konu, kazalarda radyoaktivite çevreye yayıldıktan sonra ne olduğu konusunu kapsar. Ancak konunun en önemli noktası olan kaza nedenleri ve bunlara karşı korunmalar konusunda sadece bir tane araştırma raporu hazırladım. Bu bölümün, dolayısıyla, 2., 4., 5., 6. ve 7. Bölümlere göre daha az yetkin olduğu düşünülebilir. Bununla birlikte bu bölümü hazırlarken oldukça fazla miktarda yayın okudum ve uzmanlarla tartıştım.

19. Radyoaktif toz filtrelerde tutulur ve 6. Bölümde anlatılacağı şekilde yokedilir.

20. Daha açık söylemek gerekirse, bu akış normalin %10'una indirilmişti.

21. Örneğin bir yıl içinde işleyen yüz reaktör, yüz reaktör yıllık işleyiş oluşturur. Kazalar oldukça rastgele olaylar olduğundan santralin yaşına bakılmaksızın (Three Mile Island kazası yalnızca birkaç aydır işleyen bir reaktörde oldu) kaza sayısı reaktör yılına oranlı olmalıdır. Deneyim kazanma sonucu reaktör yılı başına düşen kaza sayısı düşmelidir, ancak burada bu, hesaba katılmamıştı.

22. Şuna dikkatinizi çekmek isterim ki yukarıdaki veriler, her üç kor erimesinden birinde koruma kabuğu hatası (veya yokuşu) durumunu varsayan oldukça kötümser bir varsayuma dayanmaktadır.

23. Yeni yapılmış olan bazı analizlere göre [26] Rasmussen Çalışması'nda bahsedilen kazaların hiçbirinden tetkik edilebilir ölüm beklenmemektedir.

24. [30] numaralı kaynağa göre 200 milyon ile 2 milyar dolar arasındır. Biz geometrik ortalama kullanıyoruz.

25. Tehlikeli kimyasal maddelerin söz konusu olduğu kazaların ardından halkın bir bölgeden kitlesel olarak tahliyesi, görelî olarak bilinen bir durumdur. Three Mile Island kazasından birkaç ay sonra Toronto'nun bir banliyösünde 100 kadar insan bölgeden çıkarılmıştı.

26. Katı maddelerde bile bazı atomlar bulundukları yerden hareket edebilir. Bu bazen, ısındığında paslanmaz çelikteki krom atomlarına da olur.

27. Şekil 14'teki eğriler, CFC'nin soğutma kapasitesi (16.4 megawatt esas alınmıştır; oysa bunlar genelde 23 megawatt giderecek şekilde tasarlanır) ve koruma kabuğunu kıracak basınçla ilgili (atmosfer basıncının 7 katı esas alınmıştır oysa bu en iyi tahminlere göre 10.5 atmosferdir) konservatif hesaplamalarla oluşturulmuştur.

28. Bu rakamlar, evlilik statüsü ile ilgili çalışmanın yapıldığı 1968 istatistikleri esas alınarak verilmiştir. 1979 istatistiklerine göre bir beyaz erkeğin ortalama ömrü, 70.6 yıldır.

29. Gidilen her km başına risk, yayaalar için daha fazladır, ama motorlu taşıtlarla çok daha fazla yol alırız.

30. Bu, kısa vadeli etkilerle ilgilidir. Uzun vadeli etkiler 5. Bölüm'de anlatılacaktır.

31. Bu örnek, olduğu gibi, 1975 dolarına göredir. Maliyetler enflasyon yüzünden ikiye katlanmıştır. Ayrıca jinekologün vizitesi de bir Pap testinkinden çok daha yüksektir. Bekleme süresi, yararlı ya da dindendirici bir şekilde değerlendirilebileceğinden maliyete dahil edilmemiştir (örneğin, okuma).

32. OMB (Office of Management and Budget: İdare ve Bütçe Bürosu), ABD hükümetinin harcamalarını kontrol eder.

33. Örneğin 100 kişinin her biri 100 mrem'e maruz kalırsa toplam etkilendirim 100 mrem olur.

34. Cam kimyasal maddelerin bir bileşimidir ve uygun forma sahip herhangi sayıda kimyasal madde, bu karışıma dahil edilebilir. Radyoaktif maddeler de bu forma dönüştürüldüğünde camın bir parçası haline gelirler.

35. İlaçların kısmına bakınız.

36. İlaveler kısmına bakınız.

37. Örneğin bir miktar atığı bin insana yedirmenin, her birine 1/10 risk verdiğini düşünelim. Sonuçta (1 / 10 x 1,000 =)100 ölüm bekleriz; ancak aynı toplam miktar 10,000 insana verilirse, her biri bunun onda biri kadar yiyecek, dolayısıyla yalnızca 1 / 1,000 risk alacaklardır. Yani beklenen ölüm sayısı yine (1 / 100 x 10,000 =)100 olacaktır.

38. Bir sonraki bölümde anlatılacak olan uranyum madenciliği sonucu çıkan atıklar burada ele almıyoruz.

39. Her yıl kazalarda 110,000 Amerikalı ölmektedir (31), yani günde 300 kişi. ABD nüfusu 230 milyon olduğundan, her birimiz için bir günde söz konusu risk (300 / 230 milyon =) milyonda 1.3 olasılıktır.

40. Kimyasal denge, mevcut tüm maddeler arasındaki bütün hızlı reaksiyonlar tamamlandıktan sonra ulaşılan durumdur.

41. Ortalama erozyon oranının her 22,000 yılda bir metre olduğunu gösterdik. Burada maddelerin çoğunun ilk 4.5 metre içinde olduğunu belirtiyoruz (4.5 x 22,000 = 100,000).

42. Burada, sularını nehir yerine kuyulardan sağlayanlar hesaba katılmamıştır. Ancak kuyuları besleyen damarları nehirlerin kolları olarak kabul ettiğimizde yine aynı sonuca varırız.

43. Gazlar yerçekimi tarafından tutulamaz (örneğin açık bir şişede durmaz) ve topraktan dışarı, yukarıya doğru sızabilir. Bir katı ya da sıvı madde, yerçekimi tarafından tutulur ve bir dış kuvvetle yukarı itilmediği sürece sızamaz. 5. Bölüm'de atığın yüzeye doğru hareket eden yeraltı suyunu çözünmesini tartışmıştık. Bu hareket atığın, yüksek güçteki yerçekimi tarafından aşağıya, toprağa doğru çekilen su tarafından yukarıya itilmesi sonucunda oluşur. Bu, yüksek bir depodaki suyun, yerçekimi tarafından aşağı çekilmesi sonucu, bağlı olduğu borunun diğer ucundaki suyu zemine kattan üst katlara doğru itmesiyle aynı nedene dayanır. Cama dönüştürülmüş radyoaktif atık, gazı dönüşüm sırasında 1037 santigrat sıcaklığa kadar ısıtılmıştır; eğer bu sırada buharlaşma olmazsa, daha sonra da olmayacaktır.

44. Örneğin, radyoaktif madde parçacıklarını süzebilirler.

45. Nötronlar, maddeleri radyoaktif yapabilecek nükleer reaksiyonları başlatabilir. Radyoaktif maddeler tarafından yayınlanan alfa parçacıkları, beta ve gama ışınları bunu yapamazlar. Reaktörün çalıştığı zamanlar dışında, ortamda kesinlikle hiç nötron bulunmaz. Kalın kalkan duvarları, nötronların bir metreden fazla uzaklaşmasını engelleyerek, insanların zarar görmemesini sağlar.

46. Havada küçük bir toz parçacığı olarak da asılı kalabilir ve insanlar tarafından solunabilir; ancak hesaplamalar bunun, burada anlatılan diğer yollara göre çok daha önemsiz olduğunu göstermiştir.

47. Bu varsayım, radyoaktivitenin yiyecek yoluyla insan vücuduna girmesinin etkileri hesaplanırken kullanılmamıştır. O hesaplamalarda, radyoaktif malzemenin toprakta sonsuza kadar kalacağı varsayılmıştır.

48. Tankların yapıldığı maddenin parçaları, atık çözümünde asılı olarak tutulur. Belirli aralıklarla bunlardan biri çıkartılır ve aşınma belirtisi araştırılır.

49. Milyonlarca doları bir taşıma kabına yatırmanın ne kadar etkin olacağını merak edebilirsiniz. Cevap, söz konusu maddenin miktarının küçüklüğünde yatmaktadır. Büyük bir güç santralinden, yılda toplam 100 günlük bir kap kullanımını gerektiren, 20 taşıma yapılır. Sonuç olarak kap kiralrı için ödenen para, tesisin elektrik üretiminin yüzde birinden bile daha düşük bir miktar olan, yılda 1 milyon dolar gibi bir rakam olacaktır.

50. Su, nötronları yavaşlatır ve bu yolla açığa çıkabilecek maksimum enerji miktarını 1,000 kat azaltır.

51. Bazen bu maddenin isminin, zihinde şeytan olarak algılandığı; ancak gerçekte Pluto gezegeninin adı ile ifade edildiği söylenir.

52. Yeryüzünün güneşteki değişikliklere bağlı olarak erimiş bir kütle haline gelmeden önce 5 milyar yıl daha varlığını sürdürmesi beklenmektedir. Uranyum kaynağı bu süre için yeterlidir.

53. Olası üçüncü bir yakıt, uranyum-233'tür ancak bunu hesaba katmak, burada konuyu gereksiz yere karmaşılaştırır.

54. Hindistan da nükleer bir nesne patlattı; ancak bunun askeri amaçlara yönelik olmadığını iddia ediyor.

55. Araştırma reaktörlerinin belki de en önemli uygulama alanı tıpta, tarımda, sanayide, eğitimde, vb. kullanılmak üzere radyoaktif izotop üretimidir. Bir diğeri de metallerden biyolojik moleküllere kadar birçok maddenin özelliklerini araştırmak için nötron ışını uygulamaktır. Silahı ateşledikten sonra suçlunun elinde kalan barut ya

da bahistaki cıva gibi çok küçük miktarları ölçmek için en duyarlı yöntemleri sağlarlar. Araştırma reaktörlerinin, temel fizik ve kimyadan, uygulamalı mühendislik ve biyolojiye kadar çeşitlilik gösteren birçok diğer çalışma alanı vardır.

56. Üretken reaktörler ele alındığında bir şekilde daha güçlü bir bağlantı söz konusu olabilir -fakat yine de pek o kadar güçlü değil. Bununla birlikte üretken reaktörlerin, yalnızca nükleer silahların çoğaltılmasına karşı olan ülkelerde kurulmasını sağlamak pek de zor değildir. Ne olursa olsun, önümüzdeki birkaç on yıl içinde üretken reaktör kurabilecek bir ülke de yoktur.

57. Diğer kuruluşlardan en önemlisi, uranyumun fiyatının çok fazla yükselmesi halinde üretken reaktörlere ve belki mevcut reaktörlere de plutonyum üretecek olan tesislerdir.

58. Aslında Başkan Carter, konuyu 1976'daki başkanlık seçimi kampanyasında gündeme getirmişti; karşılık olarak Başkan Ford, seçimin birkaç gün önce konuyu yeniden değerlendirmek üzere yeniden işlemeyi geçici olarak durdurdu. Daha sonra Carter yönetimi, bunu uzun vadeli bir politika aracı olarak tekrar ele aldı.

59. Büyük bir üretken reaktörde 3,000 kg plutonyum bulunur ve kullandığı formda (plutonyum oksit) hacmi 0.25 metre küptür. Tüm elektrığımız bu reaktörlerden sağlanacak olsaydı; 400 reaktör; yani 1200 metre küp plutonyum olacaktı. Bu da bir oturma odasının hacmine karşılık gelir; 7 m x 6 m x 3 m.

60. TNT, yukarıda Taylor'un ifadesinde de geçen, kimyasal bir patlayıcıdır.

61. Eğer bu, 5. ve 6. bölümlerde anlatılanlara ters gibi görünüyorsa aşağıdakiler yararlı olacaktır:

• Havada saf bir toz zerresi olarak asılı kalan maddelerin, bir insan tarafından solunma olasılığı, milyonda birdir;

• Yerin altına gömülen plutonyumun, bir insan tarafından solunma olasılığı, trilyonda bir; yani bir milyon kez daha azdır;

• Yerin altına gömülen plutonyumun bir insan midesine girme olasılığı 30 milyonda birdir;

• Belli bir miktar plutonyumun solunması sonucu doğacak kanser riski, aynı miktarın mide yoluyla alınması sonucu doğacak riskten 5,000 kez daha büyüktür; çünkü mide yoluyla alınan miktarın %99.99'u dışkı olarak hemen atılacaktır. Birçok diğer madde için, solunma ve mide yoluyla alın arasındaki fark çok daha azdır.

62. Daha karmaşık bir süreç sonucu solunan plutonyum, karaciğer kanserine; daha düşük bir oranda olmak üzere de kemik kanserine yol açabilir. Burada bahaetüklerimiz, konunun basitleştirilmiş halidir

63. Radyasyona bağlı akciğer kanserinin gelişme evresi *en azından* on yıl sürer, normaldeyse bu süre otuz yıldır. Bu, 2. Bölüm'de anlatılan süredir.

64. Eğer 100,000'de biri insanlar tarafından solunduyorsa, solunan toplam miktar, yarım kilonun milyarda birdir. Solunan her yarım kilo için 2 milyon kanser bekleneceğine göre, bu durum için beklenen kanser sayısı 0.002'dir -örneğin tek bir kanserin görülme olasılığı 500'de birdir. Bu, şehirde kurulu bir tesis esas alınarak hesaplanmıştır; Rocky Flats şehride kurulu değildir, yani gerçek rakam bundan on kez daha düşük olacaktır.

65. Bu, 3. bölüm'de ayrıca anlatılmış olan reaktör kazaları sonucu olacak kaçakları kapsamaz. Bu kazalarda plutonyum çok küçük bir rol oynar.

66. Her bir reaktör yılda 500 kg plutonyum üretir; gereken 400 reaktör de $(400 \times 500 =) 2 \times 10^5$ kg. Her yarım kilo plutonyum, tamamının solunması halinde 2.3×10^6 kişiyi öldüreceğinden [27]; potansiyel ölü sayısı $(2 \times 10^5 \times 2.3 \times 10^6 =) 4 \times 10^{11}$, yarım trilyon olacaktır.

67. İzotop zenginleştirilmesi sırasında, 1 kilogram doğal uranyum 0.007; seyreltilmiş ürün ise 0.002 kilogram U-235 içerir. Yani, zenginleştirilmiş ürüne 0.005 kilogram U-235 katkısı sağlanır. Bir kilogram yakıt, bu zenginleştirilmiş üründen elde edilen 0.03 kilogram U-235 içerir. Böylece de $(0.03 + 0.005 =) 6$ kilogram uranyum girdisi gerekir.

68. Tanımından da anlaşılacağı gibi, milirad radyasyondan fiziksel etkilenebilir birimdir. Öte yandan milirem, biyolojik etkiler için bir korelasyon içermektedir. X ışınları, beta ışınları ve gama ışınları için 1 milirad 1 milireme denk iken; alfa parçacıkları için 1 milirad, 20 miliremdir.

69. Ashında, bu kitapta buraya kadar tartışılan tüm konular, benim üzerinde profesyonel araştırmalar yaptığım alanlardı. Bu konularda araştırma raporlarım basılmıştı ve ilgili bilimsel yazını da yeterli derecede biliyordum. Ne var ki, bu bölüm ve sonraki konular -ekonomi ve güneş enerjisi- aynı kategoride değillerdir. Geçmiş yıl

larda, bu konular hakkında çıkan yazıları sık sık okudum ve verdiğim derslerde anlattım, ama bu konularda hiçbir araştırma raporum yayınlanmadı ve onlar üzerinde profesyonel bir uzman olduğumu da iddia edemem. Yine de, bu kitapta anlatılmaları önemlidir. Konuları tam olarak ele alabilmek için, birkaç düzine raporun incelenmesini ve bu konularda uzman olan birkaç düzine araştırmacıyla görüşmeleri içeren, yorucu bir uğraş verdim. Sonuç olarak yazılanlar, uzman olmayan; ancak bu alanda eğitilmiş bir kişinin görüşleridir.

70. Aynı anda iki Midland reaktörü yapılmaktadır; ancak bunlardan biri endüstriyel kullanım için buhar da sağlayacaktır. Bu karşılıklı engellemek için biz sadece diğerinden bahsedeceğiz.

71. Philadelphi Electric iki Peach Bottom santralini 1974'te 763 dolara tamamladı, ama iki Limerick güç santrali 6.7 kat fazlaya, 4.7 milyar dolara mal oldu. Duquesne Light Co. *bütünüyle aynı* iki tesis yaptı; Beaver Valley-1, 1977'de 611 milyon harcamayla tamamlandı, Beaver Valley-2 ise 1986'da 2.3 milyar dolara tamamlanacaktır. Niagara Mohawk, Nine Mile Point-1 ünitesini 1969'da 163 milyon dolara yaptı; ancak onlardan 1.7 kat büyük Nine Mile Point-2 santrali, 1986'da 3.7 milyar dolara, 23 kat oranında daha fazla bir maliyete tamamlanacaktır. Tennessee Valley Authority, yaklaşık olarak aynı güçteki santralleri, 1974-77 arasında, 295 milyon dolara, 1981-1982 arasında 865 milyon dolara yaptı ve 1984-1985 arasında santrallerin 1.57 milyar dolara mal olması bekleniyor. Daha birçok örnek verilebilir.

72. Aslında Kaynak 5'te, işletmenin ilk yıllarında 6.7 cent/kW-saat maliyet görünüyor. Bu, ABD'de uygulanmakta olan, yatırılan paranın kısa sürede geri kazanılması uygulamasının bir sonucudur. Maliyet zamanla düşecektir. EIA analizi, tesisin ömrü üzerinden alınan bir ortalamaı vermektedir.

73. Rüzgarlar, güneşin ısısının yarattığı kuvvetler tarafından oluşturuldukları için, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi sınıfına dahil edilir. Burada birçok diğer potansiyel elektrik üretme teknolojisi tartışılabilir - okyanusun sıcaklık farkı, okyanus dalgaları, biyokütle, hidrojen ve sentetik yakıtlar bazı ana başlıklardır. Ancak, bunlardan hiçbirini burada tartışılan üç maddeden daha fazla gelecek vaatmez ve kitapta hepsinin incelenmesi, ana konudan oldukça uzaklaşılmasına yol açacaktır.

74. Burada verilen rakamlar, tesisin maliyeti $\div 0.72$ (elde edilebilirlik için) ve $\times 1.4$ (yakıt harcamaları için) şeklindedir.

75. Bu tip projeler arasında en önemlisi olan, New York şehrinin kuzeyinde, Hudson nehriindeki Storm King deposunun inşaatı, çevreci örgütlerin baskısı sonucu birçok kereler ertelendi ve sonunda projeden vazgeçildi.

76. Geçekte, maksimum güneş enerjisi öğle üzeri gelirken, maksimum klima kullanımı öğleden sonra 2 ile 3 arasında ve bu fark ciddi sorunlara yol açmaktadır. İnsanlar sabahları klimaları çalıştırarak ön soğutma yapmalı ve soğutulmuş havayı iyi bir izolasyonla öğleden sonra veya akşam kullanmalıdır. Bu, ihtiyaç duyulan elektrik miktarını artırır.

77. 1956'da Windscale, İngiltere'de meydana gelen kazada, reaktördeki yakıt alev alarak, çevreye önemli ölçüde radyoaktivite yayılmasına neden oldu. O reaktör, ABD'de kullanılanlardan oldukça farklı bir tipti; böylece bir kazanın Amerikan tipi reaktörlerde olması da imkansızdır; çünkü yakıt İngiliz reaktörlerinde olduğu gibi gazla değil, suyla çevrilirdi.

78. Çalışmaları bu kitapta eleştirilen bilim adamlarının -Sternglass, Gofman, Caldidott, Mancuso, Bross ve Najarian- Duyarlı Bilim Adamları Birliği ile bir ilgileri yoktur ve bu birlik de onların iddialarını hiçbir zaman savunmamıştır. Aslında DBB'nin tüm etkinliklerinin çıkış noktası, reaktör kazalarının olmasıdır. Bu, radyasyon sağlığı ile uğraşan bilim adamlarının pek aşına olmadığı, karmaşık bir konudur. DBB'nin sonuçlarından, bu kitabın birçok yerinde bahsettiğimi de belirtmek isterim.

79. Olasılıklarla istatistikler arasındaki farkı görebilmek için yazı tura atma olayını düşünün. Tura gelmesi *olasılığı*, %50'dir. On kez yazı tura attığınızda sekiz kez tura gelirse, "istatistikler atılan on yazı turanın sekizinde tura geldiğini gösteriyor", diyebilirsiniz.

80. İptal edilme burada, bir testin hizmet dışı bırakılması, parçalar halinde sökülüp taşınması ve bulunduğu alanın restore edilerek başka amaçlar için kullanılması anlamına gelir.

Kaynaklar

1. BÖLÜM

1. P. Slovic, B. Fischhoff ve S. Liechtenstein, "Rating the Risks" (Riskleri oranlamak), *Environment*, 21, 14, Nisan (1979).
2. Ömrümüz süresince söz konusu etkiler 4., daha uzun vadeli etkiler de 6. Bölüm'de anlatılmıştır.
3. Union of Concerned Scientists, "The Risks of Nuclear Power Reactors" (Nükleer güç reaktörlerinin riskleri), Cambridge, Massachusetts (1977). Onlar, 24 ölüm/GWe-yl veriyorlar. Bu 50 GWe ile çalışıldığında, ABD'de üretilen toplam güç 120 ölüm/yl sonucunu verir.
4. Opinion Research Corp. "Public Attitudes toward Nuclear Power vs. Other Energy Sources" (Toplumun nükleer enerji ve diğer enerji kaynakları konusunda karşılaştırmalı düşünceleri), *ORC Public Opinion Index*, Vol.38 (17), Eylül (1980).
5. C.L. Comar ve L.A. Sagan, "Health Effects of Energy Production and Conversion" (Enerji üretimi ve çevriminin sağlığı etkileri), *Annual Review of Energy*, 1, 581 (1976); L.B. Lave ve L.C. Freeburg, "Health Effects of Energy Generation from Coal, Oil, and Nuclear Fuel" (Kömür, petrol ve nükleer yakıtla enerji üretiminin sağlıksal etkileri), *Nuclear Safety*, 14 (5), 409 (1973); S.M. Barrager, B.R. Judd, ve D.W. North, "The Economic and Social Costs of Coal and Nuclear Electric Generation" (Kömürle ve nükleerle elektrik üretiminin ekonomik ve sosyal maliyeti), Stanford Research Institute Report, Mart (1976); Nuclear Energy Policy Study Group, "Nuclear Power - Issues and Choices" (Nükleer güç - konular ve seçenekler) (Ballinger, Cambridge, Massachusetts, 1977); National Academy of Sciences Committee on Nuclear and Alternative Energy Systems, "Energy in transition, 1985-2010" (Dönüşümdeki enerji, 1985-2010) (W.H. Freeman and Co. San Francisco, 1980); American Medical Association Council on Scientific Affairs, "Health Evaluation of Energy Generating Sources" (Enerji üretim kaynaklarının sağlık açısından değerlendirilmesi), *Journal of the American Medical Association*, 240, 2193 (1978); H. Inhaber, "Risk of Energy Production" (Enerji üretiminin riski), Atomic Energy Control Board Report AECB-1119, Ottawa (1978); R.L. Gotchy, "Health Effects Attributable to Coal and Nuclear Fuel Cycle Alternatives" (Kömür ve nükleer yakıt döngüsü alternatiflerine bağlı olabilecek sağlıksal etkiler), U.S. Nuclear Regulatory Commission Document NUREG-0332 (1977); D.J. Rose, P.W. Wlasek ve L.L. Leskovic, "Nuclear Power - Compared to What?" (Nükleer güç - neyle karşılaştırıldığında?), *American Scientist*, 64, 291 (1976); Union of Concerned Scientists, "The Risks of Nuclear Power Reactors" (Nükleer güç reaktörlerinin riskleri), H. Kendall (Direktör), Cambridge, Massachusetts (1977); Science Advisory Office, State of Maryland, "Coal and Nuclear Power" (Kömür ve nükleer güç) (1980); Norwegian Ministry of Oil and Energy, "Nuclear Power and Safety" (Nükleer güç ve güvenlik) (1978); Ohio River Basin Energy Study (EPA), "Impacts on Human Health from Coal and Nuclear Fuel Cycles" (Nükleer ve kömür yakıt döngülerinin insan sağlığına etkileri), Haziran (1980); United Kingdom Health and Safety Executive, "Comparative Risks of Electricity Production Systems" (Enerji üretim sistemlerinin karşılaştırmalı riskleri) (1980); Maryland Power Plant Siting Program, "Power Plant Cumulative Environmental Impact Report" (Güç istasyonlarının kümülatif çevresel etkileri konulu rapor), PPS-CEIR-1 (1975); W. Ramsay, *Unpaid Costs of Electrical Energy* (Elektrik enerjisinin ödenmeyen bedelleri) (Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, Maryland, 1979); Legislative Office of Science Advisor, State of Michigan, "Coal and Nuclear Power" (Kömür ve nükleer güç) (1980); B.L. Cohen, *American Scientist*, 64, 291 (1976); R. Wilson ve W.J. Jones, *Energy, Ecology, and the Environment* (Enerji, ekoloji ve çevre) (Academic Press, New York, 1974); H. Fischer ve grubu, "Comparative Effects of Different Energy Technologies" (Farklı enerji teknolojilerinin karşılaştırmalı etkileri), Brookhaven National Lab Report BNL 51491 (Eylül 1981); D.K. Myers ve H.B. Newcombe, "Health Effects of Energy Development" (Enerji gelişiminin sağlıksal etkileri), Atomic Energy of Canada Ltd. Report AECL-6678 (1980).
6. H. Kendall, Physics Colloquium at Carnegie Mellon University, 1980.
7. Benim soruma cevap olarak Nader şu karşılığı verdi: "Belki biz kömürü temizleyebiliriz, ya da belki kömür de yakmamalıyız."
8. B.L. Cohen "How Dangerous is Radiation?" (Radyasyon ne kadar tehlikelidir?), *Ascent Magazine*, 2, (4), 9 (1981).
9. R. Kasperson, G. Berk, A. Sharaf, D. Pijawka, ve J. Wood, "Public Opinion and Nuclear Energy: Retrospect and Prospect" (Toplumun görüşü ve nükleer enerji: geçmiş ve gelecek), *Science, Technology, and Human Values*, 11, Kışbahar (1980).
10. S. Rothman ve S.R. Lichter, "The Nuclear Energy Debate: Scientists, the Media, and the Public" (Nükleer enerji tartışmaları: bilim adamları, medya ve toplum), *Public Opinion*, Ağustos/Eylül (1982), sf.47.
11. E. Sternglass, *Secret Fallout: Low Level Radiation from Hiroshima to Three Mile Island* (Gizli dökülüş: Hiroşima'dan Three Mile Island'a düşük seviyeli radyasyon) (McGraw Hill, New York, 1981).
12. J.W. Gofman, *Radiation and Human Health* (Radyasyon ve insan sağlığı) (Sierra Club Press, San Francisco, 1981).
13. H. Caldicott, *Nuclear Madness* (Nükleer çılgınlık) (Bantam, New York, 1981).

2. BÖLÜM

1. S. Novick, *The Careless Atom* (Dikkatsiz Atom) (Dell Publ. Co. New York, 1969), sf. 105.
2. Bu Bölümün ilaveler kısmına bakınız.
3. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), "Natural Background Radiation in the United States" (Birleşik Devletler'de doğal radyasyon), NCRP Report No. 45 (1975).
4. Yazarın hesaplamaları. (yayınlanmadı).
5. "Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island" (Başkanın komisyonunun Three Mile Island kazası hakkındaki raporu), Washington, D.C. (1979); "Three Mile Island, A Report to the Commissioners and to the Public" (Three Mile Island, Halk ve Komisyon üyelerine bir rapor), Nuclear Regulatory Commission Special Inquiry Group; Ad Hoc Interagency Dose Assessment Group, "Population Dose and Health Impact of the Accident at the Three Mile Island Nuclear Station" (Three Mile Island nükleer santralindeki kazanın halkı maruz bıraktığı doz ve sağlıksal etkileri), Nuclear Regulatory Commission Document NUREG-0558 (1979). İlk değerlendirmeler 1.7 mrem/tik bir doz gösterdi, ancak sonradan 1.2 mrem olduğu belirlendi.
6. James Hardin'le (Kentucky Department of Human Resources) özel görüşme. Kendisi bölgedeki doğal ölçümler sorumlusuuydu.
7. *Philadelphia Evening Bulletin*, 6, 7, 8, Mayıs (1979).
8. Ginna'daki sağlık fizikçileriyle özel görüşmeler.
9. L. Garfinkel, C.E. Pointdexter ve E. Silverberg, "Cancer Statistics -1980" (1980 Kanser istatistikleri), American Cancer Society (1981).
10. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), "Sources and Effects of Ionizing Radiation" (Iyonize edici radyasyonun kaynakları ve etkileri), United Nations, New York (1977).
11. Integrcy Task Force on Ionizing Radiation, Summary of Work Group Reports (Çalışma grubu raporlarının özeti), Department of HEW (1979).
12. National Council on Radiation Protection and Measurements, Radiation Exposure from Consumer Products and Miscellaneous Sources (Tüketici ürünleri ve çeşitli kaynaklardan radyasyon etkileneimi), NCRP Report No. 56, Washington, D.C. (1977).
13. National Academy of Sciences Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR), "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation" (Düşük dozda iyonize edici radyasyona maruz kalmanın toplum üzerindeki etkileri), Washington, D.C. (1980).
14. International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu'nun önerileri), ICRP Publication No. 26 (Pergamon Press, Oxford, 1977).
15. B.L. Cohen ve I.S. Lee, "A Catalog of Risks" (Bir riskler kataloğu), *Health Physics*, 36, 707 (1979).
16. R. Garrison, U.S. Department of Energy, taşuna kazaları hakkında özel görüşmeler. Çeşitli bilgi kaynaklarından diğerleri hakkında tahminler.
17. C.C. Lushbaugh, S.A. Fry, C.F. Hubner ve R.C. Ricks, "Total Body Irradiation: A Historical Review and Follow-up" (Tüm vücudun ışınlanması: Tarihsel bir değerlendirme ve devamı), şu kitaptandır: C.F. Hubner ve S.A. Fry (eds.), *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (Elsevier-North Holland, Amsterdam, 1980).
18. T.F. Mancuso, A. Stewart ve G. Kenale, *Health Physics*, 33, 369 (1977).
19. E.S. Gilbert, Battelle Pacific Northwest Laboratory Document PNL-SA-6341 (1978).
20. G.B. Hutchinson, B. MacMahon, S. Jablon, C.E. Land, *Health Physics*, 37, 207 (1979).
21. U.S. General Accounting Office, "Problems in Assessing the Cancer Risks of Low-level Ionizing Radiation Exposure" (Düşük dozlu radyasyona maruz kalmanın yol açtığı kanser risklerinin bulunmasındaki sorunları), Report EMD-81, Washington, D.C. (1981).
22. J.A. Reissland, "An Assessment of the Mancuso Study" (Mancuso Çalışması'nın bir değerlendirmesi), Publication NRB-P-79, U.K. National Radiological Protection Board, Didcot, Berk. (1978); T.W. Anderson, *Health Physics*, 35, 743 (1978); A. Brodsky, Sağlık ve Çevre Altkomitesi'ndeki ifadesi, U.S. House of Representatives, Washington, D.C., 8 Şubat 1978; B.L. Cohen, *Health Physics*, 35, 582 (1978); S.M. Gertz, aynı kaynak, 35, 723 (1978); E.S. Gilbert, "Methods of Analysing Mortality of Workers Exposed to Low Levels of Ionizing Radiation" (Düşük seviyeli radyasyona maruz kalmış işçilerde ölüm oranı analizi için metodları), Report BNWL-SA-634, Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, Mayıs (1977); E. Gilbert ve S. Marks, *Health Physics*, 37 791 (1979); aynı kaynak, 40, 125 (1981); J.W. Gofman, *Health Physics*, 37, 617 (1979); D.J. Kleitman, "Critique of Mancuso-Stewart-Kneale Report" (Mancuso-Stewart-Kneale raporunun eleştirisi), (U.S. Nuclear Regulatory Commission için hazırlanmıştır. Washington, D.C., 1978); S. Marks, E.S. Gilbert ve B.D. Breitenstein, "Cancer Mortality in Hanford Workers" (Hanford çalışanlarında kanserden ölüm oranları), Document IAEA-SM-224, International Atomic Energy Agency, Vienna (1978); R. Mole, *Lancet*, i, 582 (1978); "Staff Committee Report of November 1976" (Personel Komitesi Kasım 1976 raporu), Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. (1976); "Staff Committee Report of May 1978" (Personel Komitesi Mayıs 1978 raporu), Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. (1978); "The Windscale Inquiry" (Windscale Soruşturması), Her Majesty's Stationery Office, London (1978); D. Rubenstein, "Report

to Nuclear Regulatory Commission" (Nükleer Yönetmelik Komisyonu'na rapor), Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. (1978); L.A. Sagan, "Low Level Radiation Effects: The Mancuso Study" (Düşük seviyeli radyasyonun etkileri: Mancuso Çalışması), Electric Power Research Institute, Palo Alto, California (1978); B.S. Sanders, *Health Physics*, 34, 521 (1978); F.W. Spiers, *Health Physics*, 37, 784 (1979); G.W.C. Tait, *Health Physics*, 37, 251 (1979).

23. B.L. Cohen, "The Low Level Radiation Link to Cancer of the Pancreas" (Pankreas kanseri ile düşük seviyeli radyasyon arasındaki bağlantı), *Health Physics*, 38, 712 (1980).

24. I.D.J. Bross, M. Ball ve S. Falen, *American Journal of Public Health*, 69, 130, (1979).

25. J.D. Boice ve C.E. Land, *American Journal of Public Health*, 69, 137 (1979).

26. T.D. Luckey, *Hormesis with Ionizing Radiation* (Yonlaştırıcı radyasyonla hormesis) (CRC Press, Boca Raton, Fla, 1980).

27. A.F. Cohen ve B.L. Cohen, "Tests of the Linearity Assumption in the Dose-Effect Relationship for Radiation Induced Cancer" (Radyasyon temelli kanser konusunda doz-etki ilişkisinde söz konusu doğrusalılık varsayımının denemeleri), *Health Physics*, 38, 53 (1980).

28. National Academy of Sciences Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR), "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation" (Düşük dozda yonlaştırıcı radyasyona maruz kalmanın toplum üzerindeki etkileri), Washington, D.C. (1972).

29. B.L. Cohen, "Perspective on Genetic Effects of Radiation" (Radyasyonun genetik etkileri hakkında bir görüş), *Health Physics*.

30. E.B. Hook, "Rates of Chromosome Abnormalities at Different Maternal Ages" (Farklı doğum öncesi dönemlerde kromozom anormalliklerinin oranları), *Obstetrics and Gynecology*, 57, 745 (1981).

31. J.M. Friedman, "Genetic Disease in the Offspring of Older Fathers" (Yaşlı babaların çocuklarında genetik hastalık), *Obstetrics and Gynecology*, 57, 745 (1981).

32. W.J. Schull, M. Otake ve J.V. Neel, "Genetic Effects of Atomic Bombs: A Reappraisal" (Atom bombalarının genetik etkileri: Yeniden bir değerlendirme), *Science*, 213, 1220 (1981).

33. R.J. Lewis (ed.), "Registry of Toxic Effects of Chemical Substances" (Kimyasal maddelerin zehirli etkilerinin kaydı), U.S. Public Health Service, Kasım (1981) (Bilgisayar aracılığıyla ulaşılabilir).

34. L. Fishbein, *Chemical Mutagens*, Vol.4'tedir, A. Hollaender (ed.) (Plenum Publ. Co., New York, 1976) sf. 219ff.

35. K. Sax ve H.J. Sax, "Radiometric Beverages, Drugs, and Mutagens" (Radyometrik içecekler, ilaçlar ve mutajenler), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 55, 1431 (1966).

36. L. Ehrenberg, G. von Ehrenstein ve A. Hedgran, "Gonad Temperature and Spontaneous Mutation Rate in Man" (Gonad sıcaklığı ve insanda kendiliğinden olan mutasyon), *Nature*, 2 Arahık, 1433 (1957)

37. U.S. Department of HEW, "Antenatal Diagnosis", National Institutes of Health Publication No. 79-1973 (1979).

38. G.W. Beebe, H. Kato ve C.E. Land, "Mortality Experience of Atomic Bomb Survivors 1950-1974" (Atom bombasından sonra hayatta kalanlar arasında görülen ölümler 1950-1974), Radiation Effects Research Foundation Technical Report RERF TR 1-77 (1977). Hiroshima ve Nagasaki etkileri burada eklenmiştir.

39. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), "Review of NCRP Radiation Dose Limit for Embryo and Fetus in Occupationally Exposed Women" (Mesleki olarak radyasyona maruz kalmış kadınlarda embriyo ve fetus için NCRP radyasyon dozu sınırının incelenmesi), NCRP Rapor No. 53 (1977).

40. W.J. Blot and R.W. Miller, "Mental Retardation Following In Utero Exposure to the Atomic Bombs" (Rahimin atom bombası sonucu radyasyona maruz kalmasını izleyen zeka gerilikleri), *Radiology*, 106, 617 (1973).

41. G.B. Avery, L. Menesis ve A. Lodge, "The Clinical Significance of Measurement of Microcephaly" (Mikrosefalinin ölçümünün klinik önemi), *American Journal of Diseases of Children*, 123, 214 (1972).

42. A. Stewart ve grubu, "Malignant Disease in Childhood and Diagnostic Irradiation in Utero" (Çocuklukta ölümcül hastalık ve rahimde teşhise yönelik ışınlama), *Lancet*, ii, 447 (1956); A. Stewart ve G.W. Kneale, "Radiation Dose Effects in Relation to Obstetric X-Rays and Childhood Cancer" (Doğumla ilgili röntgen ışınlama bağlı radyasyon doz etkileri ve çocuklukta kanser), *Lancet*, i, 1185 (1970).

43. B. MacMahon, "Prenatal X-Ray Exposure and Childhood Cancer" (Doğum öncesi röntgen ışınlama etkilenimi ve çocuklukta kanser), *Journal of National Cancer Institute*, 28, 1173 (1962).

44. S. Jablon ve H. Kato, "Childhood Cancer in Relation to Prenatal Exposure to Atomic Bomb Radiation" (Doğum öncesi atom bombası kaynaklı radyasyon etkilenimine bağlı çocukluk dönemi kanseri), *Lancet*, ii, 1000 (1970).

45. B.E. Oppenheim, M.L. Griem ve P. Meier, "Effects of Low Dose Prenatal Irradiation in Humans" (İnsanlarda doğum öncesi düşük dozlu radyasyon almanın yol açtığı etkiler), *Radiation Research*, 57, 508 (1974).

46. Raheed Fawwaz, Columbia-Presbyterian Hastanesi, özel görüşme (1982).

47. A.K. Poznanski, C. Kanellinas, D.W. Roloff ve R.C. Borer, "Radiation Exposure to Personnel in a Neo-natal Facility" (Bir bebek-doğum kliniğindeki personelin radyasyon etkilenimi), *Pediatrics*, 54, 139 (1974).

48. David Milstein, Albert Einstein Medical Center, özel görüşme (1982).

49. B.L. Cohen, "The Cancer Risk from Low Level Radiation", *Health Physics*, 36, 659 (1980). Orada birçok kaynak gösterilmiştir.

50. E.W. Webster, "Cancer Risks from Low Level Radiation-A Commentary on the BEIR Report 1980" (Düşük seviyeli radyasyonun kanser riski -1980 BEIR raporu hakkında bir yorum), *Critical Issues in Setting Radiation Dose Limits*, National Council on Radiation Protection and Measurements, 3 no'lu Yayınından (NCRP) (1982).
51. A.M. Kellerser ve H.H. Rossi, *Current Topics in Radiation Research* (Radyasyon araştırmalarında gündemdeki konular), 8, 85 (1972).
52. D.C. Lloyd ve grubu, "The Relationship Between Chromosome Aberrations and Low LET Radiation to Human Lymphocytes" (Kromozom bozuklukları ve insan lenfositlerine gelen düşük seviyeli radyasyonun ilişkisi), *International Journal of Radiation Biology*, 28, 75 (1975).
53. E.J. Purrott ve E. Reeder, "The Effects of Changes in Dose Rate on the Yield of Chromosome Aberrations in Human Lymphocytes Exposed to Gamma Radiation", (Doz oranındaki değişikliklerin gama radyasyonuna maruz kalan insan lenfositlerindeki kromozom bozukluklarının bağlamasında etkisi), *Mutation Research*, 36, 1367 (1976).
54. M. Terzaghi ve J.B. Little, "Radiation Induced Transformation in a C3H Mouse Embryo-Derived Cell Line" (Bir C3H faresinin embryosundan elde edilen hücrelerde radyasyon sonucu oluşan transformasyon), *Cancer Research*, 36, 1367 (1976).
55. A. Han ve M.M. Elkind, "Transformation of Mouse C3H Cells by Single and Fractionated Doses of X-Rays and Fission Spectrum Neutrons" (Tek ve parçalar halindeki X ışınları ile fasyon spektrumunu nötronlarla fare C3H hücrelerinin değişimi), *Cancer Research*, 39, 123 (1979).
56. R.L. Ullrich ve grubu, "The Influence of Dose and Dose Rate on the Incidence of the Neoplastic Disease in RFM Mice after Neutron Irradiation" (Nötron ışınlamasından sonra RFM Farelerindeki Neoplastik Hastalığın görülme miktarında dozun ve doz oranının etkileri), *Cancer Research*, 68, 115 (1976).
57. M.P. Finkel ve B.O. Biakie, *Progress in Experimental Tumor Research*, 10, 72 (1968).
58. R.E. Rowland, A.F. Stehney ve H.F. Lucas, *Radiation Research*, 76, 368 (1978).
59. B.L. Cohen, "Failures and Critique of the BEIR-III Lung Cancer Estimates" (BEIR-III akciğer kanseri risk tahminlerinin hataları ve değerlendirilmesi), *Health Physics*, 42, 267 (1982).
60. T.F. Dougherty ve C.W. Mays, "Bone Cancer Induced by Internally Deposited Emitters in Beagles" (İçlerinde biriken yayıcıların av köpeklerinde neden olduğu kemik kanseri), *ku kaynağıdır: Radiation Induced Cancer*, sf. 361 International Atomic Energy Agency, Vienna (1969).
61. C.W. Mays, H. Spiess ve S. Kogn, *Strahlentherapie*, 146, 599 (1973).
63. R.D. Evans, "Radium in Man" (İnsanda radyum), *Health Physics*, 27, 497 (1974).
64. J.B. Storer, "Radiation Cardiogenesis" (Radyasyon Kardiyojenesisini), *ku kaynağıdır: Cancer*, F.F. Becher (ed.) , Plenum Press, New York (1975). Bu hayvanlar üzerinde yapılan çeşitli çalışmaları kaynak olarak kullanan bir tekrardır.
65. H. Nishiyama ve grubu, 32, 1301 (1973).
66. T. Najarian, *Boston Globe*, 19 Şubat, 1978.
67. T. Najarian ve T. Colton, *Lancet*, i, 1018 (1978).
68. R.A. Rensky ve grubu, "Cancer Mortality at a Naval Nuclear Shipyard" (Bir donanma nükleer tersanesinde kanserden ölüm oranı), *The Lancet*, 31 Ocak, 1981, sf. 231.
69. S. Wermiehl, "Doctors Shift on Shipyard: Kennedy Chides Portsmouth Researcher" (Tersanede doktor vardiyası: Kennedy, Portsmouth Araştırmacısını azarlıyor), 20 Haziran 1979.

3. BÖLÜM

1. "Report of the President's Commission on The Accident at Three Mile Island" (Three Mile Island'daki kaza hakkında başkan komisyonunun raporu), J.B. Kemeny (Başkan), Washington D.C., Ekim (1979).
2. M. Rogovin (Direktör), "Three Mile Island, A Report to the Commissioners and to the Public" (Three Mile Island, komisyon üyelerine ve halka yönelik bir rapor), Washington D.C., Ocak (1980).
3. J.R. Lamarsh, *Introduction to Nuclear Engineering* (Nükleer Enerji Mühendisliğine giriş), (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1975); S. Glasstone ve H. Jordan, *Nuclear Power and its Environmental Effects* (Nükleer güç ve çevresel etkileri) (American Nuclear Society, La Grange Park, 111, 1980).
4. G. Macabe, "Systems Summary of a Westinghouse Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant" (Westinghouse başıncı su reaktörlü nükleer güç santrali sistemlerinin bir özeti), Westinghouse Electric Co. (1971).
5. S. Hoffman ve T. Moore, "General Description of a Boiling Water Reactor" (Bir Kaynar su reaktörünün genel tanıtımı), General Electric Co. (1976).
6. "American National Standard for Decay Heat Power in Light Water Reactors" (Hafif su reaktörlerindeki bozunum ısı gücünün Amerikan ulusal standardı), American National Standards Inst. ANSI/ANS-5.1-1979.
7. "Reactor Safety Study" (Reaktör güvenliği çalışması), Nuclear Regulatory Commission Document WASH-1400, NUREG 75/014 (1975).
8. "Analysis of Three Mile Island-Unit 2 Accident" (Three Mile Island-2. ünitedeki kazanın analizi), Nuclear Safety Analysis Center Report NSAC-1, Palo Alto, California, Temmuz, (1979); "Nuclear Accident and Recovery at Three Mile Island" (Three Mile Island'da nükleer kaza ve iyileştirme), Senate Committee on Environment and Public Works, Serial No.

96-14, Temmuz (1980); "Investigation of the March 28, 1979 Three Mile Island Accident" (28 Mart 1979, Three Mile Island kazası araştırması), U.S. Nuclear Regulatory Commission Document NUREG-0600 (Temmuz 1979); "Three Mile Island: The Most Studied Nuclear Accident in History" (Three Mile Island: tarihte hakkında en çok çalışma yapılan kaza), Report to the Congress by the Comptroller-General-U.S. General Accounting Office Report EMD-80-109, 9 Eylül (1980).

9. Report of the Special Review Group, "Lessons Learned from the Three Mile Island" (Three Mile Island'dan alınan deraletler), U.S. Nuclear Regulatory Commission Document NUREG-0616, Aralık (1979).

10. "The Safety of Nuclear Power Plants and Related Facilities" (Nükleer güç santrallerinin ve ilgili tesislerin güvenliği), U.S. AEC Report WASH-1250, Temmuz (1973).

11. B.L. Cohen, "Physics of the Reactor Melt-down Accident" (Reaktör kor erimesi kazasının fiziği), *Nuclear Science and Engineering*, 80, 47 (1982).

12. R. Güllette, "Nuclear Reactor Safety" (Nükleer reaktör güvenliği), *Science*, 176, 492, 5 Mayıs (1972); 177, 771, 1 Eylül; 177, 970, 15 Eylül; 177, 1080, 22 Eylül.

13. I. Forbes, J. Mackenzie, D.F. Ford ve H.W. Kendall, "Cooling Water" (Soğutma suyu), *Environment*, Ocak (1972), sf. 40; D.F. Ford ve H.W. Kendall, "Nuclear Safety" (Nükleer güvenlik), *Environment*, Eylül (1972).

14. M.L. Russel, C.W. Solbrig ve G.D. McPherson, "LOFT Contribution to Nuclear Power Reactor Safety and PWR Fuel Behavior" (Nükleer güç reaktörü güvenliğine LOFT katkısı ve PWR yakıt davranışı), *Proceedings of the American Power Conference*, 41, 196 (1979); J.C. Lin, "Post Test-Analysis of LOFT Loss of Coolant Experiment L2-3" (LOFT soğutucu kaybı L2-3 deneyinin test sonrası analizi), EG&G Idaho Report EGG-LOFT-5075 (1980); J.P. Adams, "Quick Look Report on LOFT Nuclear Experiment L2-5" (LOFT nükleer deneyi L2-5'e bir bakış), EG&G Idaho Report EGG-LOFT-5921 (1982).

15. S. McCracken, *The War Against Atom* (Atoma karşı savaş), (Basic Books, New York, 1982).

16. W. Marshall (Chairman of Study Group), "An Assessment of the Integrity of PWR Pressure Vessels" (PWR basınç kaplarının bütünlüğünün bir araştırması), U.K. Atomic Energy Authority, Matr (1982).

17. W.A. Carbiener ve grubu, "Physical Processes in Reactor Melt-down Accidents" (Reaktör kor erimesi kazalarındaki fiziksel süreçler), Nuclear Regulatory Commission Document WASH-1400'de Appendix VIII bölümü (1975).

18. W.R. Butler, C.G. Tinkler ve L.S. Rubinstein, "Regulatory Perspective on Hydrogen Control for LWR Plants" (Hafif sulu reaktörlerde hidrojen kontrolü konusunda yönetmelikler), Second International Workshop on Impact of Hydrogen on Water Reactor Safety, Albuquerque, New Mexico, Ocak (1981); W.R. Butler ve C.G. Tinkler, "Regulatory Perspective on Hydrogen Control for Degraded Core Accidents" (Küçük kor kazaları için hidrojen kontrolüne yönetmelik açısından bir bakış).

19. "Hydrogen Control for Sequoyah Nuclear Plant" (Sequoyah nükleer tesisinde hidrojen kontrolü), Nuclear Regulatory Commission Document, 13 Ağustos tarihli (1980).

20. "Proposed Interim Hydrogen Control Requirements for Small Containments" (Küçük koruma kabukları için önerilen geçici hidrojen kontrol şartları), H. Denton'dan NRC görevlilerine verilen protokol metni, 22 Şubat tarihli (1980), NRC document SECY-80-107.

21. M.R. Fleishman, W.R. Butler, J.T. Larkins ve M.A. Taylor, "Status of Hydrogen Control Activities" (Hidrojen kontrolü çalışmalarının durumu), NRC Document, 3 Eylül tarihli (1981).

22. Union of Concerned Scientists, "The Risks of Nuclear Power Reactors" (Nükleer güç reaktörlerinin riskleri), Cambridge, Massachusetts (1977).

23. H.W. Lewis (başkan), "Risk Assessment Review Group Report to the U.S. Nuclear Regulatory Commission" (NRC'ye sunulan risk değerlendirmesi tetkik grubu raporu), NUREG/CR-400 (1978).

24. "Mitigation of Small-Break LOCAs in Pressurized Water Reactor Systems" (Basınçlı su reaktörü sistemlerinde küçük kırık soğutucu kaybı kazalarının tedavisi), Nuclear Safety Analysis Center (Palo Alto, California) Document NSAC-2 (1980); E. Zbrozki, Nuclear Safety Analysis Center, özel görüşme (1981); R.J. Breen, Nuclear Safety Analyses Center, özel görüşme (1983).

25. F.J. Rahn ve M. Levenson, "Radioactivity Releases Following Class-9 Reactor Accidents" (9. sınıf reaktör kazalarını takiben radyoaktivitenin açığa çıkması), Health Physics Society, Las Vegas, Nevada, Haziran (1982); C.D. Wilkinson, "NSAC Workshop on Reactor Accident Iodine Release" (Reaktör kazası sonucu iyot salınması hakkında NSAC çalışması), Palo Alto, California, Temmuz (1980); H.A. Horewitz, "Fission Product and Aerosol Behavior Following Degraded Core Accidents" (Kor bozulması kazalarını takiben fisyon ürünlerinin ve uçucuların davranışları), *Nuclear Technology*, 53, 120 (1980).

26. U.C. Senate Committee on Public Works, "Air Quality and Stationary Source Emission Control" (Hava kalitesi ve sabit kaynak yayılımı kontrolü), (1975); R. Wilson, S.D. Colome, J.D. Spengler ve D.G. Wilson, *Health Effects of Fossil Fuel Burning* (Fosil yakıt yakmanın sağlığı etkileri) (Ballinger Publ. Co., Cambridge, Massachusetts, 1980).

27. Nuclear Report, *American Nuclear Society*, 5 (10), 5 Kasım (1982).

28. M.R. Benjamin, "Nuclear Study Raises Estimates of Accident Tolls" (Nükleer çalışma, kaza beklentilerini artırıyor), *Washington Post*, 1 Kasım (1982).

29. International Symposium on Areas of High Natural Radioactivity (Yüksek doğal radyoaktiviteye sahip yerlerle ilgili uluslararası sempozyumu), Academy of Sciences of Brazil, Haziran (1975).

324 • Kaynaklar

30. W. Ramsay, *The Unpaid Costs of Electrical Energy* (Elektrik Enerjinin ödenmemiş bedelleri), (John Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, 1979).

31. "Draft NRC Evaluation of Pressurized Thermal Shock" (Bazınçlı termal şokun NRC taslak değerlendirmesi), 13 Eylül (1982).

32. T.A. Meyer, "Summary Report on Reactor Vessel Integrity for Westinghouse Operating Plants" (Çalışan Westinghouse tesislerinin reaktör kabı bütünlüğü konulu özet rapor), Westinghouse Electric Corp. Report WCAP-10019, Aralık (1981).

33. "Summary of Evaluations Related to Reactor Vessel Integrity Performed for the Westinghouse Owner's Group" (Westinghouse sahipleri grubu için yapılan reaktör kabı bütünlüğü ile ilgili hesaplamaların özeti), Westinghouse Electric Corp., Nuclear Technology Division, Mayıs (1982).

34. M.L. Wald, "Steel Turned Brittle by Radiation Called a Peril at 13, Nuclear Plants" (Radyasyonun kırılmaştırdığı çelik 13 nükleer tesiste tehlike yarattı), 27 Eylül (1981).

35. R. Immel, "Stress Corrosion Cracking" (Basınçla açınma sonucu çatılma), *EPRI Journal*, Kasım (1981).

36. "Report on the January 25, 1982 Steam Generator Tube Rupture at the R.E. Ginna Nuclear Power Plant" (25 Ocak 1982'de R.E. Ginna nükleer güç istasyonundaki buhar üretici tübü patlağı konulu rapor), NRC Document NUREG-0909, Nisan (1982).

37. "Steam Generator Tube Experience" (Buhar üretici tübü denemesi), U.S. Nuclear Regulatory Commission Document NUREG-0886 (1982).

4. BÖLÜM

1. B.L. Cohen ve I.S. Lee, "A Catalog of Risks" (Bir riskler kataloğu), *Health Physics*, 36, 707 (1979).

2. B.L. Cohen, "Perspective on Occupational Risks" (Mesleki risklere bakış) *Health Physics*, 40, 703 (1981).

3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources and Effects of Ionizing Radiation" (İyonlaştırıcı radyasyonun kaynakları ve etkileri), United Nations, New York (1977).

4. B.L. Cohen, "Society's Valuation of Life Saving . . ." (Toplunun hayat kurtarma konusundaki değerlendirmesi), *Health Physics*, 38, 33 (1980). Bu bildiri, kullandığı orijinal kaynaklarla ilgili olarak birçok kaynağı göstermiştir.

5. A.R. Karr, "Saga of the Air Bag" (Hava yastığı destanı), Insurance Institute for Highway Safety, Status Report, 30 Kasım (1976).

6. U.S. Bureau of Census, Vital Statistics of the United States (Birleşik Devletler'de doğum, ölüm istatistikleri) (Her yıl basılır).

7. NCHS (National Center for Health Physics), "Mortality from Selected Causes by Marital Status" (Savaşla ilgili durumlarına göre açtığı bazı durumlar sonucu ölüm oranı), NCHS Series 20, No. 8a, b, Aralık (1980).

8. H.A. Kahn, "The Dorn Study of Smoking and Mortality Among U.S. Veterans" (Sigara kullanımı ve ABD. gazilerinin ölüm oranı hakkındaki Dorn çalışması), şu kaynaktır: National Cancer Institute Monograph 19, W. Haensel (ed.), U.S. Department of Health, Education, and Welfare (1966); E.C. Hammond, "Smoking in Relation to the Death Rates of One Million Men and Women" (Sigara kullanımının bir milyon erkek ve kadının ölüm oranlarıyla ilgili), şu kaynaktır: National Cancer Institute Monograph 19, W. Haensel (ed.), U.S. Department of Health, Education, and Welfare (1966); PHS (U.S. Public Health Service), "The Health Consequences of Smoking - A Public Health Service Review - 1967" (Sigara kullanımının sağlamsal sonuçları - Bir kamu sağlık servisi araştırması - 1967) (1967).

9. Metropolitan Life Insurance Company, Statistical Bulletin (İstatistik bülteni), Şubat 1960; Mart 1960; Society of Actuaries, Build and Blood Pressure Study (Tikanma ve kan basıncı konulu çalışma) (1959).

10. B.L. Cohen, "Body Weight as an Application of Energy Conservation" (Enerji tasarrufunun bir uygulaması olarak vücut ağırlığı), *American Journal of Physics*, 45, 867 (1977).

11. U.S. Bureau of Census, "Statistical Abstract of the United States - 1975" (Birleşik Devletler'in istatistiksel rakamlarının bir özeti - 1975) (1975).

12. PHS (U.S. Public Health Service), Vital Statistics - Special Reports (Doğum-ölüm istatistikleri - özel raporlar), Vol. 53, No. 4 (1962); Metropolitan Life Insurance Company Statistical Bulletin, Socioeconomic Mortality Differentials (sosyo-ekonomik ölüm oranı farklılıkları), Ocak (1975).

13. Registrar General, 1961 Occupational Mortality Tables (1961 mesleki ölüm tabloları) (Her Majesty's Stationary Office, London, 1971).

14. E.M. Kitagawa ve P.M. Hauser, "Education Differentials in Mortality by Cause of Death in the U.S." (Eğitim farklılıklarının yol açtığı ölüm oranlarındaki farklılıklar), *Demography*, 5, 335 (1968).

15. Insurance Institute of Highway Safety, Vol. 10, No. 12 (9 Temmuz, 1975); U.S. Department of Transportation, "The Car Book" (Araba Kitabı), Document DOT HS 805 580 (1981).

16. Metropolitan Life Insurance Co., Statistical Bulletin, "Mortality from Accidents by Age and Sex" (Yaş ve cinsiyete bağlı olarak kaza sonucu ölüm oranları), Mayıs (1971).

17. NCHS (National Center for Health Statistics), "State Life Tables 1969-71" (Eyalet yaşam tabloları 1969-71), DHEW Publication No. (HRA) 75-1151 (1975).

18. R. Wilson ve J. Chase, "Problems Associated with Intercomparisons of Risk" (Riskler arası karşılaştırmaları ilgili sorunlar), bu kaynaktır: First International Conference on Health Effects of Energy Production, Atomic Energy of Canada Ltd. Document AECL 6958 (1979).
19. Metropolitan Life Insurance Company, Statistical Bulletin, "Hazardous Occupations and Avocations" (Tehlikeli uğraşlar ve meslekler) Mart (1974); Metropolitan Life Insurance Company Statistical Bulletin, "Fatalities In Motor Vehicle Racing" (Motorlu araç yarışlarında ölümler), Aralık (1976).
20. Registrar General, *Occupational Mortality* (Mesleki Ölüm Oranı) (Her Majesty's Stationery Office, Londra, 1978); Society of Actuaries, "Occupational Studies" (Mesleki Araştırmalar), Chicago (1967); US Public Health Service, "Vital Statistics" (Doğum-ölüm istatistikler), Special Reports 53 (4), (1962).
21. NRC (US Nuclear Regulatory Commission), "Reactor Safety Study" (Reaktör güvenliği çalışması), WASH-1400, NUREG-75/014 (1975).
22. NSF (National Science Foundation) Science and Technology Policy Office Report, "Chemicals and Health" (Kimyasallar ve Sağlık) (1973).
23. FDA (US Food and Drug Administration), in *Federal Register*, 42 (73), 20001 (15 Nisan 1977); aynı zamanda basım büteni.
24. Yazarın hesaplamaları, yayınlanmadı.
25. Union of Concerned Scientists (UCS), "The Risk of Nuclear Power Reactors" (Nükleer güç reaktörlerinin riski), Cambridge, Massachusetts (1977).
26. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation "Sources and Effects of Ionizing Radiation" (İyonlaştırıcı radyasyonun kaynakları ve etkileri), United Nations, New York (1977).
27. C. Starr, "Social Benefits vs. Technological Risk" (Teknolojik riske karşılık toplumsal faydalar), *Science*, 165, 1232 (1969).
28. R. Wilson ve W.I. Jones, *Energy, Ecology, and the Environment* (Enerji, ekoloji ve çevre) (Academic Press, 1979); M. Glasser ve L. Greenburg, "Air Pollution and Mortality and Weather, New York City 1960-64" (Hava kirliliği, ölüm oranı ve hava durumu, New York şehri 1960-64), *Archives of Environmental Health*, 22, 334 (1971).
29. W. Wilkestein ve grubu, "The Relationship of Air Pollution and Economic Status to Total Mortality and Selected Respiratory Mortality for Men" (Hava kirliliği ve ekonomik statünün erkeklerde toplam ölüm oranlarıyla ve bazı solunum nedeni ölüm oranlarıyla ilgili), *Archives of Environmental Health*, 14, 162 (1967).
30. M. Chappie L. Lave, "The Health Effects of Air Pollution: A Reanalysis" (Hava kirliliğinin sağlıksal etkileri: yeni deneme), *Journal of Urban Economics*, 13, 346, Temmuz (1981); T.D. Crocker, W. Shulze, S. Ben-David ve A. Kneese, "Method of Development for Assessing Air Pollution Control Benefits" (Hava kirliliği kontrolünün yararlarının değerlendirilmesini geliştirmek için bir yöntem), Volume I, "Economics of Air Pollution Epidemiology" (Hava kirliliği epidemiolojisinin ekonomisi), US EPA Report EPA-600/5-79-001a, US EPA Washington, DC, (1979); S. Gerking ve W. Schulze, "What Do We Know About the Benefits of Reduced Mortality from Air Pollution Control?" (Hava kirliliği kontrolü ile ölümleri azaltmanın yararları hakkında ne biliyoruz?), *American Economic Review*, 71 (2), 228-234 (1981); J.J. Gregor, *Mortality and Air Quality, The 1968-1972 Allegheny County Experience* (Ölüm oranı ve hava kalitesi, 1968-1972 Allegheny bölgesi deneyimi), (Center for the Study of Environmental Policy, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, 1976); R.J. Hickey, D.E. Boyce, R.C. Clelland, E.J. Bowers ve P.B. Slater, "Demographic and Chemical Variables Related to Chronic Disease Mortality in Man" (İnsanda kronik hastalık nedeni ölümlere bağlı demografik ve kimyasal değişkenler), Technical Report No. 15, Department of Statistics, University of Pennsylvania (1977); R. Koehal ve M. Koehal, "Air Pollution and the Respiratory Disease Mortality in the United States - A Quantitative Study" (Hava kirliliği ve ABD'de solunum hastalıklarından ölüm oranları - niceliksel bir çalışma), *Social Indicators Research*, 1:263-278 (1974); L.B. Lave ve E.P. Seskin, "Air Pollution and Human Health" (Hava kirliliği ve insan hayatı), *Science*, 169, 723-733 (1970); L.B. Lave ve E.P. Seskin, "An Analysis of the Association Between US Mortality and Air Pollution" (Hava kirliliği ve ABD ölüm oranları arasındaki bağlantının bir analizi), *Journal of the American Statistical Association*, 68(6), 284-290 (1973); L.B. Lave ve E.P. Seskin, *Air Pollution and Human Health* (Hava kirliliği ve insan sağlığı), (Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977); L.B. Lave ve E.P. Seskin "Epidemiology, Causality and Public Policy" (epidemioloji, nedensellik ve toplumsal politika), *American Scientist*, 67, 178-186 (1979); F.W. Lipfert, "Statistical Studies of Geographical Factors in Cancer Mortality: Association with Community Particulate Air Pollution" (Kanser ölümlerinde coğrafi faktörler konusunda istatistiksel çalışmalar: toz halindeki hava kirliliğinin topluma etkisi), (Air Pollution Control Association 71'inci yıllık toplantısında sunuldu, Houston, Texas, Haziran 25-30 (1978); W. Lipfert, "The Association of Human Mortality with Air Pollution: Statistical Analyses by Region, by Age, and by the Cause of Death" (Hava kirliliğiyle insan ölümlerinin ilişkisi: bölge, yaş ve ölüm nedenine göre istatistiksel analizler), Long Island Lighting Company (1978); B.C. Liu ve E.S.H. Yu, "Mortality and Air Pollution Revisited" (Ölüm oranı ve hava kirliliği konulu yeni araştırma), *Journal of the Air Pollution Control Association*, 265 (10), 968-971 (1977); R. Mendelsohn ve G. Orcutt, "An Empirical Analysis of Air Pollution Dose-Response Curves" (Hava kirliliği doz - tepki eğrilerinin ampirik analizi), *Journal of Environmental Economics and Management*, 6, 85-106 (1979); R.C. Schwing ve G.C. McDonald, "Measures of Association of Some Air Pollutants, Natural Ionizing Radiation and Cigarette Smoking with Mortality Rates" (Bazı hava kirlilik maddelerin, doğal iyonlaştırıcı radyasyonun ve sigara kullanımının ölüm oranlarıyla bağlantısının ölçütleri), *The*

Science of the Total Environment, 5, 139-169 (1976); S. Selvin, D. Merrill, L. Kwok ve S. Sacks, "Ecologic Regression Analysis and the Study of the Influence of Air Pollution on Mortality" (Ekolojik gerileme analizi ve hava kirliliğinin ölüm oranları üzerindeki etkisi), Lawrence Berkeley Laboratory preprint LBL-12217, Berkeley, California (1981); J.J. Seneca, P. Asch ve K. Brennan, "Mortality and Air Pollution in New Jersey" (New Jersey'de ölüm oranları ve hava kirliliği), In 12th Annual Report - "Economic Policy Council and Office of Economic Policy", State of New Jersey, Dept. of the Treasury, New Jersey (1979); V.K. Smith, "The Measurement of Mortality - Air Pollution Relationships" (Ölüm oranı - hava kirliliği ilişkilerinin ölçümü), *Environment and Planning*, 8, 149-162 (1976); V.K. Smith, *The Economic Consequences of Air Pollution* (Hava kirliliğinin ekonomik sonuçları) (Ballinger Publishing Co., Cambridge Massachusetts, 1976); T.J. Thomas, "An Investigation into Excess Mortality and Morbidity Due to Air Pollution" (Hava kirliliğine bağlı, beklenenin üzerinde ölüm ve hastalıkların bir artırılması), doktora tezi, Purdue University, W. Lafayette, Indiana (1973).

31. R.W. Buechley, W.B. Riggan, V. Hasselblad ve J.B. VanBruggen, "SO₂ Levels and Perturbations in Mortality: A Study in the New York-New Jersey Metropolis" (SO₂ seviyeleri ve ölüm oranlarındaki değişimler: New York-New Jersey Metropolis'inde bir çalışma), *Archives of Environmental Health*, 27, 134-137 (1973); A.T. Gore ve C.W. Shaddick, "Atmospheric Pollution and Mortality in the County of London" (Londra bölgesinde atmosferik kirlenme ölüm oranları), *British Journal of Social Medicine*, 12, 104 (1958); H. Heimann, "Episodic Air Pollution in Metropolitan Boston: A Trial Epidemiological Study" (Boston metropoliteninde önemli hava kirliliği: bir epidemiyolojik deneme çalışması), *Archives of Environmental Health*, 20, 230 (1970); L.B. Lave ve E. Seskin, *Air Pollution and Human Health* (Hava kirliliği ve insan sağlığı), (Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977); A.E. Martin ve W.H. Bradley, "Mortality, Fog, and Atmospheric Pollution: An investigation During Winter of 1958-59" (Ölüm oranı, sis ve atmosferik kirlenme: 1958-59 kışında bir araştırma), *Monthly Bulletin of Mining Health (London)*, 29, 56-72 (1960); H. Schimmel ve L. Greenberg, "A Study of the Relation of Air Pollution to Mortality, New York City 1963-1964" (Hava kirliliğinin ölümlerle ilişkisi üzerine bir çalışma, New York şehri 1963-1964), *Journal of the Air Pollution Control Association*, 22, 606 (1973); H. Schimmel ve T.J. Murawski, "The Relation of Air Pollution to Mortality", (hava kirliliğinin ölüm oranlarıyla ilişkisi) *Journal of Occupational Medicine*, 18, 316 (1976); J.A. Scott, "The London fog of December 1952", *The Medical Officer (London)*, 109, 250-252 (1953); R.E. Wynga, "The Effect of Air Pollution on Mortality - A Consideration of Distributed Lag Models" (Hava kirliliğinin ölüm oranları üzerindeki etkisi - dağılım gecikmeli modellerin ele alınması), *Journal of the American Statistical Association*, 73, 463-472 (1978); A.E. Martin, "Mortality and Morbidity Statistics and Air Pollution" (Ölüm ve hastalık istatistikleri ve hava kirliliği), *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 57, 969 (1964); T.A. Hodgson, "Short Term Effects of Air Pollution on Mortality in New York City" (New York şehrinde hava kirliliğinin ölümler üzerindeki kısa vadeli etkisi), *Environmental Science and Technology*, 4, 589 (1970); M.D. Lebowitz, "A Comparative Analysis of the Stimulus-Response Relationship Between Mortality and Air Pollution-Weather" (Ölüm oranları ve hava kirliliği - hava durumu arasındaki etki-cevap ilişkisinin karşılaştırılması bir analizi), *Environmental Research*, 6, 106 (1973); M. Glasner ve L. Greenburg, "Air Pollution and Mortality and Weather: New York City, 1960-64" (Hava kirliliği, ölüm oranları ve hava durumu: New York şehri, 1960-64), *Archives of Environmental Health*, 22, 334 (1971); S.E. Burges ve C.W. Shadick, "Bronchitis and Air Pollution" (Bronşit ve Hava kirliliği) *Royal Society Health Journal*, 79, 10 (1959); S. Mazumder ve N. Suseman, "Relationships of Air Pollution to Health: Results from the Pittsburgh Study" (Hava kirliliği ve sağlık arasındaki bağlantılar: Pittsburgh çalışmasının sonuçları), Proc. of the 74th Annual APCA Meeting, Philadelphia, Haziran (1980); S. Mazumder, H. Schimmel ve I. Higgins, "Daily Mortality, Smoke, and SO₂ in London, England, 1959-72" (İngiltere, Londra'da günlük ölüm oranları, duman ve SO₂), Proc. of APCA, Pittsburgh Meeting, Eylül (1980), p.219.

32. U.S. Environmental Protection Agency, Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides (Küçük parçacıklar ve sülfür oksitler için hava kalitesi kriteri), (1981).

33. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "Air Quality Criteria for Oxides of Nitrogen" (Nitrojenin oksitleri için hava kalitesi kriteri) (1980); U.S. EPA, "Health Assessment Document for Polycyclic Organic Matter" (Poliniklik organik maddeler için sağlık değerlendirmesi dokümanı), EPA 600/9-79-008 (1979); U.S. EPA, "Health Assessment Document for Arsenic" (Arsenik için sağlık değerlendirmesi dokümanı), (1980); U.S. EPA, "Air Quality Criteria for Lead" (Kurşun için hava kalitesi kriteri) (1977).

34. B.L. Cohen, "Long Term Consequences of the Linear - No Threshold Dose - Response Relationship for Chemical Carcinogens" (Kimyasal kanserojenler için doğrusal - eşik değersiz doz - tepki ilişkisinin uzun vadede sonuçları), *Risk Analysis*, 1, 267, (1981); P.D. Moskowitz ve grubu, "Photovoltaic Energy Technologies: Health and Environmental Effects Document" (Fotovoltaik enerji teknolojileri: Sağlık ve çevresel etkiler dokümanı), Brookhaven National Lab. Report BNL-51284 (1980).

35. B.L. Cohen, "Health Effects of Radon from Insulation of Buildings" (Yapıların izolasyonlarından kaynaklanan radonun sağlık etkileri), *Health Physics*, 39, 937 (1978).

36. Population Reference Bureau, "1976 World Population Data Sheet", 1754 N St., N.W., Washington, D.C. (1978).

37. B.L. Cohen, "Society's Valuation of Life Saving in Radiation Protection and Other Contexts" (Radyasyondan korunmayla ve diğer şekillerde hayat kurtarılması konusunda toplumun değerlendirmesi), *Health Physics*, 28, 33 (1980).

38. A.R. Karr, "Saga of the Air Bag (Hava yastığı dostları)", *The Wall Street Journal*, Insurance Institute for Highway Safety Status Report'da tekrar basıldı, 11, 18 (30 Kasım, 1976); I.M. Patrick, "Passive and Active Restraint Systems - Perfor-

mance and Benefit-Cost Comparison" (Pasif ve aktif engelleyici sistemler -performans ve fiyat-fayda karşılaştırması), Society of Automotive Engineers Transactions, Paper 750389 (1975); W. Stork, "The Cost Effectiveness of International Vehicle Regulations" (Uluslararası taşıt yönetmeliklerinin fiyat-fayda oranı), *Automotive Engineering*, Mart, 32 (1973).

39. L. Dickinson, "Evaluation of the Effectiveness of Cytologic Screening for Cervical Cancer" (Rahim boynu kanseri için sitolojik gözlemin etkililiğinin hesaplanması), *Mayo Clinic Proceedings*, 47, 550 (Ağustos 1972); J.B. Thorn, J.E. Macgregor, E.M. Russell ve K. Swanson, "Costs of Detecting and Treating Cancer of the Uterine Cervix in North-East Scotland in 1971" (1971'de Kuzeydoğu İskoçya'da rahim yolu kanserinin tespiti ve tedavisinin maliyeti), *Lancet*, 674 (22 Mart 1975); R.J. Walton, "Cervical Cancer Screening Programs: The Walton Report" (Rahim boynu kanseri gözlem programları: Walton raporu), *Canadian Medical Association Journal*, 114, (11) (5 Haziran, 1976); R.N. Groose, "Cost-Benefit Analysis of Health Service" (Sağlık hizmetlerinin fiyat-fayda analizi), *Annals of the American Academy*, 399, 89 (1972); JEC (Joint Economic Committee), U.S. Congress, "The Analysis and Evaluation of Public Expenditure: The PPB System" (Toplumsal harcamaların analiz ve hesabı) (1969); S.E. Rhoads, "How Much Should We Spend to Save Lives?" (Hayat kırtarmak için ne kadar harcamalıyız?), *The Public Interest*, İlkbahar, 74 (1978).

40. Gallup Organization (Princeton, New Jersey), Ocak 1977. Araştırma, American Cancer Society tarafından desteklendi (1977).

41. J.P. Ruchinskas, genelde beklenen değeri veren özel görüşmeler, General Electric Co., Housewares Division, Bridgeport, Connecticut (1978).

42. R.J. Walton, 39. kaynak.

43. M. Kristein, "Economic Issues in Prevention" (Korunmada ekonomik konular), *Preventive Medicine*, 6, 252 (1977).

44. R.J. Bolt, "Sigmoidoscopy in Detection and Diagnosis of the Asymptomatic Individual" (Asimptomatik kişinin saptanması ve teşhisinde sigmoidoskopi), *Cancer*, 28, 121 (1971); V.A. Gilbertson, "Proctosigmoidoscopy and Polypectomy in Reducing the Incidence of Rectal Cancer" (Kahnağarak kanserinin etkisini azaltmada proktosigmoidoskopi ve polipektomi), *Cancer*, 34, (3), Ek, 936 (1974); R.N. Groose "Cost-Benefit Analysis of Health Service" (Sağlık hizmetlerinin fiyat-fayda analizi), *Annals of the American Academy*, 399, 89 (1972).

45. R.S. Fontana, D.R. Sanderson, L.B. Woolner, W.E. Miller, P.E. Bernatz, W.S. Payne ve W.F. Taylor, "The Mayo Lung Project" (Mayo akciğer projesi), *Chest*, 67, 511 (1975).

46. F.A. Naeh, J.M. Morgan ve J.G. Tomkins, "South London Cancer Study" (Güney Londra kanser çalışması), *British Medical Journal*, 2, 715 (1968); G.Z. Brett, "Earlier Diagnosis and Survival in Lung Cancer" (Akciğer kanserinde erken teşhis ve hayatta kalma), aynı kaynak, 4, 260 (1969); K.R. Boucot ve W. Weiss, "Screening for Lung Cancer" (Akciğer kanseri için gözlemleme), *Journal of the American Medical Association*, 227, 566 (1973); J.R.T. Colley, "Diseases of the Lung" (Akciğer hastalıkları), *Lancet*, ii, 1125 (1974).

47. S. Shapiro, P. Straz, L. Venet ve W. Venet, "Changes in 5-year Breast Cancer Mortality in a Breast Cancer Screening Program" (Bir göğüs kanseri gözlem programında 5-yıllık göğüs kanseri ölüm oranlarındaki değişimler), Seventh National Cancer Conference, Los Angeles, California (1972); K. Kristein, "Economic Issues in Prevention" (Korunmada ekonomik konular), *Preventive Medicine*, 6, 252 (1977); L.M. Irving, "Breast Cancer" (Göğüs kanseri), *Lancet*, ii, 1307 (1974); R.N. Groose, "Cost-Benefit Analysis of the Health Service" (Sağlık hizmetlerinin fiyat-fayda analizi), *Annals of the American Academy*, 399, 89 (1972).

48. J. Stamler, R. Stamler, W.F. Riedinger ve G. Algera ve R.H. Roberts, "Hypertension Screening of One Million Americans" (Bir milyon Amerikalı üzerinde yüksek tansiyon gözlemi), *Journal of the American Medical Association*, 235, 2299, (1976); J. Stokes ve D.C. Carmichael, "A Cost-Benefit Analysis of Modern Hypertension Control" (Modern yüksek tansiyon kontrolünün fiyat-fayda analizi), National Heart and Lung Inst, NIH, Bethesda, Maryland (1975).

49. R. Zeckhauser ve D. Shepard, "Where Now for Saving Lives" (Hayat kırtarmak konusundaki yönelim), *Law and Contemporary Problems*, 40(5), 5 (1976); J.P. Acton, "Evaluating Public Programs to Save Lives" The Case of Heart Attacks" (Hayat kırtarmak için toplumsal programların değerlendirmesi: kalp krizi durumları), Rand Corp. Report R-950-RC, Los Angeles, California (1973).

50. J. Riordan, özel görüşme, Health Services Administration, Washington, D.C. (1979).

51. B. Ward, UNICEF New World Food Conference'da (UNICEF Yeni Dünya gıda konferansı) sunulan çalışma, Roma (1974); E. Egan, özel görüşme, Catholic Relief services, New York (1977); kaynak 23'e de bakınız.

52. H.N. Barnum, "An Economic Analysis of Expanded Program of Immunization in Indonesia" (Endonezya'da yaygın bağışıklık kazandırma programının ekonomik analizi), U. of Michigan Report (1978).

53. General Accounting Office, "Effectiveness, Benefits, and Costs of Federal Safety Standards for Protection of Passenger Car Occupants" (Binek otolarında koruma sağlama konusunda federal güvenlik standartlarının etkililiği, yararları ve maliyeti), Washington, D.C. (1976).

54. J.W. Sparks, "Development of an Effective Highway Safety Program" (Etkili bir otoyol güvenlik programının geliştirilmesi) *Traffic Engineering*, 30 Ocak (1977).

55. U.S. Department of Transportation, "The National Highway Safety Needs Report" (Ulusal otoyol güvenlik raporu) (1976).

56. R.C. Schwing, "Expenditures to Reduce Mortality Risk and Increase Longevity" (Ölüm riskini azaltmak ve ömür

uzatmak için harcamalar), General Motors Research Lab. Report GMR-2353-A (1978).

57. EPA (Environmental Protection Agency), Report EPA-570/9-76-00, Washington, D.C. (1976).

58. Office of Management and Budget (OMB), Circular A-94 (1972).

59. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 50, Appendix I; U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) Regulatory Guides 1.109-1.113 (1976).

5. BÖLÜM

1. W.C. Clark, Carbon Dioxide Review-1982 (Clarendon Press, Oxford, 1982).

2. U.S. Senate Committee on Public Works, "Air Quality and Stationary Source Emission Controls" (Hava Kalitesi ve Statik Kaynak Yayılımı Kontrolleri) (1975).

3. E.G. Walther "A Rating of the Major Air Pollutants and Their Sources by Effects" *Journal of the Air Pollution Control Association*, 22, 352 (1972).

4. R. Wilson, S.D. Colome, J.D. Spengler nad D.G. Wilson, *Health Effects of Fossil Fuel Burning* Fosil yakıt kullanımının sağlikaal etkileri (Ballinger Publishing Co., Cambridge, Massachusetts, 1980).

5. Yazarın hesaplamaları, yayınlanmadı.

6. B.L. Cohen, "The Role of Radon in comparison of Environmental Effects of Nuclear Energy, Coal Burning, and Phosphate Mining" (Nükleer enerjinin, kömür yakmanın ve fosfat madenciliğinin çevresel etkilerinin karşılaştırılmasında radonun rolü), *Health Physics*, 40, 19.

7. A.G.Croff and C.W.Alexander, "Decay Characteristics of Once-Through LWR and LMFBFR Spent Fuels, High Level Wastes, and Fuel Assembly Structural Materials Wastes" (LWR -hafif sulu reaktör ve LMFBFR -ağı metal hafız üretken reaktör- tek yönlü atık yakıtlarının, yüksek seviyeli atıkların ve yakıt elemanı malsmelerinin atıklarının bozunum karakteristikleri), Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-7431 (1980).

8. Kaynak 4, sülfür dioksit (SO₂) riskini, her bir metre küp havada bir mikrogram SO₂ için yılda 3.5×10^4 olarak verir. Ortalama bir insan yılda 7,000 metre küp hava solur; Dolayısıyla bu 7 mg yani 0.007 gr SO₂ soluduğu anlamına gelir. Her bir gr SO₂ için ölüm oranı, $3.5 \times 10^4 \times 0.007 = 0.005$ olur. Ortalama bir termik santral, günde 3×10^6 gr SO₂ üretir; bu durumda çıkan SO₂'nin tümü insanlara solunduğunda ($3 \times 10^6 \times 0.005 =$) 1.5 milyon ölüm beklenir.

9. Bir yılda çıkan tüm atık yendiği takdirde ortaya çıkacak etkileri veren Şekil 17'yi görünüz. Rakam, bir günlük etkileri görmek için bir yıldıki gün sayısına bölünmelidir.

10. B.L. Cohen, "Ocean Dumping of Radioactive Waste" (Radyoaktif atığın okyanusa dökülmesi), *Nuclear Technology*, 47, 163 (1980). Bu raporda belirtilen bazı rakamlar, daha sonra elde edilen verilere göre değiştirilmiş; ancak onlar da burada verilen sonuçlara eklenmiştir.

11. "Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides" (Küçük parçacıklar ve sülfür oksitleri için hava kalitesi kriteri) U.S. Environmental Protection Agency, Şubat (1981); "Air quality Criteria for Oxides of Nitrogen" (Nitrojen oksitleri için hava kalitesi kriteri), U.S. Environmental Protection Agency Report, Haziran (1980).

12. U.S. Environmental Protection Agency, Health Assessment Document for Polycyclic Organic Matter (Poliniklik organik maddeler için sağlık değeriendirmesi dokümanı), Report EPA-600/9-79-008 (1979)

13. B.L. Cohen "Effects of ICRP-30 and BEIR-III on Hazard Estimates for High Level Radioactive Waste", (ICRP-30 ve BEIR-III'ün, yüksek seviyeli radyoaktif atığın, zarar tahminleri üzerindeki etkileri), *Health Physics*, 42, 133 (1982).

14. Concil of Environmental Quality, Environmental Quality-1972 (Çevresel Nitelik -1972), Washington, D.C. (1972).

15. U.S. Department of Energy, Technology for Commercial Radioactive Waste Management (Ticari radyoaktif atık idaresi için teknoloji), Document DOE/ET-0028 (1979).

16. J.E. Mendel ve grubu, "Thermal and Radiation Effects on Borosilicate Glass" (Borosilikat camda sıcaklık ve radyasyon etkileri), Battelle Northwest Lab Document BNWL-SA-5534 (1976).

17. "Environmental Aspects of Commercial Radioactive Waste Management" (Ticari radyoaktif atık idaresinin çevresel yönü), U.S. Department of Energy Document DOE/ET-0029, Mayıs (1979).

18. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Task Group On Lung Dynamics, "Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Tract" (İnsan solunum sisteminin iç dozimetresi için biriktirme ve tutulma modelleri), *Health Physics*, 12, 173 (1966).

19. Bunlar, C.M. Koplik, M.F. Kaplan ve B. Ross tarafından yeniden değeriendirmeye alınmıştır. "The Safety of Repositories for Highly Radioactive Waste" (Yüksek derecede radyoaktif atık depolarının güvenliği), *Reviews of Modern Physics*, 54, 269 (1982); ve Interagency Review Group'un Başkana raporu, U.S. Department of Energy Report TID-29442 (1978).

20. B.L. Cohen, "High Level Waste from Light Water Reactors" (Hafif sulu reaktörlerden çıkan yüksek seviyeli atık), *Reviews of Modern Physics*, 49,1 (1977); Atığın gömülmesi ile ilgili planlarda o tarihten bu zamana, atığın cam içinde üç kez seyriltilmesini içeren bir değişiklik oldu. Burada verilen rakamlarda bu da dikkate alınmıştır.

21. B.L. Cohen, "Effects of Recent Neptunium Hazards on High Level Waste Hazard Assessments" (Yüksek seviyeli atığın tehlikesinin değeriendirmesinde, neptinyum üzerine yapılan yeni çalışmaların etkileri), *Health Physics*, 44, 567 (1983).

22. H.E. Christensen, "Toxic Substances List" (Zehirli maddeler listesi), U.S. Department of HEW (1974).
23. J.A. Reuppen, M.A. Molecule ve R.S. Glass, "Titanium Utilization in Long Term Nuclear Waste Storage" (Uzun vadeli atık depolamasında titanyum kullanımı), Sandia National Lab Report, SAND81-2466 (1981).
24. M.F. Kaplan, "Characterization of Weathered Glass by Analyzing Ancient Artifacts" (Antik eşyaların analizi ile aşınmış camın özelliklerinin tespiti), *Scientific Basis for Nuclear Waste Management* adlı yayından, (editör) C.J.M. Northrup (Plenum Press, New York, (1980).
25. W. F. Merritt, Atomic Energy of Canada Limited Report AECL-5317 (1976).
26. H.C. Claibourne ve F. Gera, "Potential Containment Failure Mechanisms and Their Consequences at a Radioactive Waste Repository in Bedded Salt in New Mexico" (New Mexico'daki tuz katmanının içindeki bir radyoaktif atık deposunun da olan yapı hataları ve sonuçları), Oak Ridge National Laboratory Report ORNL-TM-4639 (1974).
27. K.J. Schneider ve A.M. Platt, "High Level Radioactive Waste Management Alternatives" (Yüksek seviyeli atık idaresinde alternatifler), Battelle Northwest Laboratory Report BNWL-1900 (1974).
28. B.L. Cohen, "Analyses, Critique and Re-evaluation of High Level Waste Repository Water Intrusion Scenerio Studies" (Yüksek seviyeli atık deposuna su girmesi varsayımı çalışmalarının analizi, eleştirisi ve tekrar hesaplanması), *Nuclear Technology*, 48, 63 (1980).
29. R. M. Garrels ve F.T. McKenzie, *Evolution of Sedimentary Rocks* (Sedimenter taşların evrimi), (Norton Co., New York, 1971).
30. Bkz. Bölüm 2.
31. National Safety Council, "Accident Facts-1976" (1976 kaza gerçekleri), Chicago (1976).
32. P.A. Witherspoon, N.G.W. Cook ve J.E. Gale, "Progress with Field Investigations at Stripa" (Stripa'da arazi araştırmaları sonucu ilerleme), Lawrence Berkeley Lab Report LBL-10559 (1980).
33. Office of Nuclear Waste Isolation (ONWI), "The Status of Borehole Plugging and Shaft Sealing for Geologic Isolation of Radioactive Waste" (Radyoaktif atığın jeolojik izolasyonu için sondaj deliği tıkkama ve shaft kapama işleminin durumu), ONWI-15, Battelle Memorial Inst., Columbus, Ohio (1979); Office of Nuclear Waste Isolation, Repository Sealing Field Testing Workshop (Depo kapama arazi denemesi çalışması), ONWI-239 (1980); D.M. Roy, M.W. Grutzeck ve P.H. Licastro, Evaluation of Cement Borehole Plug Longevity (Çimentodan yapılmış sondaj deliği tıkaçlarının ömrünün hesaplanması), ONWI-30 (1979).
34. U.S. Consumer Product Safety Commission, U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Dept. Of Health, Education and Welfare, U.S. Food and Drug Administration and U.S. Dept. Of Agriculture, "Scientific Bases for Identification of Potential Carcinogens and Estimation of Risks" (Potansiyel kanserojenlerin tanımlanması ve risklerin tahmini için bilimsel temeller), *Federal Register*, 44, 39858 (1979). Sayfa 39873 ve *Federal Register* sayfa 40,28242; 41, 21402; 43, 25658'i görünüz. U.S. Environmental Protection Agency, "National Emission Standards for Identifying, Assessing and Regulating Airborne Substances Posing a Risk of Cancer" (Kanser Riski taşıyan uçucu maddelerin değerlendirilmesi ve kontrolü için ulusal yayılım standartları), *Federal Register*, 44, 58642,1979 (sayfa 58649'a bakınız); U.S. Occupational Safety and Health Administration, "Identification, Classification and Regulation of Potential Occupational Carcinogens" (Olası mesleki kanserojenlerin tanımlanması, sınıflandırılması ve kontrolü), *Federal Register*, 45, 5002 (1980).
35. B.L. Cohen, "Long Term Consequences of the Linear No Threshold Dose-Response Relationship for Chemical Carcinogens" (Kimyasal kanserojenler için doğrusal, eşik değersiz doz-tepki ilişkisinin uzun vadede sonuçları), *Risk Analysis*, 1, 4, 267 (1982).
36. Carcinogen Assessment Group, U.S. Environmental Protection Agency, "Preliminary Risk Assessment on Beryllium" (Berilyum hakkında ön risk değerlendirmesi), (1979); Carcinogen Assessment Group, "Summary and Conclusions Regarding Carcinogenicity of Chromium" (Kromun kanserojenliği ile ilgili özetler ve sonuçları) (1979); Carcinogen Assessment Group, "Preliminary Risk Assessment on Nickel" (Nikel hakkında ön risk değerlendirmesi) (1979); Carcinogen Assessment Group, "Final Assessment on Arsenic" (Arsenik hakkında kesin değerlendirme) (1980); Carcinogen Assessment Group, "Assessment of Carcinogenic Risk from Population Exposure to Cadmium in the Ambient Air" (Açık havada toplumun kadmiyuma maruz kalmasından kaynaklanan kanser riskinin değerlendirmesi) (1978).
37. International Commission on Radiological Protection (ICRP), "Report of the Task Group on Reference Man" (Çalışma grubunun kaynak kişi konusundaki raporu), ICRP Publication No. 23 (1975).
38. J. Cavallaro, A. W. Durbrouck, H. Shultz ve G.A. Gibbon, "Washability and Analytical Evaluation of Potential Pollution from Trace Elements in Coal" (Kömürde eser miktarda bulunan elementlerin temizlenebilirliği ve yol açacağı olası kirliliğin hesabı), Environmental Protection Agency Report EPA-600/7-78-038, Mart (1978); H.J. Gluskoter, "Trace Elements in Coal: Occurrence and Distribution" (Kömürde eser miktarda bulunan elementler: miktarları ve dağılımları), EPA Report EPA-600/7-77-064 (1977); C.T. Ford, "Evaluation of the Effect of Coal Cleaning on Fugitive Elements" (Kömürdeki uçucu elementlerin temizlenmesinin etkisinin hesaplanması), Bituminous Coal Research Lab Draft Report I-1082 (1980).
39. B.L. Cohen, "Health Effects of Radon from Coal Burning" (Kömür yanmasından çıkan radonun sağlık etkileri), *Health Physics*, 42, 725 (1982).
40. P. Masser, "Low Cost Structure for Photovoltaic Arrays" (Fotovoltaik dizilimler için düşük maliyetli yapı), Sandia Laboratory Report, SAND-79-7006 (1979).

41. P.D. Moskowitz ve grubu, "Photovoltaic Energy Technologies: Health and Environmental Effects Document" (Fotovoltaik enerji teknolojileri: Sağlıkla ve çevresel etkiler dokümanı), Brookhaven National Laboratory Report BNL-51284 (1980).
42. B.L. Cohen, "Discounting in Assessment of Future Radiation Effects" (Radyasyonun gelecekteki etkilerinin değerlendirilmesinde olan değer azalmaları), *Health Physics* (basımda).
43. L.M. Artell, S.J. Cutler ve M.H. Myers, "End Results in Cancer" (Kanserin sonuçları), NIH Publication 73-272 (1973).
44. S. Homer, *The History of Interest Rates* (Faiz oranlarının tarihi) (Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey, 1977).
45. S.J. Mushkin, *Biomedical Research: Costs and Benefits* (Biyomedikal araştırmalar: harcamalar ve yararları) (Balinger Publ. Co., New York, 1979).
46. R. Auster, I. Leveson ve D. Sarachek, "The Production of Health" (Sağlık üretimi), *Journal of Human Resources*, 4, 411 (1969).
47. A. Brodsky, *Handbook of Radiation Measurements and Protection* (Radyasyon ölçümleri ve korunumu el kitabı), Voll (CRC Press, Boca Raton, Fla. 1978).
48. ICRP (International Commission on Radiological Protection), "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers" (Çalışanlar tarafından solunacak radyoaktif elementlerin sınırları), ICRP Publication 30 (1979).
49. National Academy of Sciences Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation, "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation" (Düşük seviyeli iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmanın kitleler üzerindeki etkisi), Washington, D.C. (1980).
50. D.E. White, J.D. Heinve G.A. Waring, "Chemical Composition of Subsurface Waters" (Yüzealtı suların kimyasal kompozisyonu), "Data of Geochemistry" de Bölüm F, U.S. Geological Survey (1963).

6. BÖLÜM

1. Radonun özellikleri ve davranışları hakkında yeterli bilgi, B.L. Cohen, "Radon: Characteristics, Natural Occurrence, Technological Enhancement, and Health Effects" (Radon: özellikleri, doğadaki şekli, teknolojik olarak artırıp sağlıkla etkileri), *Progress in Nuclear Energy*, 4, 1 (1979).
2. F.E. Lundin, J.K. Wagner ve V.E. Archer "Radon Daughter Exposure and Respiratory Cancer: Quantitative and Temporal Aspects" (Radon kaynaklı elementlere maruz kalma ve solunum yolu kanseri: Nicel ve geçici yönleri), U.S. Department of HEW-NIOSH-NIEHS Joint Monograph No.1 (1971).
3. U.S. National Academy of Sciences Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation, "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation" (Kitlelerin düşük seviyeli radyasyona maruz kalmasının etkileri) (1980).
4. B.L. Cohen, "Radon Daughter Exposure to Uranium Miners" (Uranium madencilerinin radon kaynaklı elementlere maruz kalması) *Health Physics*, 42, 449 (1982).
5. The United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation, "Sources and Effects of Ionizing Radiation" (İyonlaştırıcı radyasyonun kaynakları ve etkileri), United Nations, New York (1977).
6. A.J. Breslin ve A.C. George, "Radon Sources, Distribution, and Exposures in Residential Buildings" (konut olarak kullanılan binalardaki radon kaynakları, dağılımı ve etkilimleri), *Transactions of American Nuclear Society*, 33, 150 (1979); J. Rundo, F. Markun ve N.J. Piondke, "Observations of High Concentrations of Radon in Certain Houses" (Belirli evlerde yüksek yoğunlukta radon ölçümleri), *Health Physics*, 36, 729 (1979); G.A. Franz, Colorado State Department of Health, özel görüşme (1979); Health and Rehabilitative Services Department, State of Florida, "Study of Radon Daughter Concentrations in Certain Structures in Polk and Hillsborough Counties" (Polk ve Hillsborough bölgelerindeki belirli yapıları radon kaynağı elementlerin yoğunluğu konulu çalışma) (1978); E. Stranden, L. Berteig ve F. Ugleitveit, "A Study of Radon in Dwellings" (konutlardaki radon konusunda bir çalışma), *Health Physics*, 36, 413 (1979).
7. B.L. Cohen, "Health Effects of Radon from Insulation of Buildings" (Binaların yalıtımından kaynaklanan radonun sağlık etkileri), *Health Physics*, 39, 148 (1979).
8. C.D. Hollowell, M.L. Boegel, J.G. Ingersoll ve W.W. Nazaroff, "Radon-222 in Energy Efficient Buildings" (Enerji tasarruflı olan evlerde radon-222), *Transactions of the American Nuclear Society*, 33, 148 (1979).
9. U.S. Environmental Protection Agency, "Environmental Analysis of the Uranium Fuel Cycle" (Uranium yakıt döngüsünün çevreye etkilerinin analizi), Report EPA-520/9-73-003b (1973); R.O. Pohl "Health Effects of Radon-222 from Uranium Milling" (Uranium öğütümü sonucu çıkan radon-222'nin sağlıkla etkileri), *Search*, 7, 345 (1976); C.C. Travis ve grubu, "Radiological Assessment of Radon-222 Released from Uranium Mills and Other Natural and Technologically Enhanced Sources" (Uranium öğütüm tesisleri ve diğer doğal ve teknolojik kaynaklardan çıkan radon-222'nin radyolojik değerlendirilmesi), U.S. Nuclear Regulatory Commission Report NUREG/CR-0573; U.S. Nuclear Regulatory Commission, Final Generic Environmental Impact Statement on Uranium Milling (Uranium öğütümüyle ilgili doğal etkilerin son genel bildirisi), NUREG-0706.

10. B.L. Cohen, "Health Effects of Radon Emission from Uranium Mill Tailings" (Uranium öğütümü artırdıktan kaynaklanan radon yayılımının sağliksal etkileri), *Health Physics*, 42, 695 (1982).
11. U.S. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 40, Appendix A
12. B.L. Cohen, "The Role of Radon in Comparisons of Effects of Radioactivity Releases from Nuclear Power, Coal Burning, and Phosphate Mining" (Nükleer güç, kömür yakılması ve fosfat madencilliği sonucu radyoaktivite yayımlarının etkilerinin karşılaştırılmasında radonun rolü), *Health Physics*, 40 19 (1981).
13. E.D. Goldberg ve grubu, "Marine Chemistry" (Deniz Kimyası), *Radioactivity in the Marine Environment*'den (Deniz ortamında radyoaktivite), National Academy of Sciences (1971).
14. B.L. Cohen, "Health Effects of Radon from Coal Burning" (Kömür yakılmasından kaynaklanan radonun sağliksal etkileri), *Health Physics*, 42, 725 (1982).
15. P.D. Moskowitz ve grubu, "Photovoltaic Energy Techniques: Health and Environmental Effects Document" (Fotovoltaik enerji teknikleri: Sağliksal ve çevresel etkiler dokümanı), Brookhaven National Laboratory Report, BNL-51284 (1980); P. Masser, "Low Cost Structure for Photovoltaic Arrays" (Fotovoltaik dizimler için düşük maliyetli yapı), Sandia Laboratory Report, SAND-79-7006 (1979); B.L. Cohen, "Consequences of a Linear, No-Threshold Dose-Response Relationship for Chemical Carcinogens" (Kimyasal Kanserojen maddeler için doğrusal, eşiksiz doz-tepki ilişkisinin sonuçları), *Risk Analysis*, 1, 267 (1981).
16. J.W. Gofman ve A.R. Tamplin, *Poisoned Power* (Zehirli güç) (Rodale Press, Emmaus, Pa. 1971).
17. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 50, Appendix I. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guides 1.109-1.113. Bunlar, 1000 dolar/kıgi-rem için yapılan harcamayı açıklarlar ve Bölüm 2'deki ölümcül kanser riskine (her 1/80000 kişi-rem) bölerek, ölenen her ölümcül kanser başına 8 milyon dolar sonucu bulunur.
18. Federal yönetmelikler kaydı, Bölüm 40, Kısm 190
19. Kentucky Department of Human Resources, "Six Month Study of Radiation Concentrations and Transport Mechanisms at the Maxey Flats Area of Fleming County, Kentucky" (Fleming bölgesi, Kentucky'nin Maxey Flats alanındaki radyasyon yoğunlukları ve nakliye sistemlerinin altı aylık incelemesi) (1974); G.L. Meyer, Preliminary Data on the Occurrence of Transuranium Nuclides in the Environment at the Radioactive Waste Burial Site, Maxey Flats, Kentucky (Radyoaktif atık gömü alanında, transuranik atomların miktarları hakkında ön bilgi, Maxey Flats, Kentucky); EPA Report, Office of Radiation Programs (1976).
20. J. Hardin, Kentucky Department of Human Resources, özel görüşme
21. J. Razor (Maxey Flats doğal koruma görevlisi), kişisel görüşme
22. U.S. House of Representatives Subcommittee on Conservation, Energy, and Natural Resources (ABD Temsilciler Meclisi tasarruf, enerji ve doğal kaynaklar altı komitesi), William B. Moorhead, Chairman, 23 Şubat oturumları (1977).
23. J.M. Matuzsek, F.V. Strnisa, ve C.F. Baxter, "Radionuclide Dynamics and Health Implications for the NY Nuclear Service Center's Radioactive Waste Burial Site" (Radyoaktif izotop dinamiği ve NY Nükleer servis merkezinin radyoaktif gömü alanındaki sağlık uygulamaları), International Atomic Energy Agency paper IAEA-SM-207/59 (1976).
24. National News Council, Cohen *et al.* against *NBC News* (Cohen ve grubu NBC haberlerine karşı), 23 Şubat (1977).
25. W.F. Naedle, "Nuclear Grave is Haunting KY" (Nükleer mezar Kentucky'yi lanetliyor), *Philadelphia Evening Bulletin*, 7 Mayıs (1979).
26. ABD Federal Yönetmelikler Kaydı, Bölüm 10, Kısım 61.
27. Federal Register, "Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste" (Radyoaktif atığın toprağa konulması konusunda lisanslama şartları), Vol. 46 (142), 38096ff24 Temmuz (1981).
28. Nuclear Regulatory Commission, Draft Environmental Statement on 10CFR61, NRC Document, NUREG-0782 (1981).
29. B.L. Cohen, "A Generic Probabilistic Risk Assessment for Low Level Waste Burial Grounds" (Düşük seviyeli atık gömü alanları için genel olasılıksal risk hesabı), (*Nuclear and Chemical Waste Management*).
30. H.J. Roeler ve H. Lange, *Geochemical Tables* (Jeokimyasal tablolar) (Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 1972).
31. International Commission on Radiological Protection, *Report of the Task Group on Reference Man* (Görevli grubun kaynak gösterilen kişi hakkındaki raporu), ICRP Publication No.23 (Pergamon Press, New York, 1975).
32. Nuclear Regulatory Commission, Data Base for Radioactive Waste Management (Radyoaktif atık idaresi için veri tabanı), NRC Document NUREG/CR-1759 (1981).
33. U.S. Energy Research and Development Administration (ERDA), "Alternatives for Long Term Management of Defense High-Level Radioactive Waste" (Yüksek seviyeli radyoaktif atıkların uzun süreli idaresi konusunda alternatifler), Document ERDA-77-421 (1977).
34. L.R. Brown, "World Food Resources and Population" (Dünya besin kaynakları ve nüfus), Population Reference Bureau (1981).
35. Western New York Nuclear Service Center Study (Batı New York Nükleer Servis Merkezi çalışması), U.S. Department of Energy Report TID-28905-2 (1980).
36. B.L. Cohen, "The Situation at West Valley" (West Valley'deki durum), *Public Utilities Fortnightly*, Spet. 27, (1979), p.26.

37. V.I. Spitsyn ve grubu, International Atomic Energy Agency Paper IAEA-CN-36/346 (1977).
38. U.S. Atomic Energy Commission, "Proposed Final Environmental Statement, Liquid Metal Fast Breeder Reactor Program" (Son çevresel durum, sıvı metal hızlı üretken reaktör programı), Document WASH-1635, Aralık (1974).
39. International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers* (Çalışanlar için alınabilecek radyoizotopların sınırları), ICRP Publication No.30 (Pergamon Press, New York, 1979).
40. W.J. Bair ve R.C. Thompson, "Plutonium: Biomedical Research" (Plutonyum: Biyomedikal Araştırma), *Science*, 183, 715 (1974).
41. U.S. Department of Energy, "Environment Impact Statement, Management of Commercially Generated Radioactive Waste" (Çevresel etki konulu rapor, ticari olarak üretilen radyoaktif atığın idaresi), Document DOE/EIS-0046F, Ekim (1980).
42. Nuclear Regulatory Commission, "Final Environmental Statement on the Transportation of Radioactive Material by Air and Other Modes" (Radyoaktif maddelerin hava ve diğer yollarla taşınımı hakkında, çevresel son durum), Document NUREG-0170 (1977).
43. R.M. Jefferson ve H.R. Yoshimura, "Crash Testing of Nuclear Fuel Shipping Containers" (Nükleer yakıt nakliye kaplarının çarpma testleri), Sandia National Lab Report SAND 77-1462 (1978).
44. R.P. Sandoval ve G.J. Newton, "A Safety Assessment of Spent Fuel Transportation Through Urban Regions" (Yerleşim bölgelerinden kullanılmış yakıt geçirilmesinin güvenlik açısından değerlendirmesi), *Nuclear and Chemical Waste Management*, 3, 5 (1982).
45. A. Parschini, "Study Finds Tanker Trucks a Highway Danger" (Çalışmalar, tankerlerin otoyollarda tehlike oluşturduğunu gösteriyor), *Los Angeles Times*, 21 Mayıs (1982).
46. C. Bliss ve grubu, "Accidents and Unscheduled Events Associated with Non-nuclear Energy Resources and Technology" (Nükleer olmayan enerji kaynakları ve teknolojilerine bağlı kazalar ve beklenmeyen durumlar), Mitre Corp-EPA Report PB-265-398, p. 65 (1981); P. Gleich, "Health and Safety Effects of Coal Transportation" (Kömür nakhyatının sağlamlık ve güvenliğe yönelik etkileri), *Energy*, 614 (1981).
47. Z.A. Medvedev, *New Scientist*, 72, 264 (1976); 72, 692 (1976); 74, 761 (1977); 76, 352 (1977).
48. J.R. Trabelka, L.D. Eymann ve S.I. Auerbach, "Analysis of the 1957-58 Soviet Nuclear Accident" (1957-58 Sovyet nükleer kazasının analizi), *Science*, 209, 345, (18 Haziran 1980).
49. J.R. Trabelka, L.D. Eymann ve S.I. Auerbach, "Analysis of the 1957-58 Soviet Nuclear Accident" (1957-58 Sovyet nükleer kazasının analizi), *Science*, 209, 345 (18 Temmuz 1980).
50. D.M. Soran ve D.B. Stillman, "An Analysis of the Alleged Kyshtym Disaster" (Kyshtym'da olduğu iddia edilen kazanın bir analizi), Los Alamos National Lab Report LA-9217-MS (1981).
51. S. McCracken, *The War Against the Atom* (Atoma karşı savaş), (Basic Books, New York, 1982).
52. *Encyclopedia of Science* (Uranium) (McGraw-Hill, New York, 1971).
53. J. Cavallaro, A.W. Deurbrouck, H. Schultz ve G.A. Gibbon, "Washability and Analytical Evaluation of Potential Pollution from Trace Elements in Coal" (Kömürde eser miktarda bulunan elementlerin ayrılabilirliği ve yol açabilecekleri kirlilik), Environmental Protection Agency Report EPA-600/7-78-038, Mart (1978); H.J. Gluskoter, "Trace Elements in Coal: Occurrence and Distribution" (Kömürde eser miktarda bulunan elementler; miktarları ve dağılımları EPA Report EPA-600/7-77-064 (1977); C.T. Ford, "Evaluation of the Effect of Coal Cleaning on Fugitive Elements" (Kömürün temizlenmesinin içerdği diğer elementler üzerindeki etkisi), Bituminous Coal Research Lab Draft Report L-1082 (1980).

7. BÖLÜM

1. F.R. Best ve M.J. Driscoll, *Transactions of the American Nuclear Society*, 34, 380 (1980).
2. B.L. Cohen, "Breeder Reactors - A Renewable Energy Source" (Üretken reaktörler - yenilenebilir bir enerji kaynağı), *American Journal of Physics*, 51, 75 (1983).
3. K. Avery ve H.A. Bethe, "Breeder Reactors: The Next Generation" (Üretken reaktörler: gelecek kuşak), *Nuclear Power: Both Sides* adlı kitapta, M. Kaku ve J. Trainer (editörler) (Norton, New York, 1982).
4. T.G. Ayers ve grubu, LMFBRR Program Review (Sıvı metal soğutmalı hızlı üretken reaktör programı değerlendirilmesi), U.S. Energy Research and Development Administration (1978); Report to the Task Force to the LMFBRR Review Steering Committee, Energy Research and Development Administration, 6 Nisan (1977).
5. Joint Committee on Atomic Energy, Review of the National Breeder Reactor Program (Ulusal üretken reaktör programının değerlendirilmesi), Ocak (1976).
6. R. Wilson, "Report on Safety of a Liquid Metal Fast Breeder Reactor" (Bir sıvı metal hızlı üretken reaktörün güvenliği konulu rapor), Electric Power Research Institute, Palo Alto, California (1976).
7. J.B. Yasinsky (editör), "Position Papers on Major Issues Associated with the Liquid Metal Fast Breeder Reactor" (Sıvı metal hızlı üretken reaktöre ilişkin önemli konular hakkında durum raporları), Westinghouse Electric Corp., Madison, Pennsylvania (1978).
8. Milton R. Benjamin, *Washington Post*, 20 Temmuz (1982).

9. Atomic-Industrial Forum, "Light Water Reactor Fuel Cycles -An Economic Comparison of the Recycle and Throw-away Alternatives" (Hafız su reaktörleri yakıt döngüleri -geri çevrim ve atma alternatiflerinin ekonomik açıdan bir karşılaştırması), Şubat (1981). Bu kaynak, altı farklı grup tarafından yapılan analizleri sunmaktadır.
10. Robert Leach, "World Reprocessing Facilities" (Dünyada yeniden işleme tesisleri), *Worldwide Nuclear Power*, Ocak (1982).
11. Shelby T. Brewer, "Letter to Recipients of Worldwide Nuclear Power" (Nükleer gücün tüm dünyadaki kullananlarına mektup), 4 Mart tarihli (1982).
12. W. Meyer, S.K. Loyalka, W.E. Nelson ve R. Williams, "The Homemade Bomb Syndrome" (Ev yapımı bomba sendromu), *Nuclear Safety*, 18, 427 (1977).
13. C. Starr ve E. Zebrenski, "Nuclear Power and Weapons Proliferation" (Nükleer güç ve silah yayılımı), American Power Conference, Nisan (1977).
14. J. McPhee, *The Curve of Binding Energy* (Bağlanma enerjisi eğrisi), (Ballantine Books, New York, 1975).
15. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Safeguarding a Domestic Mixed Oxide Industry Against a Hypothetical Subnational Threat" (Yerel koruma oksit sanayinin ülke içinden gelecek bir tehdide karşı korunması), NUREG-0414, Mayıs (1978).
16. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Regulatory Guide 5.55: Standard Format and Content of Safeguards Consistency Plans for Fuel Cycle Facilities" (Yönetmelik hükümü 5.55: Yakıt döngüsü tesisleri için koruma bütünlüğünün şekli ve kapsamı) (1978); "Regulatory Guide 5.54: Standard Format and Content of Safeguards Contingency Plans for Nuclear Power Plants" (Nükleer güç santrallerinin standart tertibi ve beklenmedik durumlar için güvenlik planlarının içeriği) (1978).
17. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Regulatory Guide 5.56: Standard Format and Content of Safeguards Contingency Plans for Transportation" (1978). (Standart tertip ve nakliye için beklenmedik durum güvenlik önlemlerinin içeriği).
18. M. Willrich ve T.B. Taylor, *Nuclear Theft: Risks and Safeguards*, (nükleer hırsızlık: Riskler ve güvenlik önlemleri) (Ballinger Publ. Co., Cambridge, Massachusetts, 1974).
19. F.H. Schmidt ve D. Bodansky, *The Energy Controversy: The Fight over Nuclear Power* (Enerji çekişmesi: nükleer güç savaşı), (Albion Press, San Francisco, 1976).
20. B.L. Cohen, "Plutonium -How Great is the Terrorist Threat" (Plutonyum -terörist tehdidi ne kadar büyük), *Nuclear Engineering International*, Şubat (1977). Kinderman'dan yapılan ve orada verilen bir kitapstan alınmıştır; ancak kitabın adını hatırlayamıyorum.
21. U.S. Nuclear Research and Development Administration (ERDA) Safeguards Program, *Background Statement*, 10 Mart (1975).
22. R. Nader, Lafayette College konuşmasından, İlkbahar (1975).
23. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Task Group on Lung Dynamics, "Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Tract" (İnsan solunum yolunun iç dozimetresi için arındırma ve muhafaza modelleri), *Health Physics*, 12, 173 (1966).
24. National Academy of Sciences Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR), "Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation" (düşük seviyelerde iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmanın toplum üzerindeki etkileri) (1977).
25. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), "Sources and Effects of Ionizing Radiation" (iyonlaştırıcı radyasyonun kaynakları ve etkileri) (1977).
26. B.L. Cohen, "Hazards from Plutonium Toxicity" (Plutonyumun zehirliliğinin doğurduğu tehlikeler), *Health Physics*, 32, 369 (1977).
27. The Medical Research Council, *The Toxicity of Plutonium* (Plutonyumun zehirliliği), (Her Majesty's Stationary Office, London, 1975); C.W. Mays, "Discussion of Plutonium Toxicity" (Plutonyumun zehirliliği konusu), R.G. Sachs (editor), *National Energy Issues -How Do We Decide* adlı kaynaktan (Ballinger Publ. Co. Massachusetts, 1980); C.W. Mays, "Risk Estimates for Liver", "Critical Issues in Setting Radiation Dose Limits" (Radyasyon doz limitlerini belirlemede kritik noktalar) adlı kaynaktan, NCRP (1981).
28. W.J. Bair, "Toxicity of Plutonium", *Advances in Radiation Biology*, 4, 225 (1974).
29. J.H. Rothchild, *Tomorrow's Weapons* (McGraw-Hill, New York, 1964).
30. J.F. Park, W.J. Bair ve R.H. Busch, "Progress in Beagle Dog Studies with Transuranium Elements at Battelle-Northwest" (Batelle-Northwest'te ev köpekleri üzerinde transuranik elementlerle yapılan çalışmalarda ilerlemeler), *Health Physics*, 22, 803 (1972).
31. A.R. Tamplin ve T.B. Cochran, "Radiation Standards for Hot Particles" (Sıcak parçacıklar için radyasyon standartları), Natural Resources Defense Council Report, 1974; "Petition to Amend Radiation Protection Standards as They Apply to Hot Particles" (Sıcak parçacıklar için uygulanan radyasyondan koruma standartlarının değiştirilmesi için dilekçe), EPA ve AEC'ye sunuldu, Şubat (1974).
32. National Academy of Sciences, "Health Effects of Alpha Emitting Particles in the Respiratory Tract" (Alfa yayan parçacıkların solunum yollarına yaptığı sağlıksal etkiler), Environmental Protection Agency Document EPA 520/4-76-013 (1976); National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), "Alpha Emitting Particles in Lungs" (Akciğer-

lerde alfa yayan parçacıklar, NCRP Report No.46 (1975); United Kingdom National Radiological Protection Board, Report r-29 ve Bulletin No.8 (1974); W.J. Bair, C.R. Richmond ve B.W. Wachholz, "A Radiobiological Assessment of the Spatial Distribution of Dose from Plutonium" (Plutonyum kaynaklı dozun uzamsal dağılımının radyobiolojik değerlendirilmesi), U.S. Atomic Energy Commission Report WASH-1320 (1974); The Medical Research Council'in kaynak 27'deki yayınına da bağvurunuz.

33. G.L. Voelz, "What We Have Learned About Plutonium from Human Data" (insan verilerinden plutonyumla ilgili olarak neler öğrendi), *Health Physics*, 29, 551 (1975).

34. J.W. Gofman, "The Cancer Hazard from Inhaled Plutonium" (Solunan plutonyumun kanser tehlikesi), Committee for Nuclear Responsibility Report CNR 1975-1, Congressional Record -Senate 31 Temmuz (1975), sayfa 14610'da tekrar basıldı.

35. R.W. Albert ve grubu, *Archives of Environmental Health*, 18, 738 (1969); 30, 361 (1961).

36. W.J. Bair, "Review of Reports by J.W. Gofman on Inhaled Plutonium" (Solunan plutonyumla ilgili olarak J.W. Gofman'ın hazırladığı raporların değerlendirmesi), Battelle Northwest Lab. Report BNWL-2067; C.R. Richmond, "Review of John W. Gofman's Report on Health Hazards from Inhaled Plutonium" (John W. Gofman'ın solunan plutonyumun ağızla tehlikeleriyle ilgili raporunun değerlendirmesi), Oak Ridge National Laboratory, Report ORNL-TM-5257 (1975); J.W. Healy ve grubu "A Brief Review of the Plutonium Lung Cancer Estimates by John W. Gofman" (John W. Gofman'ın, plutonyum nedeni akciğer kanseri tahminlerinin kısa bir değerlendirmesi), Los Alamos Scientific Laboratory, Report LA-UR-75-1779 (1975); M.B. Spines ve grubu, "Review of John Gofman's Papers on Lung Cancer Hazard from Inhaled Plutonium" (Solunan plutonyumun akciğer kanseri tehlikeleri ile ilgili olarak John W. Gofman raporlarının değerlendirmesi), Lovelace Foundation, Albuquerque, New Mexico, Report LF-51 UC-48 (1975); "Comments Prepared by D. Grah" (D. Grah tarafından hazırlanmış yorumlar), Argonne National Laboratory (1975).

37. R. Nader, *Family Health*, Ocak (1977), sayfa 53.

38. U.S. Atomic Energy Commission, "Meteorology and Atomic Energy" (Meteoroloji ve atom enerjisi), 97. sayfa ve sonran (1968). Burada 26. kaynağa kullanılan hesaplama yöntemi anlatılmaktadır.

39. K. Stewart, *The Resuspension of Particulate Material from Surfaces* (Yüzeylerde bulunan toz haliindeki parçacıkların tekrar havalandırması) adlı kaynaktan, B.R. Fish (editör) (Pergamon Press, New York, 1964); W.H. Langham, Los Alamos Scientific Lab. Report LA-4756 (1971); L.R. Anspaugh, P.L. Phelps, N.C. Kennedy ve H.C. Booth, *Proceedings of the Conference on Environmental Behavior of Radionuclides Released in the Nuclear Industry*, International Atomic Energy Agency, Vienna (1975).

40. H.R. McLendon ve grubu, International Atomic Energy Agency Document IAEA-SM-199/85, sayfa 347 (1976) -Svanah River Plant; R.C. Dahlman, E.A. Bondietti ve L.D. Eymann, Oak Ridge National Laboratory Environmental Sciences Division Publication 870 (1976) -Oak Ridge; F.W. Wicker, Colorado State University Report COO-1156-80 (1975) -Rocky Plata, Colorado; E.M. Romney, A. Wallace, R.O. Gilbert ve J.E. Kinnear, International Atomic Energy Agency Document IAEA-SM-199/73, sayfa 479 (1976) -Eniwetok.

41. J. Gofman, *National Forum*, Yaz (1979).

42. B.L. Cohen, "Plutonium Containment" (Plutonyum içeriği), *Health Physics*, 40, 76 (1981).

43. U.S. Environmental Protection Agency, *Federal Register*, 40, 23420 (1975).

44. U.S. Atomic Energy Agency, "Plutonium and Other Transuranic Elements: Sources, Environmental Distribution, and Biomedical Effects" (Plutonyum ve diğer transuranik elementler: kaynaklar, çevresel dağılım ve biyomedikal etkileri), Document WASH-1359 (1974).

45. J.R. Lamarab, *Introduction to Nuclear Engineering* (Nükleer mühendisliğe giriş), (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1975).

46. International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Recommendations of ICRP* (ICRP'nin önerileri), ICRP Publication 36 (Pergamon Press, New York, 1977).

8. BÖLÜM

1. Consumers Power Co., Jackson, Michigan, Position Papers (Durum raporları) (1981); R. Wheeler, "The Midland Chronicles" (Midland'ın tarihçesi), Consumers Power Co., Jackson, Michigan (1981).

2. W.B. Behnke, "Economic and Technical Experience of Nuclear Power Production in the U.S." (ABD'de Nükleer güç üretiminde ekonomik ve teknik deneyim), International Conference on Nuclear Power Experience, Vienna (1982).

3. United Engineers and Constructors, "Final Report and Initial Update of the Energy Economic Data Base Program" (Enerji ekonomik veri tabanı programı son raporu ve ilk değişiklikler) (1979); Arthur G. Bernstein (United Engineers), özel görüşmeler (1982).

4. A. Reynolds, "Cost of Coal vs. Nuclear in Electric Power Generation" (Elektrik güç üretiminde, kömüre karşılık nükleerin fiyatları), U.S. Energy Information Administration Document (1982).

5. W.W. Brandon, "The Economics of Nuclear Power" (Nükleer gücün ekonomisi), American Ceramic Society, Cincinnati (1982).

6. I. Spiewak ve D.F. Cope, "Overview Paper on Nuclear Power" (Nükleer güç hakkında bir genel bilgi raporu), Oak

Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-7425 (1980).

7. J.H. Crowley, "Nuclear Energy -What's Next" (Nükleer enerji- arada ne var), Atomic-Industrial Forum Workshop on the Electric Imperative, Monterey, California (1981).

8. Long Island Lighting Co. "The Shoreham Nuclear Power Plant: An Overview" (Shoreham nükleer güç santrali: genel bir bakış), (1982).

9. M.R. Copulos, "Confrontation at Seabrook" (Seabrook'ta yüzleşme), The Heritage Foundation (1978).

10. Tennessee Valley Authority, "Summary of Capital Cost per kW for U.S. Nuclear Plants" (Amerikan nükleer santralleri için bir kW için anaparanın özeti) (1982).

11. S. Diamond, "Shoreham: What Went Wrong" (Shoreham: yanlış giden neydi), *Newsday*, 18 Kasım (1981).

12. "The World List of Nuclear Power Plants" (Dünyadaki nükleer güç santrallerinin listesi), *Nuclear News*, Şubat (1982), p.83.

13. *Nuclear Engineering International*, Ağustos (1982), Ek.

14. Atomic Industrial Forum, "Nuclear Power: Facts and Figures" (Nükleer güç: gerçekler ve rakamlar), Temmuz (1982).

15. *Journal Official des Debats de l'Assemblée National*, 10 Mayıs (1982).

16. "Projected Costs of Electricity from Nuclear and Coal-fired Power Plants" (Nükleer ve kömür yakan güç santrallerinin üreteceği elektriğin öngörülen fiyatları), U.S. Energy Information Administration Document DOE/EZ-0356/1, Ağustos (1982).

17. OECD Nuclear Energy Agency, Tenth Annual Activity Report (Onuncu yıllık çalışma raporu) (1982).

18. Electricite de France/Production Thermique -Annual Report (Yıllık rapor) (1982).

19. International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy Conference in Brussels (Brüksel'deki uluslararası elektrik enerjisi üreticileri ve dağıtıcıları birliği), Haziran 1982, *Nuclear News*'de yayınlandı, Haziran (1982), p.48.

20. C. Komanoff, "Power Plant Cost Escalation: Nuclear and Coal Capital Costs, Regulation, and Economics" (Güç santrali fiyat artışı: nükleer ve kömür sermaye maliyetleri, yönetmelikler ve ekonomisi), Komanoff Energy Assoc., New York (1981).

21. A.D. Rossin "Statistics, Economics, and Credibility" (İstatistikler, ekonomi ve inanılabilirlik), *Nuclear News*, Eylül (1981); AIF Industry Review Group, "Critique of the Charles Komanoff Report" (Charles Komanoff raporunun eleştirisi), Atomic-Industrial Forum, Washington, D.C. (1981).

9. BÖLÜM

1. D. Redfield, "Photovoltaics -an Overview" (Fotovoltaik piller -bir özet), "Solar Energy in Review" den (Güneş enerjisinin yeniden değerlendirmesi), Solar Energy Research Institute (1981). Bu araştırmanın maliyet ile ilgili rakamlar verdiği yerlerde, ortalamalar kullanılmıştır.

2. J.L. Smith, "Photovoltaics" (Fotovoltaikler), *Science*, 212, 1472 (26 Haziran 1981).

3. E.L. Burgess, H.N. Post ve T.S. Key, "Subsystem Engineering and Development of Grid-Connected Photovoltaic Systems" (Şebeke ile bağlanmış fotovoltaik sistemlerin sistem altı mühendisi ve geliştirilmesi), Proceedings of the Fourth European Com. PV Solar Energy Conf., Stresa, Italya, Mayıs (1982).

4. P. Maycock (U.S. Department of Energy), özel görüşme (1982).

5. P. Masser, "Low Cost Structures for Photovoltaic Arrays" (Fotovoltaik dizilimler için düşük maliyetli yapılar), Sandia National Lab Report SAND 79-7006 (1979).

6. R. Stromberg (Sandia National Lab.), özel görüşme (1981).

7. R. Whittaker, "Photovoltaics: a Question of Efficiency" (Fotovoltaik piller: bir verim sorunu), *EPRI Journal*, Aralık (1981).

8. Pittsburg Builder's Exchange, özel görüşme (1982).

9. J.L. Smith, "Photovoltaics as a Terrestrial Energy Source" (Dünyada bir enerji kaynağı olarak fotovoltaik piller), U.S. Department of Energy Report DOE/ET-20356-6 (1980).

10. Energy Information Administration, Projected Costs of Electricity from Nuclear and Coal-Fired Power Plants (Nükleer ve termik güç santrallerinden elde edilen elektriğin öngörülen fiyatları), U.S. Department of Energy Document DOE/EIA-0356/1, Ağustos (1982).

11. A. Szeless, "Performance of Nuclear Power Plants in 1981" (Nükleer güç santrallerinin 1981'deki performansı), *Power Engineering*, Eylül (1982), sayfa:54.

12. *Journal Official des Debats de l'Assemblée National*, 10 Mayıs (1982).

13. M.C. Russell, "An Apprentice's Guide to Photovoltaics" (Fotovoltaik pillerle yeni tanışanlar için rehber), *Solar Age*, Haziran (1981).

14. International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy, Brüksel'deki konferansa, Haziran 1982, *Nuclear News*'de yayınlandı, Temmuz (1982), sayfa:48.

15. D. Van Atta, "Solar-Thermal Electric: Focal Point for the Desert Sun" (Güneş kaynaklı termal elektrik: çöl güneşi

336 • Kaynaklar

için odak noktası, *EPRI Journal*, Aralık (1981), sayfa:37.

16. M.L. Smith, "Wind: Prototypes on the Landscape" (Rüzgar: prototipler arazide, *EPRI Journal*, Aralık (1981), sayfa:27.

17. H. Neustadler (Lewis Research Center, Cleveland, Ohio), özel görüşme.

18. W.D. Metz, "Wind Energy" (Rüzgar Enerjisi), *Science*, 197, 971 (2 Eylül 1977).

19. "Going with the Wind" (Rüzgara bağlı olmak, *EPRI Journal*, Mart (1980), sayfa:6.

20. "Sun-Wise Dealer Book, Appendix B: Mean Solar Radiation Maps" (Güneş konusunda bilgi veren satış kitabı, İlave er B: Ortalama güneş ısıtım haritaları), Sun-Wise Inc., Great Falls, Montana (1979).

21. Yazar tarafından Sears-Roebuck Catalog'daki fiyat ve tanımlamalara göre yapılmış olan ve bir evin gecede 114 volta 200 amper-saatlik enerji harcıyacağını varsayan hesaplamalar.

22. J.M. Fowler, *Energy and the Environment* (Enerji ve çevre), (McGraw-Hill, New York, 1976).

23. A.B. Lovins, "Energy Strategy: The Road Not Taken" (Enerji stratejisi: seçilmemiş yol), *Foreign Affairs*, Ekim (1976), sayfa:55.

24. Bakınız, örneğin, "A Series of Critical Essays on Amory Lovins' Energy Strategy: The Road Not Taken" (Amory Lovins'in 'Enerji stratejisi: henüz seçilmemiş yol' adlı eseri üzerine bir eleştiri yazıları serisi", *Electric Perspectives*, 77/3, (1977).

25. J.A. Pickrill, C.H. Hobbs ve B.V. Mokler, "Biomedical Research Needs Related to Photovoltaic Conversion of Solar Energy to Electricity" (Güneş enerjisinin fotovoltaik olarak elektrığe çevrimiyle ilgili biyomedikal araştırma gereksinimleri), Lovelace Research Inst. Report LF-65, U.C.-48, Albuquerque, New Mexico (1979).

26. P.D. Moskowitz, P. Perry ve I. Wilenitz, "Photovoltaic Energy Systems: Environmental Concerns and Control Technology Needs" (Fotovoltaik enerji sistemleri: çevresel etkiler ve kontrol teknolojileri gereksinimleri), Brookhaven National Lab Report BNL 31478 (1981).

27. R.G. Cuddihy, W.C. Griffith, C.R. Clark ve R.O. McClellan, "Potential Health and Environmental Effects of Light Duty Diesel Engines" (Düşük güçlü dizel motorlarının olan sağlıksal ve çevresel etkileri), Lovelace Research Institute Report LMF-89, UC-48, Albuquerque, New Mexico (1981).

28. K.A. Lawrence, "A Review of the Environmental Effects of Three Solar Technologies" (Üç güneş enerjisi teknolojisinin çevresel etkilerinin bir değerlendirmesi), International Solar Energy Society, C Denver, Colorado (1978).

29. F.G. Davison, *Nuclear Power: Development and Management of a Technology* (Nükleer güç: bir teknolojinin gelişimi ve yönetimi) (University of Washington Press, Seattle, 1976).

10. BÖLÜM

1. R. Karperson, G. Berk, A. Sharaif, D. Pijawka ve J. Wood, "Public Opinion and Nuclear Energy: Retrospect and Prospect" (Kamuyu ve Nükleer Enerji: Geçmiş ve Geleceği), *Science and Technology, and Human Values*, Bahar (1980), sf.11.

2. S. Rothman ve S.R. Lichter, "The Nuclear Energy Debate: Scientists, the Media and the Public," (Nükleer Enerji Tartışması: Bilim adamları, basın ve halk) *Public Opinion*, Ağustos-Eylül (1982), sf.47.

3. S. Nealy ve W. Rankin, "A Comparative Analyses of Print Media Coverage of Nuclear Power and Coal Issues," (Yazılı Basında Çıkan Nükleer Enerji ve Kömür Konularının Karşılaştırmalı Bir Analizi), Battelle Human Affairs Research Center, Seattle (1979).

4. The Media Institute, "Television Evening News Covers Nuclear Energy", (Nükleer Enerjiyle İlgili Televizyon Akşam Haberleri), Washington, D.C. (1979).

*"Çok Geç Gelmeyen"
denen bir tartışma
özellikle Amerika Birleşik
Devletleri'nde en yoğun yaşandığı
bir dönemde yazılmış,
nitelikli bir kitap. Üniversite'de
fizik profesörlüğü yapmış olan yazar
Bernard L. Cohen, metnin
hiçbir bilimsel temeli olmayan,
asılsız iddialara dayanarak
gürültüğü nükleer enerji karşıtı
kampanyaya karşılık, bilimsel
çeyrenin görüşlerini sunuyor.
Nitelikli değerlendirmelere ve
karşılaştırmalara büyük ölçüde
yer veren yapıt tümüyle bilimsel
olan içeriğinin yanı sıra, otantik
açık, anlaşılır bir anlatıma
ve nesnel bir yaklaşıma sahip.*

ISBN 975-403-013-8

Marmara Üniversitesi
Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı



0003915

KDV DAHİL

ndan

*"Çok Geç Olmadan",
nükleer enerji ile ilgili tartışmaların
özellikle Amerika Birleşik
Devletleri'nde en yoğun yaşandığı
bir dönemde yazılmış,
nitelikli bir kitap. Üniversite'de
fizik profesörlüğü yapmış olan yazar
Bernard L. Cohen, medyanın
hiçbir bilimsel temeli olmayan,
asılsız iddialara dayanarak
yürüttüğü nükleer enerji karşıtı
kampanyaya karşılık, bilimsel
çevrenin görüşlerini sunuyor.
Nitelikli değerlendirmelere ve
karşılaştırmalara büyük ölçüde
yer veren yapıt tümüyle bilimsel
olan içeriğinin yanı sıra, oldukça
açık, anlaşılır bir anlatıma
ve nesnel bir yaklaşıma sahip.*

ISBN 975-403-013-8

Marmara Üniversitesi
Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı (KDV DAHİL)



0003915

ndan farklı satılamaz