

Keyifli Okumalar Dileriz

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

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

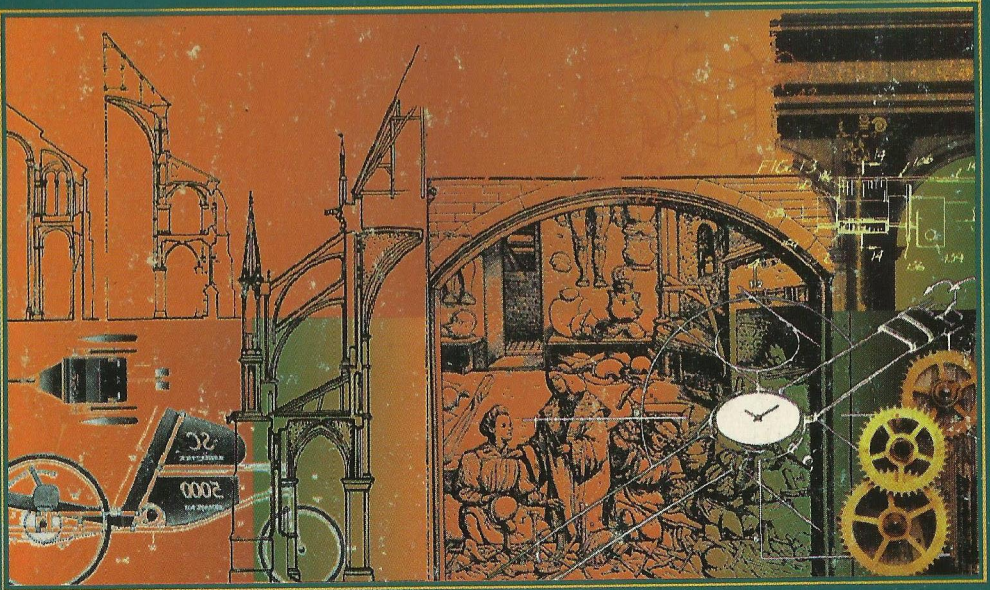
Yedek ve Duyuru Kanallarımız

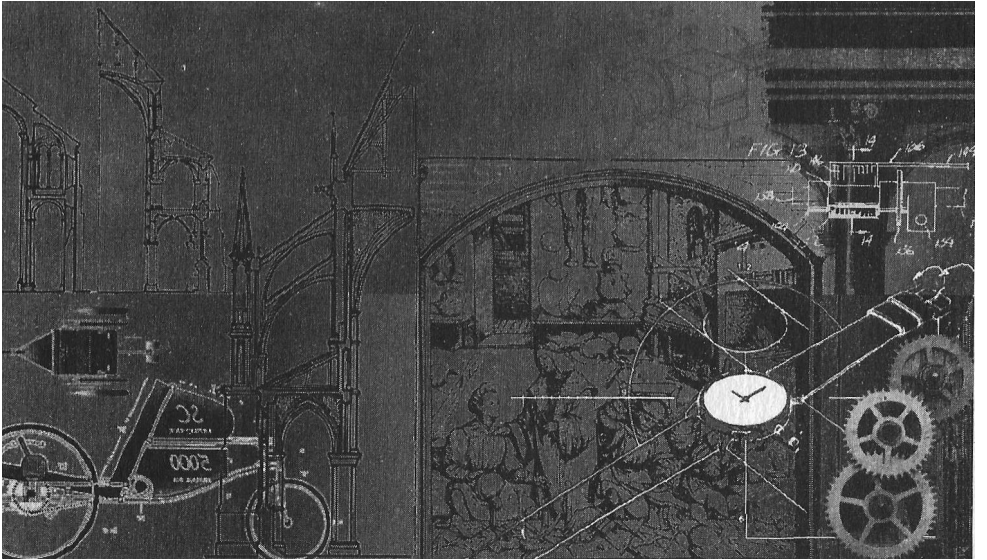
Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

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

James L. Adams

Bir Mühendisin Dünyası





BİR MÜHENDİSİN DÜNYASI
James L. Adams

Bir Mübendisin Dünyası - The World of an Engineer

James L. Adams

Çeviri: Cem Soydemir

Redaksiyon: Sedat Sezgen

© Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, 1994
Tubitak Yayın Komisyonu Kararı ile Yayımlanmıştır

ISBN 975 - 403 - 019 - 7

Birinci	Basım	Nisan 1995 (2500 adet)
İkinci	Basım	Mayıs 1995 (2500 adet)
Üçüncü	Basım	Ocak 1996 (2500 adet)
Dördüncü	Basım	Şubat 1996 (2500 adet)
Beşinci	Basım	Mart 1996 (2500 adet)
Altıncı	Basım	Eylül 1996 (2500 adet)

Yayın Koordinatörü: Cemil Koçak
Yayın Yönetmeni: Zafer Karaca
Tasarım: Selin Sobacı
Teknik Yönetmen: Duran Akca

TÜBİTAK
Atatürk Bulvarı No:221 Kavaklıdere-Ankara
Tel: 0.312. 427 33 21 Fax: 0.312. 427 13 36
e-mail: bteknik@tubitak.gov.tr
Internet: www.bteknik.tubitak.gov.tr

Kılıçaslan Matbaacılık - Ankara

James L. Adams

Bir Mühendisin Dünyası

ÇEVİRİ

Cem Soydemir

TÜBİTAK POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

İçindekiler



İçindekiler

Giriş **I**

Teknolojinin Kısa Tarihi **1**
Kökler

Hesap Makinesinin Ötesinde **33**
Mühendisliğin Karmaşıklığı

Sorunların Kökeni **67**
Teknoloji ve Pazar

Tasarım ve İcat **93**
Kavram

Matematik **127**
Sayıların Esrarı

<i>Bilim ve Araştırma</i>	157
<i>Temeller</i>	
<i>Geliştirme, Deneme ve Yanılma</i>	183
<i>Bir Şeyin Değeri Ancak Denemekle Belli Olur</i>	
<i>İmalat ve Montaj</i>	217
<i>Eleştirel Sanat</i>	
<i>Para ve İş</i>	251
<i>Parayı Veren Dřdřęř Çalar mı?</i>	
<i>Yasal Dşzenlemeler</i>	275
<i>Sancılı Çaresizlik</i>	
<i>Teknolojinin İzinde</i>	301
<i>Gelecekle Hesaplaşma</i>	
<i>Son Sşz</i>	313
<i>Kaynaklar ve Önerilen Kitaplar</i>	315

Elinizdeki kitap, mühendisliğin bilinmeyen yönlerini açıklama çabasıyla yazıldı. Ancak, mühendisliğin geniş bir bağlamda incelendiği için bir noktaya kadar teknoloji hakkında bir kitap olduğu da söylenebilir. Mühendislik ve teknoloji, çoğu kişi tarafından yeterince anlaşılamamıştır. Her şeyden önce bu iki alanın içerdiği etkinlikler karmaşık ve değişkendir. Ayrıca, matematik ve fizik bilimleri gibi uzmanlık alanları da, mühendislik ve teknoloji sürecinde yer almaktadır. Ne var ki, bu uzmanlık alanlarının her biri, kendine özgü bir terminolojiye sahiptir. Terminolojilerdeki bu farklılık, söz konusu uzmanlık alanlarının kendi aralarında sağlıklı bir iletişim kurmalarını da önleyebilmektedir. Aradaki dil engeli yüzünden ortaya çıkan iletişim kopukluğu zaten yeterince karmaşık olan mühendislik ve teknoloji süreçlerini anlayabilmemizi güçleştirmektedir. Bu engellerin yanı sıra, mühendislik ve teknoloji dünyasının kendilerini çalışmalarına adanmış kişilerden oluşması da, başka bir sorunu ortaya çıkarmaktadır. Bu kişiler, müptelalık derecesinde işlerine bağlı olmaları nedeniyle, yaşadıkları dünya hakkında bütünlüklü bir anlayış geliştirmeye zaman bulamamışlardır. Yine de, aralarında bu

tür bir anlayışa sahip olanların bulunmadığı söylenemez. Sayıları az olmasına karşın bu kişiler, bu anlayışı başkalarına aktarmak için çaba harcıyorlar. Öte yandan, fizik bilimleri ve matematik hakkında yazılmış pek çok kitap bulunuyor. Ama mühendislik hakkında okunabilir nitelikte kitapların çok az oluşu, bir mühendis olarak beni sık sık şaşırtıyor. Bu kitabı yazmamın nedenlerinden biri de işte bu.

Peki ama, alanın dışında bulunan kişiler neden mühendisliği daha iyi anlamaya yönelik bir istek duysunlar? Her şeyden önce, mühendislik ve teknoloji, insanlık tarihinin uzun zamandır süregelen temel uğraşları arasında bulunuyor; ve meraklarımızın, arayışlarımızın, kusurlarımızın hepsini de yansıtıyorlar. Kısacası, bunları anlamadığımız takdirde, düşünsel yönelimlerimiz açısından olağanüstü bir fırsatı kaçıracığımıza inanıyorum. Ayrıca, mühendislik ve teknolojiden kaçamayacağımız da açık. Çünkü bunlar, gündelik hayatın ayrılmaz parçalarıdır; ve bunlar hakkında edinebileceğimiz her tür bilgi, gündelik hayatımızda bize her zaman yararlı olacaktır. Sözgelimi, hayatımızı bilgisayar tasarımıyla kazanıyor olabiliriz. Araba tamircimizle sıkı pazarlıklara girecek olabiliriz. Ya da, bir akşam yemeğinde arkadaşlarımızla genetik mühendisliği hakkında sohbet edebiliriz. Sonuçta, teknoloji ve mühendislik hakkında öğrendiğimiz veya öğreneceğimiz her şeyin, bize faydası dokunacağına inanıyorum. Bizim gibi toplumlar, mühendislik ve teknoloji alanına büyük yatırımlar yapmışlardır. Dolayısıyla, bu tür yatırımların iyi amaçlara olduğu kadar, kötü amaçlara da hizmet edebileceğini unutmamamız gerekir. Elimizdeki güçle, kendimizi yok edebileceğimiz bir noktaya ulaşmış bulunuyoruz. Teknolojimiz, bunu öylesine kısa bir süre içinde başarabilir ki, ne olduğunu anlamada bile güçlük çekeriz. Teknolojiyi ve onun özünü oluşturan mühendislik sürecini özümsemiş liderler ve seçmenler olmaması durumunda, gelecek hakkında bilinçli tercihler yapılması mümkün olmayacaktır. Sanırım bu körleşme de, toplumların işlevsel açıdan demokratik olmalarını önleyecektir.

Bu kitabı yazarken, mühendis olmayan kişilerin de yararlanabileceği bir çalışma ortaya çıkarmayı amaçladım. Bu anlamda kitabın, genel okuyucular, yöneticiler, mühendisler için çalışanlar veya on-

larla birlikte yaşayanlar ve liberal bir eğitim arayışında olan veya mühendisliği bir çalışma sahası olarak gören öğrenciler için yazıldığını söyleyebilirim. Ama bir mühendis olarak, mühendislere seslenme, onlarla bir tür iletişim kurma kaygısı taşıdığımı da belirteyim. Umarım, bu çalışma meslekten kişiler için de bir anlam ifade eder. Mühendisliğe ilişkin bir bakış açısına sahip olmaksızın da, bu konuya yoğun olarak yaklaşmak mümkündür. Öyle sanıyorum ki, kitapta ileri sürdüğüm görüşler, "teknik işlerin" bir kez daha sorgulanmasına yol açacaktır. Eğer bu kitabı, bakış açınızı genişletme amacıyla okuyan profesyonel bir mühendisseyiz, benim düşüncelerimin sizinkilerle birebir örtüşmediği sonucuna ulaşabilirsiniz. Sanırım normal olan da bu; çünkü mühendislik, gerçekten de karmaşık ve çok yönlü bir alan. Mühendisler ise, genellikle kendi özel uzmanlık alanlarında çalışma eğilimindedirler. Ama eminim ki, bakış açılarımızda bazı benzerlikler veya örtüşmeler de olacak. Bununla beraber, farklılıklar ya da zıtlasmalar çok olursa bunların, benim önyargılarımın düzeltilmesine yardımcı olmanız yönünde sizi kendi kitabınızı yazmaya teşvik etmesini dilerim.

Eğer mühendis olmayı düşünüyorsanız bu kitap, size mühendislik hakkında genel bir görüş kazandırabilir. Mühendisliğin sırf hesap kitaptan ibaret olmadığı konusunda içinizi rahatlatılabilir. Ama mühendislerin sizin düşündüğünüzden daha çok belirsizlikle içiçe bulunduğunu göstererek sizi kaygılandırabilir de. Mühendislerle birlikte yaşıyorsanız veya onlarla birlikte çalışıyorsanız, onları anlamana katkıda bulunabilir. Merakınızdan ötürü okuyorsanız umarım, sadece öğretici bulmazsınız ve mühendislikle teknolojinin, hayatın vazgeçilemez ve karmaşık parçaları olduğuna ikna olursunuz. Teknoloji, sindirim sistemimize benzer: Onsuz asla yaşayamayız, bu nedenle de onu en iyi şekilde anlamamız gerekir. Bozuk mideler ve mide kanseri olma olasılığımız, bitkileri ve hayvanları, yaşamak için ihtiyaç duyduğumuz kimyasal maddelere dönüştürme kapasitemizle ya da harika bir yemeğin vereceği hoş duygularla içiçedir. İnsanların çoğu, teknolojinin zararlı yönlerinin, yararlı yönlerinden ayrırılabilmesine; deneyler sürdürülürken hataların ve başarısızlıkların önlenilebileceğine; "askeri" teknolojinin "sivil" teknolojiden bağımsızlaştırılabilmesine; ve kir-

liliğe yol açmaksızın, sınırsız miktarda ucuz enerjinin elde edilebileceğine inanmaktan zevk alır. Yazık ki yarar ve zarar, cesaretimizi kırııcı bir biçimde sarmaş dolaş görünüyor. Her ikisinin de, hayatın vazgeçilmez bir parçası olduğu açık. Sorunu doğru anlarsak onunla başa çıkmamızın da kolay olacağına inanıyorum.

Bu kitap, kişisel birikim ve deneyimlerim sayesinde ortaya çıktı. Bunun tek bir nedeni var; o da, bildiğim şeyler hakkında daha rahat fikir yürütebilmem. Ne var ki, bu yanlılık yüzünden elektrik, kimya v.b. mühendisliği yerine makine mühendisliğine ait bir bakış açısı, kitap boyunca hakimiyetini koruyor. Ama çeşitli farklılıklar içermelerine karşın mühendislik dallarının hepsi de, benzer özelliklere sahiptir. Örneğin, geniş çevre yolu kavşakları tasarlayan mühendislerin kullandığı kuram, terminoloji ve yönelimler, traktörleri imal eden veya entegre devreler için kristal üreten mühendislerinkinden farklı olabilir. Ama mühendislik etkinliklerine ilişkin karar verme süreci, bütün mühendislik alanlarında birbirine benzer. Hangi mühendislik alanında uzmanlaşacağı konusunda bir türlü karar veremeyen öğrenciler görünce biraz üzülüyorum. Aslında, gelecekleri hakkında boş yere kaygılanıyorlar. Çünkü mezun olduktan sonra çoğunlukla disiplin değiştiriyorlar. Üstelik bunu bir kereden fazla yaptıkları da oluyor. Bunun için, gereksiz yere üzülmemelerini öneririm kendilerine.

Bu kitap, olağanüstü ve yıldırım hızıyla çalışan aletleri veya donanımları anlatmıyor. Yani, bu kitapta süper bilgisayarlar, lazerli silahlara, süper iletken tabanlı ulaşım sistemlerine ve kullanım alanı olabildiğince geniş entegre devrelere rastlamayacaksınız. Bu kitaptaki amacım, teknolojik mucizeleri tanıtmak değil. Bunun yerine, mühendisliğin doğasını ayrıntılı biçimde ele almak istiyorum. Mühendislik, zaman içinde şöhretini kaybederek talihsiz bir yazgıya sahip olmuştur. Bundan on yıl kadar önce dergilerin kapakları, entegre devrelerin fotoğraflarıyla doluydu. Entegre devreler, bugün birçok alette kullanılıyor ve bu alandaki rekabet, tasarımın benzersizliğinde olduğu kadar fiyata ilişkin olarak da sürdürülüyor.

25 yıl önce çalıştığım bir uçak ve uzay gemisi şirketini, ara sıra ziyaret ediyorum. Mühendislerin kullandığı aletler, -örneğin, hesap-

lama ve simulasyon için kullanılan bilgisayar yazılımları- malzeme ve parçalar kesinlikle değişmiş. Keza mühendisler de ürünleri daha güvenilir, daha verimli ve daha ustaca yapma konusunda pek çok yeni şey öğrenmişler. Ama problemlerin ayrıntılı özellikleri ve bunları çözmeye yönelik yaklaşımlar neredeyse hiç değişmemiş. Büyük bir dikkatle tasarlanan ve üretilen mekanizmalar hâlâ başarısızlığa uğruyor. Elektrik ve makine mühendisleri, farklı değer sistemlerine bağlı nicel argümanlarla birbirlerini etkilemeye çalışarak, uzay gemilerindeki antenlerin büyüklüğü konusunda hâlâ tartışıyorlar. Örneğin, 'düşük ağırlık ve güvenilir yayılma' anlayışıyla 'yüksek iletişim sistemi performansı' arasındakine benzer tartışmalar hâlâ yapılıyor. Kongre, fon kuruluşları ve basın, mühendisleri desteklemeye ya da eleştirmeye devam ediyor. Gece geç saatlere kadar çalışmaya ve rutin işlere hâlâ ihtiyaç duyuluyor. Bu arada, daha önce denenmemiş şeyler üzerinde teknolojik kapasitemizin sınırlarını zorlamanın verdiği heyecan da, değerini hâlâ koruyor. İşte bu ve benzeri konular, elinizdeki bu kitabın temel ilgi alanını oluşturuyor.

Kitabın 1. Bölümü, teknoloji ve mühendisliğin tarihine kısa ve genel bir bakışla başlıyor. Teknoloji uzunca bir süredir bizimle birlikte; ama bugünkü karakterine bürüneli çok olmadı. Tarihimizi araştırarak, bugün nerede bulunduğumuz hakkında birçok şeyi anlayacağımıza inanıyorum. 2. Bölümde, mühendisliğin doğasını incelemeye çalıştım. Bu bölüm, genel olarak mühendisliğin karmaşıklığını ve mühendislik hakkında genellemeler yapılmasının güçlüklerini açıklıyor. 3. Bölümde, mühendislerin belirli sorunlara yönelmelerinin nedenlerini açıklamaya çalıştım. Kitabın diğer bölümlerinde, sırayla mühendisliğin temel boyutlarını incelemeye çalıştım. 4. Bölümde, mühendislikte yeni düşünceler üretilmesi sürecini, yani tasarım ve icat süreçlerini inceledim. 5. Bölüm, 'matematik' başlığını taşıyor. Matematik, modern mühendislerin böylesine gelişkin ürünler ortaya çıkarmasını olanaklı kılan ve halkın teknolojiyi gizemli bir süreç olarak görmesine neden olan disiplindir. 6. Bölümde, teknolojinin yönelimlerinden bazılarının (ama kesinlikle hepsinin değil) kaynakları olan bilim ve araştırmayı değerlendirdim. 7. Bölümün konusu ise, deney ve yanılma süreçlerinden oluşuyor. Bu

süreçler, önemlerini ve gizemlerini insanlık tarihi boyunca koruyagelmışlerdir. Yeni tasarlanan bir ürünün, beklendiği gibi işlerlik göstermesi nadiren rastlanan bir durumdur. Bütün kusurların önceden giderilmesi gerekmektedir; ama buna rağmen, hata ve başarısızlık meydana gelmektedir. 8. Bölüm, teknolojik ürünlerin son biçimlerine ulaşmasını sağlayan, imalat ve montaj süreçlerini anlatıyor. Uzun yıllardan beri varlığını koruyan bir kaniya göre bu temel süreçlerin, hemen her zaman kusursuz olarak yerine getirildikleri düşünülüyor. Ama Amerika Birleşik Devletleri sanayisi, bu inanış hakkında haklı olarak kaygılanmaya başladı. Çünkü öyle görünüyor ki diğer ülkeler, bu işleri bizden daha iyi yapıyor gibiler. 9. Bölümde hassas bir konuyu ele aldım: Para ve iş. Teknoloji, her zaman için paraya ihtiyaç duyar. Parayı kazanmanın yolu ise, çoğunlukla işten geçer. Mühendisliği, iş ve paradan ayırmak, hayal dünyasında yaşamak olacaktır. 10. Bölümde, tartışmalı bir konu olan 'serbest pazar ekonomisinde teknolojinin yasalar aracılığıyla düzenlemesi' sorununu ele aldım. Teknolojimiz, toplumsal refah adına kontrol edilmesi gereken bir olgunluk düzeyine erişti belli ki; ama iş dünyasının haykırıışlarına rağmen pazar, kontrol işinin altından kalkabilecek olgunluğu kazanmış görünmüyor. Bugünlerde, yasama ve yargı süreçleri aracılığıyla teknolojiyi, ekonomik ve politik değerlerimize uygun biçimlerde nasıl denetleyeceğiz konusunda daha fazla şey öğrenmeye çabalıyoruz. Bu bölüm, nasıllar'la olduğu kadar niçinler'le de ilgili. Ve son olarak 11. Bölüm, önümüzdeki on yıl içinde teknolojinin yönsemelerinden birkaçını değerlendiriyor.

Teknolojinin Kısa Tarihi

Kökler

Mühendislik ve teknoloji nedir? Ne zamandan beri biliniyorlar? Matematik ve bilimle ne tür bir ilişkileri var? Bunlarla kim uğraşır? Neyi başarabilirler? Yararlı sonuçlarına karşın niçin bunca zarara yol açmış oldukları düşünülüyor? Toplumumuz bunları ne ölçüde kontrol edebilir ve bu olgular hayatımızı ne denli belirleyebilir?...

Teknoloji, hayatımızı olumlu veya olumsuz biçimlerde değiştirmede daha fazla etkin olmaya başladıkça, bu sorular da giderek önem kazanıyor. Teknoloji sayesinde, insanlık tarihinde ilk kez kendimize bu kadar iyi bakabiliyoruz. Ama yine teknoloji sayesinde, kendimizi yok etmek ve bazı insanları sömürmek açısından eşi görülmemiş bir beceriyi de kazanmış bulunuyoruz. Örneğin geliştirmekte olan ülkeleri düşünün. Bu ülkeler, görece teknolojik yeterliliğe bağlı ekonomik bir engelle karşı karşıya bulunuyorlar. Bu engel ise, gün geçtikçe büyüyor. Sanki günümüzde modern teknolojiye, sadece uluslararası ekonomik yarışta başarılı olabilmek için ihtiyaç duyuluyor. Ne var ki, teknoloji zaman içinde daha fazla sermaye gerektirir bir hale geldi. Oysa geliştirmekte olan ülkeler yeterli sermayeye sahip

değiller. Bu yüzden de, ucuz işgücü kullanarak yabancı şirketler için üretimde bulunabilecek yatırım alanları olarak görülüyorlar. İmalat ve montaj, gelişmekte olan ülkelerde gelir düzeyini ve teknolojik beceriyi artırıyor olabilir. Ancak bu, gelişmekte olan ülkelerin teknolojik buluşlar alanında gelişmiş ülkelerle yarışabilecekleri bir noktaya ulaşmalarını sağlamıyor. Öte yandan, modern teknoloji insanların çalışma ortamını değiştiriyor. Dijital bilgisayarlar kapsamında geliştirilen otomasyon, karmaşık işlerin basitleştirilmesi amacıyla insan emeğinin yerine makineleri getiriyor. Böylece, ucuz işgücünün önemi en aza indirgenmiş oluyor. Ama otomasyon ileri bir düzeye gelirse, gelişmiş ülkelerde imalat ve montaja yönelik girişimler azalabilir. Nitekim öyle de olur. Sözgelimi, Japon otomobil şirketleri, şu sıralar Amerika Birleşik Devletleri'nde imalat sektörünü ele geçirmiş bulunuyorlar. Amerika Birleşik Devletleri'nin gelişmekte olan bir ülke olduğunu söylemekse oldukça güç. Oysa Sri Lanka veya Etiyopya gibi ülkelerin otomobil endüstrisine birdenbire girebilmeleri ne denli mümkün? Öyle görünüyor ki, teknolojik zenginlik ve yoksulluk arasındaki uçurum, büyümeye ve hepimiz için uzun dönemli bir sorun olmaya devam edecek.

Teknolojinin tehlikelerine ilişkin bir başka örnek de, yeryüzünün hemen her köşesine serpiştirilmiş nükleer silah başlıklarının potansiyel etkisi. Bu kitabı yazdığım şu günlerde, nükleer savaş olasılığı konusunda Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşanan gerginlik, Sovyetler Birliği'ndeki siyasi gelişmelere bağlı olarak azaldı. Ancak silahların denetlenmesiyle doğrudan ilişkili gerginlikler henüz tam anlamıyla hafiflemiş değil. Dünyamız hâlâ nükleer silah başlıklarıyla dolu. Ayrıca, Sovyetler Birliği'nde hangi grubun siyasi denetimi elinde tuttuğu sorusu da belirsizliğini koruyor. Diğer uluslarsa güdümlü füze destekli nükleer güçlerini artırmayı sürdürecektir gibiler. Bu gidişle, "Soğuk Savaş sona erdi, artık rahatlayabiliriz" derken, nükleer silahların başındaki çılgınların tehditleriyle yeniden yüzleşmek zorunda kalacağız.

Mühendisliğin modern hayattaki rolüne ilişkin bazı soruların yanıtını tarihte bulabiliriz. Teknolojinin uzun bir geçmişi olduğunu biliyoruz, ancak önemli değişiklikler geçirdiği de bilinen bir gerçek. Yaşanan değişikliklerin boyutları önceden tahmin edilememiştir.

Hiç kuşkusuz, bu tür gelişmeler gelecekte de yaşanacak. Tarih, olası yeniliklerin ne zaman gerçekleşeceğini ya da ne ölçüde olacağını kesin bir biçimde söyleyemez belki; ama oyunun doğasına ait kimi ipuçlarını verebilir. Teknoloji, insanlık tarihi içerisinde göreceli olarak yeni bir olgu sayılır. Bu nedenle, teknoloji evrimini anlamak, mühendisliğin doğasını anlamamızı da kolaylaştıracaktır.

Yeryüzü tarihinde oldukça uzun bir süre insana ait hiçbir ize rastlanmadığı için teknolojinin bir anlamda kısa bir geçmişi olduğu düşünülebilir. Gerçekten de gezegenimizin yaklaşık 5 milyar yaşında olmasına karşın, insanlar yalnızca 2.5 milyon yıldır dünyada yaşıyorlar. Bu süre, yeryüzündeki hayatın hemen hemen ikibinde biri civarında. İnsanlık tarihinin oldukça uzun bir dönemindeyse önemsiz denebilecek bir teknolojiye rastlıyoruz. Yine de, 2 milyon yıl öncesi-ne ait aletlerin bulunmuş olması nedeniyle teknolojinin, yeryüzündeki ilk insandan itibaren bilindiğini varsayıyoruz. İlk aletler, basit araç gereçlerden oluşuyordu. Mesela, sivri uçlu bir kaya parçası gibi rastlantı sonucu bulunmuş nesnelerdi. Ya da herhangi bir nesnenin, kabaca yontulması veya üstüne vurulmasıyla imal edilmişlerdi. Demek ki ilk insanlar aletlerini kendileri yapıyorlardı. Kısacası, ne bir Araştırma-Geliştirme laboratuvarı, ne de bir montaj fabrikası vardı. Gerçekten de, dünyada geçirdiğimiz iki buçuk milyon yılın oldukça uzun bir döneminde yaygın olan üretim biçimi, kişisel zanaatı ve modern teknolojiyle hiçbir ilgisi yoktu. İnsan dünya serüveninin ilk bir buçuk milyon yılında basit araç gereçler dışında ateşten bile faydalanamıyordu. Atalarımız, ısınmak için birbirlerine sokuluyor ve yemeklerini çiğ yiyorlardı. Ellerindeki aletler ise kabaca biçim verilmiş tahta ve kaya parçalarından ibaretti.

Ateşin keşfiyle birlikte insanların teknik becerileri de artmaya başladı. Örneğin, 400,000 yıl öncesine ait tahta mızrak kalıntıları, bu aletlerin ateşten faydalanılarak yapıldığını gösteriyor. 200,000 yıl öncesindeyse nispeten daha ileri bir teknolojinin bulunduğunu biliyoruz. Taş el baltaları gibi aletler, bu teknolojik gelişmeyi açıkça yansıtıyor. 50,000 ile 20,000 yıl öncesi arasındaki zaman diliminde kullanılan taş el aletlerinin etkileyici biçimleriyse, bu aletlerin yapımında bazı özel tekniklere başvurulduğunu gösteriyor. 'Ok' ve 'yay'ın keşfi,

sadece 15,000 yıl öncesine dayanıyor. Buraya kadar anlatılanlardan da anlaşılacağı gibi geçmişte kullanılan aletlerin bazıları, belli ölçüde de olsa uzmanlık gerektiriyor. İşte bu olgu, mühendisliğin kökenine ilişkin bazı ipuçları verebilir. Varsayımımız doğrultusunda şu sonuca ulaşabiliriz: Eski toplumlarda insanlar için ücret karşılığında alet imal eden ‘profesyonel’ kişiler bulunuyordu. O dönemlerde imal edilen aletlerin bazılarında rastlanan biçimler ve süslemeler ise, başka bir gerçeği gözler önüne seriyor; yani, zanaat ve sanatın o zamanlardan beri içiçe geçmiş olduğu gerçeğini. 15,000 yıl önce kullanılan mızrak fırlatıcıları gibi işlevsel aletlerde rastladığımız hayvan figürlerini veya başka semboller içeren süslemeleri buna örnek gösterebiliriz.

Tıpkı eski teknolojiler gibi modern teknolojilerde de yaratıcılık, zanaat ve sanatla içiçe geçmiştir. ‘Teknoloji’ sözcüğü, sanat ya da hüner anlamına gelen Yunanca ‘techne’ sözcüğünün bilim ya da çalışma anlamına gelen ‘logia’ sözcüğüyle birleşmesinden türetilmiştir. İngilizcedeki ‘engineer’ (mühendis) sözcüğünün kökeni ise icat etmede yaratıcı olan kişi anlamına gelen Latince ‘ingeniatorem’ sözcüğüdür. Bu türetme biçimlerine birçok kültürde ve dilde rastlarız. Ama İngilizcede motor, makine ya da lokomotif anlamına gelen ‘engine’ kelimesinin de aynı kökten türetilmiş olması, kavram kargaşasına yol açmıştır. Bu kavram kargaşası, İngilizce konuşulan ülkelerde mühendisin başına olmadık işler açmıştır. Mühendisin, yaratıcı olması yetmez. Trenleri yürütmek, elektrik santrallerini çalıştırmak ve uçakları uçurmak da ondan sorulur. Yaratıcılık insanın temel özelliğidir; ama mühendisin bu konuda uzman olması beklenir. Bu konuyu Dördüncü Bölümde ayrıntılı bir biçimde ele alacağız.

Yaklaşık 10,000 yıl önce, neolitik çağda, insanların yaşam biçiminde temel bir değişiklik meydana geldi. 2,490,000 yıl boyunca avcı-toplayıcı olarak yaşayan insan grupları, beklenmedik bir biçimde uğraşlarını değiştirmeye başladılar. Avcı-toplayıcı insan, artık çiftçilikle uğraşıyordu; hayvanları evcilleştiriyor, köylerde ve kasabalarda oturuyordu. Fazla sayıda insanın tek bir bölgede ve geniş gruplar halinde yaşamaya başlaması, teknolojiye uzmanlaşmayı ön plana çıkardı. Belki, teknoloji hâlâ yaratıcılık, zanaat ve sanatla içiçeydi ama, ev yapılması gibi temel gereksinimlere eskisinden daha fazla çaba harcanı-

yordu. Çünkü hayat koşulları artık mevsimlerin değişimi ya da av alanlarının değiştirilmesi gibi geçici koşullara bağlı değildi. Nesnelerin üretiminde, ürünlerin uzun süreli kullanımlara açık olmasına özellikle önem veriliyordu. Tarıma bağlı yeni yaşam biçimi, gıda maddelerinin korunmasını ve depolamaya ilişkin yeni tekniklerin bulunmasını gerektirdi. İşte bu zorunluluk sonucu, önce çömlekçiliğin faydaları keşfedilmiş, daha sonra da M.Ö. 10000 yılında Japonya'da çömlekçiliğin kendisi bulunmuştur. Çiftçiler, imalatı öğrenmeye daha fazla zaman ayırabildiler. Dokumacılık, daha doğrusu basit dokuma tezgahları, M.Ö. 6000 yılında bulundu. Yerleşik insanlar, ticaret ve yazının gelişmesini sağladılar. Yazı, ilk olarak, vergi kayıtlarını tutma ve ticaret akışını izleme amacıyla kullanılmıştı. M.Ö. 3600 yılına gelindiğindeyse Sümerler tarafından yaygın olarak kullanılıyordu. Ağırlık ve ölçü birimleri de, M.Ö. 3000 yılında Mısır'da yaygın bir kullanıma sahipti.

Yerleşik hayat biçimine geçildikten kısa bir süre sonra, karmaşık aletler icat edilmeye başlandı. Gelgelelim, bu aletler, göçebe hayat tarzı için hiçbir fayda sağlamıyorlardı. Tekerlek ve kayık, M.Ö. 3500 yılı civarında, Nil ile Fırat nehirleri arasında kalan bölgede kullanılıyordu. Saban, M.Ö. 3000 yılında Babil'de bilinen bir aletti. Çömlekçi çarkı ise neredeyse sabanla aynı dönemde icat edilmişti. M.Ö. 2000 yılında Girit'te, kaldırımların ve kanalizasyon sistemlerinin yapımına başlandı. Nihayet metalleri kullanmaya başlamıştık. Bakır madeni ilk kez M.Ö. 6400 yılında Türkiye'de işlendi. Milattan önce 3000 yılına gelindiğindeyse, madencilik ve metalurjinin birçok yerleşim bölgesinde yaygın olarak kullanıldığına dair kanıtlara rastlıyoruz.

Yerleşik hayat biçimiyle birlikte insanlar, büyük inşaat projeleri için daha fazla kaynak elde edebilir hale geldiler. Bu projeler arasında en çarpıcı olanları, Mısırlıların inşaat girişimleridir. Bu olağanüstü yapılar, kraliyet adına inşa edilmişlerdi. Plan ve inşa aşamalarında yer alan kişiler, kralın himayesi altındaki uzmanlardı. Bu uzmanlar, mühendis, mimar ve proje yöneticileri olarak çalışıyorlardı ve krallık camiasında oldukça yüksek bir mevkiide bulunuyorlardı. Duvarcılık sanatının babası olarak kabul edilen İmhotep, mezarları inşa eden kişilerden birisiydi. Khufu-onekh, Büyük Piramit'i tasarlayıp, inşa edilmesini sağlamıştı. Uni, kanalları ve diğer su sistemlerini

yapmıştı. İneni ve Senmut ise dikili taş uzmanları olarak nam salmışlardı. Aradan 5,000 yıl geçmesine karşın bu kişiler hakkında hâlâ bilgi sahibiyiz. Sözü geçen kişilerin hepsi de krala yakındı ve yalnızca inşaat projelerinde değil, diğer devlet işlerinde de söz sahibiydiler. Gerçekten de, bu kişilerin mühendisliklerinden söz ettiğimizde, yalnızca teknik ayrıntılardan sorumlu olduklarını söylememiz yanlış olur. Büyük olasılıkla, işveren veya patron konumundaydılar. İsimlerinin liste başında yer alması da, bu düşüncemizi destekliyor⁽¹⁾.

İlk mühendislerin karşılaştığı en önemli sorun hiç kuşkusuz ‘zaman’dı. Krallar ve firavunlar, ölmeden önce yaptırdıkları işlerin sonuçlarını görmek istiyorlardı. İşler köleler tarafından yapıldığı için de, zaman kazanma uğruna emeği kolaylıkla kurban ediyorlardı. Sendikal haklardan yoksun köleler yalnızca ücret almamakla kalmıyor, inşa edilen mutlak krallık sembolleri adına bedenlerini, hatta hayatlarını vermek zorunda kalıyorlardı. Kölelerin işe "teşvik edilme" yöntemi ise kamçıydı. Emniyet önlemleri ve sağlık sigortası gibi uygulamalar, o zamanın yöneticileri tarafından pek önemsenmiyor olmalı! İlk inşaat yöneticileri, işlerini yaparken çok kişinin acı çekmesine yol açmış olabilirler. Ama kabul etmek gerekir ki, oldukça fazla sayıda insanı eşi benzeri görülmemiş bir şekilde örgütlemeyi ve yönetmeyi de etkileyici bir biçimde başarmışlardır. Örneğin, Herodot’tan öğrendiğimiz kadarıyla, Büyük Piramit’in yapımı yirmi yıl sürmüştü ve 100.000’i aşkın sayıda insanın, her biri 2,5 ton ağırlığında olan 2.250.000 adet kaya parçasını kesmesi, taşınması ve yerleştirmesi gerekmişti. Başka bir örnekte de, R. Engelbach, dikili taş sütunlarının taş ocağından kazılarak çıkartılmasını, özellikle de Asuan’daki bir türlü sonu gelmeyen kazıyı anlatır⁽²⁾. Sütun tek parça halindeki sert bir kayadan kesiliyordu. Yaklaşık olarak 41,75 m boyunda ve 4m enindeydi. Ağırlığı ise 1,168 tondur. Bu sütunun kazılarak çıkartılabilmesi mümkün müydü? Engelbach’ın varsayımı şöyle: Yaklaşık 1/2m aralıklarla duran ve dönüşümlü olarak çalışan işçilerin, el büyüklüğünde sert kaya parçalarıyla granite vurmaları ve sütunun etrafında kanallar açmaları gerekiyordu. Sütunun toprağın altındaki yatağından çıkarılması yedi ay sürecekti. Sütunun dikilmesi için önce toprak bir meyil hazırlanacak, daha sonra bu meyil destek alınarak sü-

tun yukarıya doğru kaldırılacaktı. Sütunun kaldırılma işlemi tamamlandıktan sonra da, hazırlanmış olan toprak destek yavaş yavaş kazılacak ve sütun temeline yerleştirilecekti. Bütün bu işlerin zorluğundan da anlaşılacağı gibi akıllara durgunluk veren bu yapıların inşası, kesinlikle kusursuz bir düzenleme gerektirmektedir.

Mısır İmparatorluğu dönemine kadar mühendisler (ya da o zamanın mühendisleri olarak kabul edebileceğimiz kişiler), çıraklıktan yetişiyorlardı. Bu uzun ve zorlu eğitimi tamamlayıp usta olduktan sonra da, icat konusunda yaratıcı olmaları bekleniyordu. Mısır İmparatorluğu dönemine gelindiğinde, kaynaklara ulaşma sorunu ortadan kalkmıştı. Mühendislerse, kendilerine büyük ödüller sağlayan işlerle uğraşmaya başlamışlardı. Kısacası, teknolojinin yöneticilik çağına gelmişti. Ama piramitler inşa edilirken karşılaşılan bürokratik işlemler, Denver'da bir havaalanının inşa edilmesinde karşımıza çıkan işlemlerden bir hayli farklı olsa gerek. Nedeniyse açık: Eski uygarlıklarda bugün anladığımız anlamda bir demokrasi yoktu. Ayrıca, modern ölçütlerle karşılaştırıldığında kullanılan malzeme ve teçhizat ilkeldi. İşgücü kölelik sistemine dayandığı için de iş sözleşmeleri, sendikalar gibi şeylere ihtiyaç duyulmuyordu. Yine de, o dönemlerin teknolojisi tek bir kişinin üretim yeteneğini aşan bir boyuta, yapıların kitlesel olarak inşa edilebildiği bir noktaya ulaşmıştı.

İnşaatçılar, mühendislik açısından tartışmasız bir öneme sahip olan sayısal bağlantılar ve matematikten de yararlanmışlardır. Örneğin, Büyük Piramit, engebeli bir arazi üzerine inşa edilmişti; ama matematik bilgileri sayesinde Mısırlı mühendisler bu zorluğun üstesinden gelmeyi başarmışlardı. Binde birlik bir yanılma payıyla Büyük Piramit'in olağanüstü inşası tamamlanmıştı. Bu zorlu başarı, kuşkusuz, titiz bir araştırma gerektirmiş olmalı.

M.Ö. 3000 ile 2500 yılları arasında Mısır'da piramitler inşa edilirken, Mezopotamya da çarpıcı teknolojik başarılarla sahne oluyordu. M.Ö. 3000 yılına ait yapı kemerlerinin mükemmel kullanımı, Mezopotamyalıların bu konudaki bilgi ve becerisini gözler önüne seriyor. Karmaşık bir sistem içeren Hammurabi Yasaları M.Ö. 2000 yılı civarında kaleme alınmıştır. Bu kitap, içerdiği yapı inşası ilkelerinden ötürü, inşaatçılık üzerine yazılmış ilk yazılı kaynak olarak kabul edilir.

Hammurabi Yasaları, o dönemin inşaatçılarına aşağıdaki ilkeleri şart koşuyordu: ⁽³⁾

İnşaat işiyle uğraşan kişi, birisi için ev yaptığında işini sağlam ve yeterince eksiksiz yapmazsa; inşa edilen ev, bu nedenle bir gün yıkılıp, ev sahibinin ölümüne yol açarsa, evi yapan kişi ölüm cezasına çarptırılacaktır.

Evin yıkılması ev sahibinin oğlunun ölümüne yol açarsa bu sefer de evi yapan kişinin oğlu ölüm cezasına çarptırılacaktır.

Ev sahibinin kölesi ölürse, evi yapan kişi ev sahibine köle vermekle yükümlü olacaktır.

Ev sahibinin herhangi bir eşyası hasara uğrarsa, evi yapan kişi bunu tazmin edecek, ayrıca, işine özen göstermediğinden ve evi yeterince sağlam inşa etmediğinden ötürü evin yıkılmasına yol açtığı için kendi imkanlarıyla yeni bir ev inşa edecektir.

Böylece, Mezopotamya'da yaşayan ilk mühendisler, ihmâl veya dikkatsizlik sigortası uygulamasından yıllar önce Borçlar Hukuku'nu müjdeleyen yasalarla karşı karşıya kalmış oluyorlardı. Bu tür kurallara yer verilmesi ise Mezopotamyalıların, inşaatçılıkla uğraşan kişileri konularında uzmanlaşmaya yönelttiğini gösteriyor. Mühendislerin konularında yeterince uzmanlaşmış olması bekleniyordu, çünkü toplum yapılan işlerde istenilen kalitenin karşılanmasını öngörmüştü.

İmparatorluklar genişledikçe, savaş olasılıkları da artıyordu. Bu durumda teknolojinin askeri alanda hizmet vermesi kaçınılmazdı. Savaş aletleri yapımında mühendisliği en ileri seviyeye ulaştıranlar, Asurlular olmuştur. İstihkam karargahlarını, kale duvarlarını ve kapılarını yıkmak için kullanılan kalın kütükleri, zırhlı yük arabalarını, duvarlar üzerine kurulan köprüleri ve özellikle de demir silahları icat etmişlerdir. Yıllar sonra yapılan kazılar sırasında, M.Ö. 722'den M.Ö. 705 yılına kadar İmparatorluğun kralı olan II. Sargon'un dönemine ait bir sarayın yalnızca tek bir odasında 200 tona yakın demir silah bulunmuştur⁽⁴⁾.

"Batılılar" olarak bize oldukça önemli görünen Yunan Uygarlığı'nı ele alalım. Doğru ya da yanlış, kültürümüzün köklerini Mısır, Mezopotamya veya Asur gibi daha eski uygarlıklarda aramak yerine Antik Yunan kültüründe bulmayı tercih ederiz. Bu uygarlıklar zamanında teknolojinin konumu neydi? Yunan uygarlığı bir çeşit ustalık teknolojisine dayanıyordu; metal ve metal işleri, kumaş, çanak-çömlek, zeytinyağı ve şa-

rap gibi ürünler yabancı ülkelere satılıyordu; ayrıca, yollar, binalar, hat-
ta su gücüyle çalışan değirmenler inşa ediliyordu. Üst düzey Yunan va-
tandaşları, felsefeyle, hükümet işleriyle, matematikle ve fiziksel güç ge-
rektirmeyen diğer işlerle uğraşan kuramcılardı. Düşünmeye, ruhsal
dünyaya yönelik iç-gözleme ve entellektüel buluşlara verdikleri önem
eşi görülmedik ölçüde büyüktü. Ama fikirlerini uygulamaya geçirme
konusunda görelî olarak daha az ilgileniyorlardı. Modern bilimin haber-
cisi sayılan, o zamanların Fen Bilgisi, yaklaşık olarak M.Ö. 1000 yılında
Yunanistan'da bulunmuştu. Sayıların özellikleri, üçgenin özellikleri ve
ateşin doğası üzerine düşünülmesiyle birlikte bilimin temelleri de atıl-
mış oluyordu⁽⁵⁾. Bu alanda, Klâsik Yunan dönemine damgasını vuran ki-
şi Aristoteles'tir (M.Ö. 384-322). Aristoteles'in esin kaynağı ise, M.Ö. ye-
dinci yüzyılda yaşamış olan Thales'tir. Pisagor okulu (M.Ö. 582-500), ge-
ometrinin temellerini atmıştır. Euclid'in çalışmaları, M.Ö. 300 yılında bu
temeller üzerine kurulmuştur. Democritus, M.Ö. 470 yılında, maddenin
atom bazı üzerinde çalışmıştır. Galen (M.S. 130-201) ise, bin yıl boyunca
geçerliliğini koruyacak tıp kuramlarını geliştirmiştir. Ancak, bu ilk düşü-
nürler, deney yapmaktan her zaman kaçınmışlardır. Bu nedenle de, ku-
ramlarını geliştirebilecek yollar bulamamışlardır. O dönem içerisinde
düşünürler tam olarak bugün anladığımız anlamda bir bilime sahip de-
ğillerdi. Eğer sahip olsalardı, ticaret ve teknolojiyle ilgili sorunların çö-
zümlenmesinde bilime başvururlar mıydı? Bu sorunun yanıtını tam ola-
rak bilemiyoruz. (Ancak bu konuyu 6. Bölümde ayrıntılı olarak ele ala-
cağız)

Yunanlılar, mekanik teknolojide de yaratıcı olmasını bilmişlerdi.
Archimedes, bileşik makaraları, hidrolik vidaları, büyütecî ve çeşitli
savaş makinelerini icat etmişti. Ama Yunanlıların statü sistemine bağ-
lılığını korumuş ve buluşlarının yalnızca entellektüel alıştırmalar ola-
rak kalmasında ısrar etmişti. Hatta bir keresinde, tasarlamış olduğu
savaş makinelerinin önemini halkın önünde inkar etmişti. Böyle dav-
ranmasının nedeni savaş aleyhtarı oluşu değildi kuşkusuz; yalnızca,
alet yapan birisi olarak tanınmak istemiyordu.

İskenderiyeli Heron da, icat ettiğı çeşitli aletlerle o dönemlerin
önemli isimleri arasında sayılabilir. Örneğin, vinçlerin yardımıyla
ağırlık kaldıran mekanik aletler, *dioptra* olarak adlandırılan ve dik-

açı gösteren bir alet, mengeneler, fıskiyeler, kendi eksenleri etrafında dönen buharlı türbinler ve düşünüş olarak ondokuzuncu yüzyılda kullanılan itfaiye arabalarındakine benzeyen su pompaları gibi aletler yapmıştır. Fakat aynen Archimedes gibi Heron da bu icatları zihin egzersizi olarak yaptığını belirtmiştir. Aletler, yapımları tamamlandıktan sonra sergileniyorlardı ama, sadece tapınak kapılarının otomatik olarak açılması gibi gösteri amaçlı kullanılıyorlardı. Yunanistan'da yaşayan insanların yaşam standartlarını yükseltme gibi bir kaygıyla icat edilmemişlerdi. Önünde sonunda, bir düşünür tarafından tasarlanmış nadide parçalar, hepsi bu!

Yunan teknolojisi nicel bağıntılardan yararlanmayı da başarmıştır. Sözgelimi, aşağıdaki formül bir Yunan mancınının çapını hesaplamak için kullanılıyordu⁽⁶⁾.

Fırlatılan taş parçalarının (minas olarak) ağırlığını 100 ile çarpın; sonucun kare kökünü alın ve bulunan sayının onda birini ekleyin. Elde edeceğiniz sonuç, Daktly ölçü birimi olarak mancının çapını gösterir. (Yunan 'daktly' ölçü birimi yaklaşık olarak 3/4 inç'e veya 19,3 mm.'ye eşittir. Minas ise bir pound'dan veya 439 gramdan biraz azdır.)

Yani: $d = 1.1 \times (100 \times \text{minas olarak taş ağırlığı})$ nın kare kökü.
Örneğin eğer taşın ağırlığı 80 minas ise

$$\begin{aligned} 80 \times 100 &= 8000 \\ 8000 \text{'in kare kökü} &= 20 \\ 1.1 \times 20 &= 22 \end{aligned}$$

Böylelikle, mancının çapı 22 daktly'e eşit olur. Yukarıdaki işlemde bulunan sayının kare kökü tam sayı değilse tam sayıya tamamlanır.

Bu tür bir formülleştirme, günümüz mühendislerinin kullandığı sayısal bağıntılara benzer; ama yine de, bugünkü uygulamalardan farklı olduğu açıktır. O zamanlarda sayısal ilişkiler, fizik ilkelerinin anlaşılmasına bağlı değildi. Bunun yerine, deneme-yanılma yöntemiyle ampirik olarak saptanıyorlardı. Yine de bu yaklaşımın müjdelediği bir yenilik vardı: Bundan böyle başkalarının yaptığı deneylerin temel alınması, teknolojistlere düşüncelerini geliştirme şansını tanıyacaktı.

Büyük Yunan düşünürlerinin teknoloji hakkındaki düşünceleri, günümüz Batı toplumlarının teknolojik yaklaşımlarını anlamamız açısın-

dan önemlidir. Üst sınıf Yunan vatandaşları, ticaret ve teknolojiyle ilgilenmiyorlardı. Teknolojiyle ilgili işleri kölelere ve yabancılara bırakmışlardı. Kendileri ise vakitlerini bedensel olmayan zihinsel uğraşlarla geçiriyorlardı. Bu anlayış, Batılı entellektüel gelenek aracılığıyla günümüze dek süregelmiştir. Teknolojinin doğası köktenci biçimde değişmiş olsa da bu anlayış, Batı toplumlarını etkilemeye devam ediyor. Sanırım, mühendisliğe yakıştırılan basmakalıp tanımlar da bu anlayışın ürünüdür. Peki ya sonuç? Oxford ve Harvard gibi “ünlü” okullarda mühendislik eğitimi verilmiyor. Toplumumuzu kendilerine hayran bırakan mühendisler, insanları yöneterek zenginliğe ve güce sahip oluyorlar; ya da mühendisliği rafa kaldırıp siyaset, felsefe veya eğitim gibi alanlarda ünleniyorlar. Bu da olmazsa, kendilerini hayır işlerine adıyorlar. Bu uğraşlar, antik Yunan idealine mühendislikten daha yakın olsa gerek!

Yunanlıların tersine Romalılar, icat eden kişiler olmak yerine teknolojinin uygulayıcıları olarak nam salmışlardır. Ellerinin altında bol miktarda işgücü (tabii ki yine köleler sayesinde) ve malzeme bulunuyordu. İnşa ettirdikleri yapılarla da gurur duyuyorlardı. Pek çok imparator, hükümdarlığı zamanında inşa edilmiş yapılarla tanınır. Mesela, Claudius (M.Ö.10 - M.S.54), Roma'nın tahıl ithalatının karşılanması için Ostia Limanı'ndaki muazzam liman inşaatını yaptırmıştı. Roma'daki Trajan Sütunu, milyonlarca turist tarafından hâlâ ziyaret ediliyor. Romalılar da aynen Mısırlılar gibi, büyük çaplı teknolojik projelerin yönetilmesinde uzmanlaşmışlardı. Yunanlılarla karşılaştırıldığında ise mühendislere ve proje yöneticilerine daha yüksek statüler veriyorlardı. Örneğin M.S.97 - M.S.104 yılları arasında Roma'nın su kaynağı sistemleri sorumlusu Frotinus, iki kere İmparator Danışmanlığıyla onurlandırılmıştı ve İmparatora yakınlığıyla tanınıyordu. Frotinus'un yaptığı işler, sadece 250 mil uzunluğundaki su kanallarının inşa edilmesi ve bu işlerde çalışan işçilerin denetlenmesiyle sınırlı kalmadı. Frotinus kendi teknoloji anlayışından da söz eden su sistemleri hakkında *De Aquis* adlı bir kitap yazdı.

Romalılar, mühendisliğe gösterdikleri ihtimamın yanı sıra standart ölçütlerin geliştirilmesine ve örgütlenmeye de büyük önem verdiler. Kullanılan malzeme ve biçimlerde standartlaşmaya önem vermesi sayesinde ki teknolojilerini, kuşaktan kuşağa geçirilebilen basit

ampirik ilişkilere dönüştürmede başarılı olmuşlardır. Hakkında bilgi sahibi olduğumuz ilk mühendislik ders kitabı, M.Ö.15 yılında Marcus Vitruvius Pollio tarafından kaleme alındığı tahmin edilen *De Architectura*'dır. Sonraları Rönesans döneminde yaşamış inşaatçılar tarafından da kullanılan *De Architectura*, Romalı inşaatçılarca bilinmesi gereken bilgileri içeriyordu. Bu kitap, yazarın kişisel deneyimlerine bağlı olarak yazılmıştı. Amacı ise, pratik bilgilerin dayandığı fizik ilkelerine yeterince dikkat etmeyen kişileri, bu konuda uyarmaktı. Kitapta sadece araştırmaya, tekniğe ve aletlere ilişkin ayrıntılar ele alınmıyordu. Bu konuların yanı sıra, inşaatı yapan kişinin eğitimi ve sahip olması gereken değer yargıları gibi temel konulara da yer verililiyordu.

Sözün geçeni bütün bu nedenler sayesinde Batı teknolojisi, Roma İmparatorluğu'ndan sonra, yaratıcılık, zanaat, sanat, ampirik ilişkiler ve nicel mantık yürütme konularında köklü bir temele sahip olmuştur. Bir başka deyişle, büyük insan gruplarını örgütlemeyi ve büyük inşaat projelerini gerçekleştirmeyi nihayet öğrenmiştik. Fen Bilgisi, bilimin ilk evresini oluşturdu. Gerek askeri işler gerekse gündelik işler açısından ilk uygarlıklar için o denli önemli olmasa bile, mekanik aletler hakkında daha da uzmanlaşmıştık. Teknoloji sayesinde savaş, ulaşım, tarım, inşaat gibi konularda bilgimiz artmıştı. Ayrıca, giyim, ev ve süs eşyası gibi özel ürünlerin üretiminde de ileri bir seviyeye gelmiştik; ama teknoloji, hâlâ insan ve hayvan enerjisine dayanıyordu. Henüz, ne eksiksiz mekanizmalar yapabilmenin ne de gözle görünür sınırları aşan iletişim biçimlerinin üstesinden gelebilmeyi başarmıştık. İlginçtir ki bu, bilimin değil matematik bilgisinin yardımıyla gerçekleşti.

Roma İmparatorluğu'ndan Ortaçağ Avrupası'na kadar gerçekleştirilen muazzam teknolojik ilerlemeler sadece Avrupa ile sınırlı kalmadı. Asya ve Arabistan da, önemli teknolojik gelişmelere sahne oldu. Teknoloji, Roma İmparatorluğu'nun yıkılışından sonra, (günümüzde Orta Doğu olarak bilinen) Yakın Doğu'da ve Uzak Doğu'da daha fazla gelişti. Yunanlılar ve Romalılardan alınan bilgiler geliştirildi; yeni buluşlar ve yeni kurallar bu bilgilere eklendi. Doğu'da gelişen teknoloji, daha sonra, deniz aşırı ticaret ve Haçlılar gibi siyasal ve dinsel hareketler aracılığıyla Ortaçağ Avrupası'na taşındı. Örneğin, demir kalıpcılığı, el arabası, dümen, barut, kağıt, ipek dokumacılığı, tahta ve metal

kalıplı matbaacılık, onikinci ve onüçüncü yüzyıllarda Avrupa'ya ulaştı. Ama hepsi de binlerce yıldır Çin'de biliniyorlardı⁽⁷⁾.

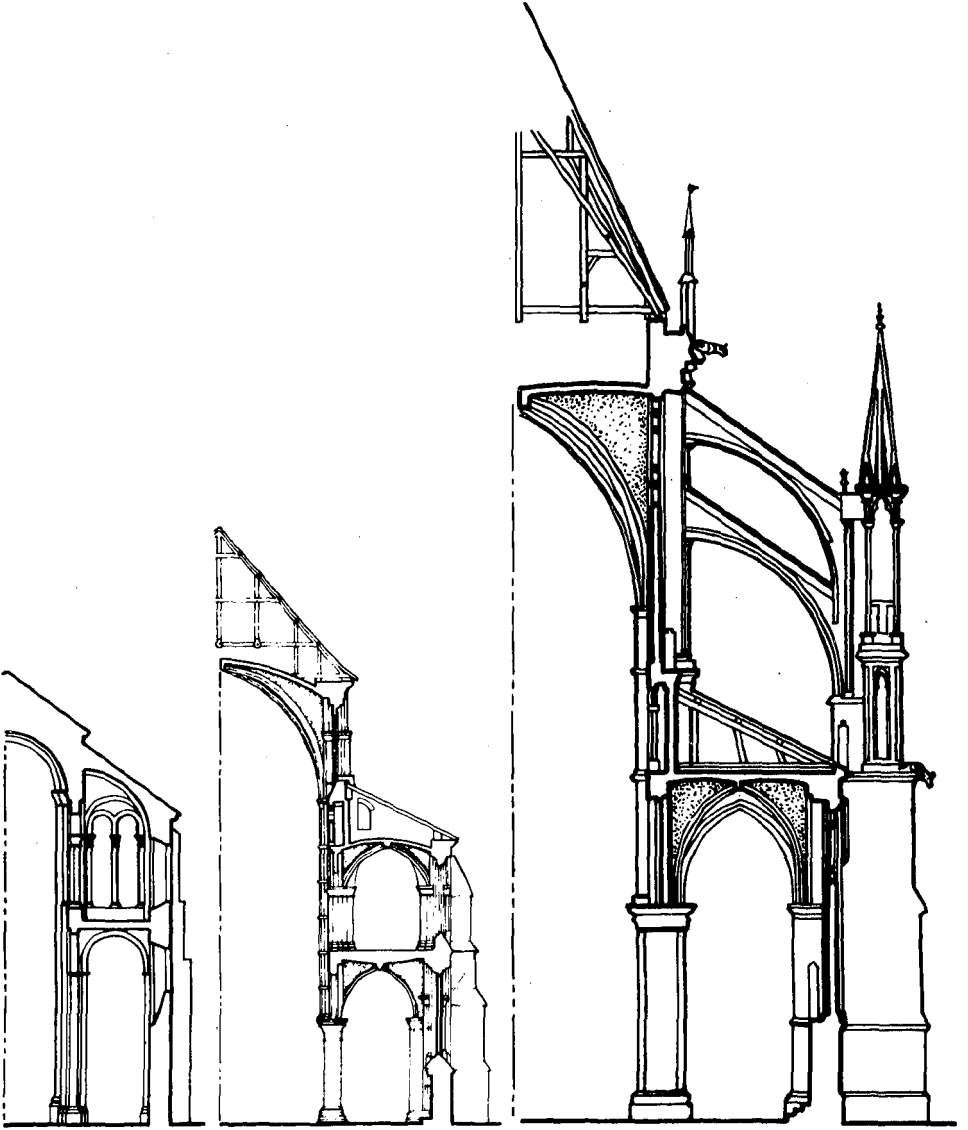
Çoğumuza, Roma'nın yıkılışı ve Ortaçağ dönemi arasında Avrupa'nın "karanlık çağlara" girdiği ve Ortaçağın entellektüel açıdan heyecan verici olmadığı öğretili. Ama tarihçiler bugün bu düşünceyi, özellikle de teknoloji hakkında bilinenleri değiştiriyorlar. Roma İmparatorluğu'nun yıkılışından sonra Avrupa, küçük şehir devletleri tarafından yönetiliyordu ve göçebe kültürlerin etkisi altındaydı. Bu kültür, eski imparatorluklarda olduğu gibi, ardında ne yazılı belgeler ne de görkemli sanat eserleri bırakmıştır. Yine de, karanlık denilen bütün bu zamanlar boyunca teknolojik gelişme sürmüştür. Roma İmparatorluğu'ndan sonra teknolojik gücün belli ölçüde yok olduğu doğrudur. Örneğin, "Roma beton yapma sanatı"nın yaklaşık bin yıl önce ortadan kaybolduğu biliniyor. Buna karşın o dönemlerde uygulanan, suyun geniş kullanımı sayesinde modern mekanik enerjinin temelleri atılmıştır. Su çarkları ve basit dişliler, Yunanlılar tarafından biliniyordu. Romalılar ise büyük değirmenler yapmışlardı. Mekanik enerjinin ilk evrelerini oluşturan ilkeler ışığında yapılan un değirmenleri, Roma İmparatorluğu'nun yıkılışından sonra da kullanılıyordu. 1086'da İngiltere'de Kral William'ın emriyle yapılan araştırma sonunda, arazi sahipleri ve bu kişilerin mal mülk listesini içeren *Domesday* adlı bir kitap hazırlanmıştı. Bu kitaba göre 1085 yılında İngiltere'de işler halde bulunan 6.000 değirmen vardı. Tahılın öğütülmesi için kullanılan bu değirmenler, su enerjisiyle çalışıyorlardı. Ondokuzuncu yüzyılda, değirmenlerde mil dirsekleri kullanılmaya başlandı. Bu dirsekler, Yunanlılar tarafından da biliniyordu. Mil dirseği, bir eksen üzerinde dönen, dışmerkezli bir alettir. Bu icat, çekiçhanelerin, bıçkıhanelerin kurulmasına ve enerjiyle çalışan buluşlarda kimi pompaların kullanılmasına olanak tanımıştır.

M.S. sekizinci yüzyılda Bizanslılarca Orta Asya'dan Avrupa'ya getirilen üzengi, süvarilerin mızrak gibi ağır silahları kullanabilmesini sağladı. Şövalyelik, silahşörlük ve feodalizmin gelişimini, Avrupa'nın üzengiyle tanışmasına bağlayan ilginç savlar bulunuyor. Altıncı yüzyılda Slavlar tarafından yaygınlaştırılan büyük saban, Avrupa'nın çoğu yöresindeki bereketli ve nemli, alüvyonlu topraklara uygun olması nedeniyle gıda üretiminde ciddi bir gelişmeye yol açmıştır. Ondoku-

zuncu yüzyılda icat edilen koşum takımı ve at nalı ise sabana daha fazla güç yüklenebilmesini sağlamıştır. Bu buluşlardan önce, işgücünden yararlanan hayvan öküzdü; çünkü öküz güçlü toynaklara sahipti ve eskiden kullanılan boyunduruk atın nefesini kesip gücünün azalmasına neden oluyordu. Halbuki at, uygun bir şekilde sabana koşulduğunda, belirli bir zaman dilimi içinde, öküze göre yüzde elli oranında fazla işgücü sağlayabilirdi. At, aslında öküzden daha dayanıklı bir hayvandı, tabii uygun koşullar altında. At nalı, koşum takımı, büyük saban ve onsekizinci yüzyılda uygulanmaya başlanan “almaşık ekim” (sırayla değişik ürünler ekme tekniği), hayat standartlarının yükselmesine olanak tanıyan bir tarım devrimine yol açtı⁽⁶⁾.

1000 yılına gelindiğinde Batı Avrupa’da, sınırlı ölçüde de olsa su ve rüzgâr enerjisi kullanılıyordu. Fakat yaygın olan temel enerji biçimi, yine de, insan ve hayvan enerjisiydi. Az sayıda büyük şehir vardı ve ticaret sınırlıydı. Yaygın ekonomi ise geçimlik çiftçiliğe dayanıyordu. Demek ki insanlık tarihinin 2.500’de 2.499’u sonunda gelinecek noktada (ki bu oran, dünya yaşının 5.000.000’de 4.999.000’ine eşittir) hâlâ önemsiz sayılabilecek bir teknoloji bulunuyordu yeryüzünde.

Bu gelişmeleri takip eden Ortaçağ’da yaşanan değişiklikler, teknolojinin o zamanlar Batı’da oldukça canlı olduğunu gösteriyor⁽⁷⁾. Etkileyici mühendislik başarıları arasında en önemli yerlerden birini Gotik katedraller alır. Bu katedrallerin birçoğunun yapımına onüçüncü yüzyılda başlanmıştır. Bütün bunlar, Batı’nın hem iş ve sermayede yoğunlaşma becerisi kazandığını hem de teknolojik anlayışta uzmanlaştığını gösteriyor. Bilinen yapı tarzlarına meydan okuyan Gotik katedral sadece, inşa edildiği büyük mekanlarla ve içerdiği yüksek tavanlarla ilginç kılmaz kendisini. Tanıttığı asıl yenilik, havanın ve ışığın kapalı yerdeki etkisinin artırılması amacıyla duvarlarda kullanılan cam miktarının mümkün olabilecek en fazla sayıya çıkartılmasıdır. Kemerlerin bu kadar çok kullanılmasının nedeni de, işte budur. Kubbelerin kemerlerle desteklenmesi, bir yandan toplam ağırlık miktarının azaltılmasını, bir yandan da yeterli direncin sağlanmasını olanaklı kılar. İstinat kemerleri (ya da kemerli payandalar) ise, kemerlerin dikey desteklerle (payandalarla) birleştiği noktalardaki yanal yükleri dengeler. (Yan sayfadaki şekle bakınız) Notre Damme Katedrali’nde açıkça gö-



Sainte-Foy-de-Conques, Laon ve Reims katedrallerinden alınmış kesitler, istinat kemerinin evrimini gösteriyor.

rüldüğü gibi, istinat kemeri zeminden dikey olarak inşa edilmek yerine, işlevini yerine getirmek için mekan boyunca yükselerek yapının hafiflemesine yardımcı olur. Bu tür yapı öğelerinin inşa edilmesi ve uygulamaya geçirilmesi için makinelere ve belirli bir üsluba olduğu kadar gelişkin teknolojik beceriye de ihtiyaç duyulur.

➤ Bu katedrallerden bazılarında uygulanan modern yapı çözümleri, tasarımların beklenmedik ölçüde uzmanlaşmış olduğunu göstermiştir. Örneğin, duvarcılık inşa tarzının temel amacı, herhangi bir malzemenin germe kuvvetine maruz kalmasından kaçınmaktır. Duvarcılık sıkıştırmada çok yetkin olmasına karşın baskı konusunda zayıftır. Modern yapı tarzı, duvarcılığı gerilime karşı dayanıklı olan çelikle takviye ederek bu sorunu çözmüştür. Fakat yapıları güçlendirmek için kullanılan çelik çubuklar, onüçüncü yüzyılda pek de ucuza bulunmuyordu. Bu nedenle de, katedrallerin yapımında yalnızca taş ve betondan yararlanılıyordu. Bugün bilinebileceği gibi, payandaların üzerinde bulunan sivri kuleler ve heykeller başlangıçta süs olarak düşünülmüşlerdi. Ama daha sonra, yapının yıkılmasına yol açabilecek zıt yönlü kuvvetleri dengeleme amacıyla kullanılmışlardı. Teknik dille söyleyecek olursak, başlangıçta süsleme amacıyla inşa edilen bu yapılar aslında gerilme kuvvetini sıkıştırma kuvvetine dönüştürmektedirler⁽¹⁰⁾. Bu katedraller, yapısal verimlilik için gerekli olan bilgiyi deneyim yoluyla kazanmış ustalar tarafından yapılmışlardı. Günümüzde ise yapısal verimlilik yalnızca iyi eğitim görmüş mühendislerce sağlanabilen bir özelliktir. Bugünün mühendisleri verimliliğe ulaşabilmek için bilgisayarlarla desteklenen üst düzey kuramlardan yararlanmaktadırlar.

Ortaçağ boyunca silah, zırh ve savaşlarda kullanılan diğer aletlerin yapımında da büyük aşamalar kaydedildi. Bu yıllardaki en önemli ilerleme ise, fiziksel verimin artırılması için su ve rüzgâr enerjilerinin kullanımına geçilmesi olmuştur. Sözgelimi, onikinci yüzyılın tipik manastırları, suyu büyük bir incelikle kullanıyorlardı. Clairvaux Manastırı'ndaki su kaynağı, mutfak, banyo ve tualetin yanı sıra tahıl öğütücü ve ezici değirmenlerde, çamaşırhanede ve tabakhanede de kullanılıyordu.

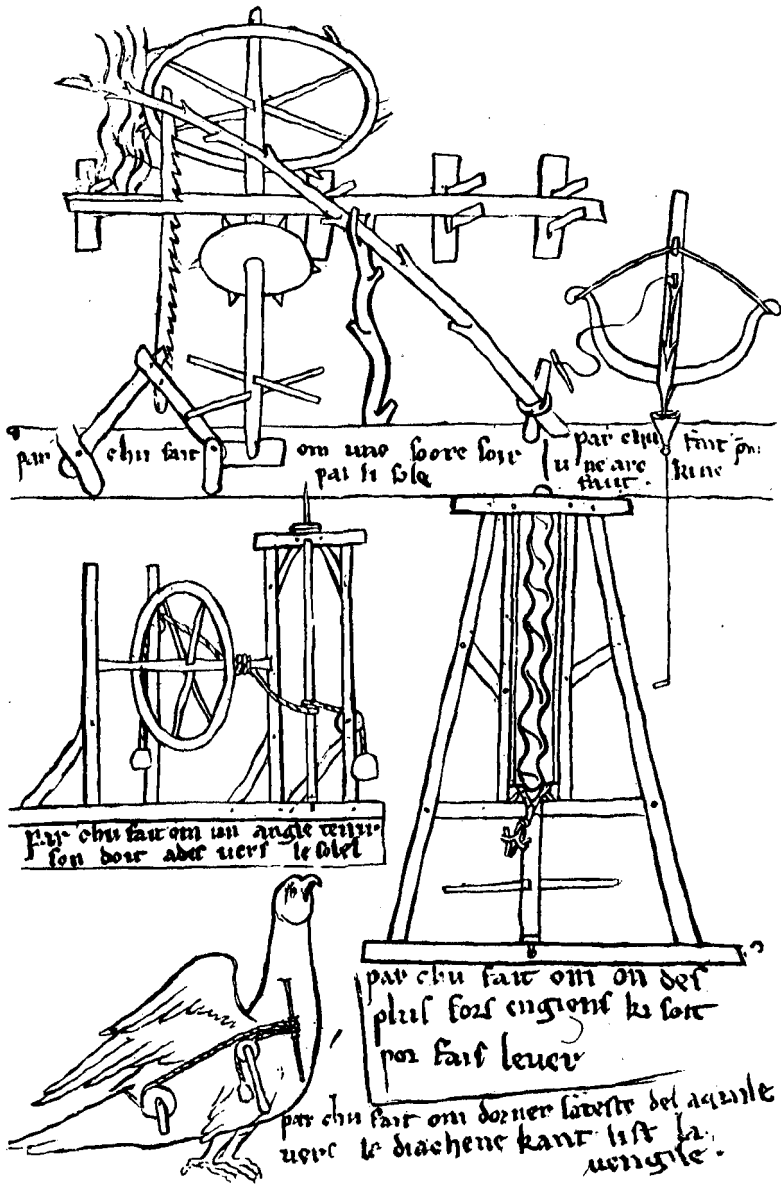
Avrupa'nın ürün imalatı ve dağıtımı, Ortaçağ başlarında Loncalardan yoğun biçimde etkilenmişti. Tüccar Loncası (uluslararası ticaretle uğraşan tüccarların oluşturduğu bir kuruluş) sadece ticaret akışını te-

kelleştirmeye yönelmekle kalmayıp ürün imalatını da etkilemeyi başarmıştı. Ürün imalatında çalışan uzman zanaatkarları temsil eden Esnaf loncası ise, oluşturduğu üretim standartları ve yoğun çıraklık eğitimi sayesinde ticari malların kalitesinin artmasını sağlamıştır.

— 1250 ile 1350 yılları arası, Avrupa'da İcat Çağı (özellikle de mekanik icat çağı) olarak bilinir. Eşi görülmedik yaratıcı buluşların tasarlanması için gerekli koşullar zaten hazırды (Arka sayfadaki şekle bakınız). Eğren ve ören aletlerin, ağırlıklarla çalışan mekanik saatlerin ve makineleşmiş evrenlerin hüküm sürdüğü zamanlara gelinmişti. Orduların durumu kabul etmesi uzun yıllar alsa bile, ateşli silahların geliştirilmesi, (ki aslında ilk ateşli silah 1050 yılı civarında icat edilmişti) savaşın eski ve geleneksel boyutunu modası geçmiş bir hale getirdi. Bu süreç boyunca icadın yanında perspektif gibi yarı-teknolojik konulara da büyük ilgi gösterildi. Atalarımızın bilgisi eskisinden fazlaydı belki ama, modern teknolojinin birçok ögesi hâlâ eksikti.

Rönesans döneminde düşünsel ve ekonomik etkinlik alanında yaşanan önemli bir dalgalarına, teknolojiyi derinden etkilemiştir. Leonardo da Vinci (1452-1519) gibi kişiler, icat sevgisi ve teknik anlayışın yanı sıra matematiğe saygı duyulmasını da sağladılar. Zengin şehir devletleri arasındaki rekabet, Brunelleschi'nin (1377-1466) Floransa Katedrali'nde inşa ettiği muhteşem kubbe gibi eserlerin yapılmasına yol açtı. Yaratıcı etkinliğin adımlarıysa iki nedenden ötürü hızlanmıştı. Bir yanda, sanatçıları himaye eden kişilerin rekabeti, bilginler ve ustalara yeni bir canlılık kazandırdı. Diğer yanda, matbaa sayesinde yeni iletişim biçimleri geliştirildi. *De Architectura*'dan sonra Batı'da mimari üzerine yapılan ilk temel bilimsel inceleme, *De re Aedificatoria*, 1452 yılında Leon Battista Albi tarafından kaleme alındı. Gelişen kopya ile çoğaltma tekniği sayesinde *De re Aedificatoria* adlı bu kitap, hızlı bir şekilde geniş bir çevreye ulaştı. Kitabı okuma şansına erişen inşaat ustaları, okuyamayanlar karşısında mesleki bir üstünlük kazanıyorlardı. Böylece, yayımlama, yani bir anlamda israf çağına gelinmişti; ama hiç değilse okuma süreci de başlamıştı.

Rönesans dönemi, Aristoteles, Ptolemaios (Batlamyus) ve Galen gibi düşünürlerin düşünme biçimleri üzerinde temellenmişti. Bu



Su çarkıyla çalıştırılan ve ağaç dalı yardımıyla döndürülen bir bıçkı; saatin rak-
kas çarkının sekteli hareketini idare eden bir düzenek; ve mekanik olarak hare-
ket edebilen, dekoratif bir kartal. Bu çizimlerin hepsi de Villard de Honneco-
urt'un 1240 yılına ait not defterinden alınmıştır.

dönemde eski “bilim”in araştırılmasına verilen önem, bazı yetenekli insanların yeni paradigmlar geliştirmesini sağladı. Bu paradigmlar sayesinde eski kuramlardaki bazı yanlışlıklar açıklanabildi. Örneğin, Aristotelesçi kuram, belirli bir yükseklikten aşağı bırakıldığında ağır bir cismin hafif bir cisimden daha hızlı yere düşeceği sonucuna varmıştı. Bu sonuç, klâsik dönemde bile bazı kişileri rahatsız etmişti. Aristotelesçi kurama göre; eşit ağırlıklı iki cisim, belirli bir yükseklikten aşağı bırakılırken birbirlerine bağlanacak olurlarsa normalden daha hızlı yere düşeceklerdi. Aristoteles, boşluk düşüncesine de aynı biçimde şiddetle karşı çıkmıştı. Ama çok geçmeden kanıtlanan boşluk kavramı, birçok deney ve uygulamaya konu olarak eski kuramların yeniden sorgulanmasına yol açtı. Klâsik fen bilgisinin şüpheli yaklaşımları, bilimsel kuramın soyut düşünceden çok matematiğe ve ampirik gözleme dayanmasını sağlamıştır. Böylece, bilim ve teknoloji arasında daha yoğun bir etkileşme başlamıştır.

Bu etkileşim başlangıçta yavaş gerçekleşiyordu. Çünkü Kilise, klâsik düşünürlerin formüle ettiği ve Rönesans düşünürlerinin keşfedip yorumladığı dünya görüşünden fazlasıyla memnundu. Kiliseye göre, yeni yeni geliştirilmeye başlanan mekanik evren görüşü kimsenin işine yaramazdı. Zaten böyle bir yeniliğe de ihtiyaç yoktu. Hele bu düşünce biçiminin sunduğu, insanlığın evrendeki konumuna ilişkin kozmolojik modellere ve görüşlere hiç sıcak bakılmıyordu. Kilise’nin, Ptolemaios tarafından geliştirilen Dünya merkezli kainat modelini benimsemesi hiç de garip değildi. Bu model, insanı mükemmel bir evrenin merkezine öylesine mükemmel bir biçimde yerleştiriyordu ki, Kilise keyfini çıkaracak yeniliklere gereksinim duymuyordu. M.S. ikinci yüzyılda yaşamış İskenderiyeli bir matematikçi ve astronom olan Ptolemaios, Platon’un idealar kuramından çok fazla etkilenmişti. Platon için gezegene ait yörünge gibi önemli birşey mutlaka mükemmel olmalıydı. Bu nedenle Ptolemaios, gezegenlerin küçük mükemmel yörüngelerde hareket ettiği ve merkezlerinin de geniş dairesel yörüngelerle Dünya merkezine yöneldiği sonucuna ulaştı. Bu, kendince mükemmel model, mükemmelliğini korudu, tâ ki kainatın merkezi temelden sarsılana dek.

Polonyalı astronom Nicolas Copernicus (1473-1543), Güneş merkezli sistem hipotezini öne sürerek, gözlemlenmiş gezegen hareketleri-

ni açıklayan ilk Rönesans düşünürüdür. Gerçi eski düşünürlerden Aristarchus da, M.Ö. üçüncü yüzyılda buna benzeyen bir model tasarlamıştı. Ancak Copernicus, Ptolemaios'un dairesel gezegen hareketlerini temel almıştı. Buluşu ise Dünya'yı Güneş yörüngesindeki diğer gezegenlere eklemek oldu. En sonunda Johannes Kepler (1571-1630), Tycho Brahe'nin (1546-1601) topladığı ayrıntılı astronomik verileri kullanarak, gezegenlere ait yörüngelerin eliptik olduğunu kanıtladı. Böylece, doğal Dünya hakkındaki Platoncu görüşler, mekanik bir dünya görüşüyle yer değiştirmeye başladı. Sonunda, bilimsel incelemeye ampirik bir yaklaşım eklenmiş oluyordu. 1700 yılına gelindiğinde Rene Descartes (1596-1650) ve Isaac Newton (1642-1727), Güneş sisteminin merkezinde Güneş'in bulunduğunu ve yeryüzünün ötesindeki fiziksel evrenin basit mekanik ilkelere bağlı olduğunu kesin olarak kanıtladılar.

Onaltıncı ve onyedinci yüzyılın etkinlikleri, çoğu zaman, Bilimsel Devrim olarak anılır. Gerçi bilimsel düşünüş açısından bu ne ilk ne de son devrimdir (Şimdilerde muhtemelen biri daha yaşanıyor). Ama o yıllarda, reddedilemeyecek ölçüde yoğun bir etkinlik yaşanıyordu. Bilimin teknolojiye yakınlaşmasına yol açan bilimsel yaklaşımlar, metodolojiler ve kuramlar geliştirildi. İşte bu dönemde Galileo Galilei (1564-1642), Aristoteles'in fizikteki yerini değiştirdi. Ve böylece bilim adamları, kuramlarını doğrulamak için 'deneye' ihtiyaç duymaya başladılar. Andreas Vesalius (1514-1564) ve William Harvey (1578-1657) yaptıkları ayrıntılı çözümlemeler ve fizyolojik çalışmalarla Galen'i tıp dünyasına tanıttılar. Çalışmalarıysa, insan bedeninin Tanrı'nın isteğine olduğu kadar doğa kanunlarına da boyun eğdiğini kanıtlıyordu. Bu dönemde, William Gilbert (1540-1603), bir manyetizma anlayışı geliştirdi; ve Agricola (George Bauer'in 1494-1555 çalışmalarında kullandığı takma adı), madencilikle ilgili ünlü kitabını yayımladı.

Bu bilimsel keşiflerin pekçoğu, teknolojideki ilerlemelere bağlıydı. Sarkaçlı saatlerin, zamanı su ya da güneş saatlerinden daha kesin göstermesi, oran ve hız gibi ölçümlerin de hatasız yapılmasını sağladı. Deneye verilen önem ise, deneylerde kullanılan teknolojik aletlerin geliştirilmesine yardımcı oldu. Giambattista Porta (1536-1605), Evangelista Torricelli (1608-1647) ve Otto von Guericke'nin (1602-1686) hava basıncı ve boşluk üzerine yaptıkları deneylerde

kullandıkları hava pompalarını ve hava geçirmeyen özel odaları buna örnek gösterebiliriz. Teknoloji, o dönemlerde, bilimsel deney ve hipotezlerle edinilen ileri düzey bilginin ihtiyaçlarını karşılayacak olgunluğa erişmişti. Bir enerji kaynağı olarak 'buhar'a gösterilen büyük ilgi, 1698 yılında buhar makinesinin yapılmasını sağladı. Buhar makinesini Watt'ın icat ettiği düşünülse bile, çalışır durumdaki ilk makine, Thomas Savery (1650-1713) tarafından geliştirilmiştir.

Bilimin mühendisliğe "öncülük" etmesine daha zaman vardı belki; ama mühendislik mekaniğinin (mekanik hareketin açıklanmasında matematiğe başvurulması) kurucusu sayılan Galileo'nun çalışmaları, gelecekteki yenilikleri müjdeliyordu. Galileo, mühendislerin faydalanacağı bilgiler bulmak amacıyla kendi doğal dünya anlayışını kullanmaya çalıştı (Mühendislik bilimine yönelişi 6. Bölümde tartışacağız). Galileo ve çağdaşları, fikirlerini yalnızca deney ve beceri üzerine dayandırmaktansa, çapraşık olguları da anlamaya çalıştılar. Newton (1642-1727), gökyüzünün Dünya yüzeyindeki sıradan nesnelerle aynı yasalara bağlı olduğunu kanıtlayarak bir adım ileri gitti. Bu yaklaşım, Romalılarca benimsenen ve "De Architectura" şeklinde ifade edilen yaklaşımdan çok farklıydı. Romalılar 'niçin'den çok 'nasıl' sorusuyla ilgilenmişlerdi ve gökyüzünü Tanrılara bırakmaktan fazlasıyla memnundular.

Düşünme biçimindeki bu değişikliğin bir nedeni de, hiç kuşkusuz, Protestan Devrimi ve aydınlar tarafından düşünce özgürlüğüdür. Böylece aydınlar, artık kuramlarının Kilise'nin öğretileriyle bağdaşıp bağdaşmayacağı konusunda kaygılanmayacaklardı. Diğer nedenlerse, Yeni Dünya'nın keşfedilmesi, siyasi yapı, inançlardaki değişiklikler ve gerçeğe dayalı bilginin ekonomik açıdan değerli olabileceğinin fark edilmesidir⁽¹¹⁾.

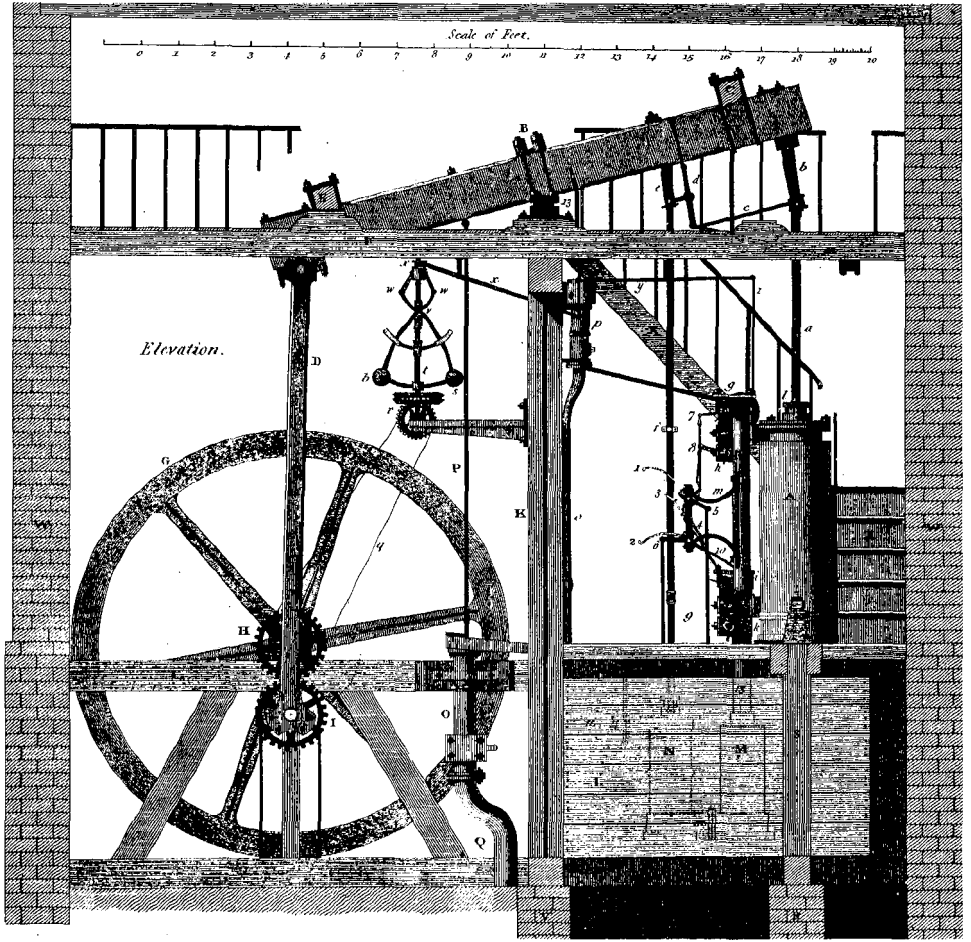
Onsekizinci yüzyıl, matematikteki büyük ilerlemelerle ünlüdür. Joseph Lagrange (1736-1813), Pierre de Laplace (1749-1827) ve Joseph Fourier (1768-1830) gibi matematikçiler, fizik ve teknolojiye pek çok gelişmenin ihtiyaç duyduğu matematik desteğini sağladılar. Birkaç merceğin kullanılmasıyla daha fazla büyötmeye olanak tanıyan bileşik mikroskobun bulunması, canlı organizmalarla uğraşan bilim dallarının hızla ilerlemesine yol açtı. Yazık ki tabî bilimler, o zamanlarda, 'tavşan kaç tazi tut' misâli, yanma olayının esası olduğu varsa-

yılan uçucu maddeler, ısıyla ilgili akışkanlar gibi ele geçirilemeyen şeylerin peşinde koşuyorlardı. Simyanın özenli ama bir o kadar da "hatalı" yapısından doğan kimya ise, uzunca bir süre Aristotelesçi kurama sadık kalınması nedeniyle tıkanmıştı. Ama onsekizinci yüzyılda, Antoine Lavoisier (1743-1794) ve Amadeo Avogadro (1776-1856) gibi kişiler, kimyayı rasyonel bir zemine oturtmayı başardılar. Ondokuzuncu yüzyılın başlarındaysa, Sadi Carnot (1796-1832) termodinamiği geliştirdi. James Clerk Maxwell (1831-1879) dahiyane önsezisiyle elektrik ve manyetik arasındaki ilişkiyi açığa çıkardı. Kısacası, bilim artık teknolojiye yeterli katkıda bulunabilecek bir konumdaydı.

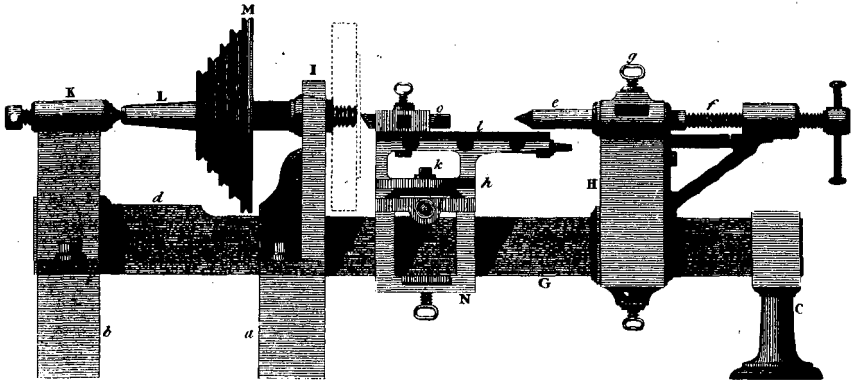
Bu arada teknoloji, bilim ve matematiğin rollerini alacakları günü bekleyerek zamanını boşa harcamıyordu. Onaltıncı yüzyılda, Venedik yakınlarında kumaş ve cam imalatına başlandı; matbaa ve alet sanayileri zenginleştirildi. Ayrıca madencilik teknolojisinde de büyük bir aşama kaydedildi. Onyedinci yüzyıl, İngiltere ve Fransa'da büyük kanal sistemlerinin inşa edilmesine ve gemi inşaatında büyük ilerlemelere tanık oldu. Buhar ve boşluk üzerine yapılan deneylerse sürdürülüyordu.

Onsekizinci yüzyıl, tarihteki en büyük teknoloji patlaması sayılabilecek Sanayi Devrimi'ne sahne oldu. Sanayi Devrimi makine üretimiyle başladı. Eskiden elle yapılan işler artık makinelerle yapılıyordu. Richard Arkwright (1732-1792) ve John Kay (1733-1764) tarafından icat edilen ve 1769'da patentli alınan eğirme tezgahı, makaralar ve eğirmenlerin bir düzenekte karmaşık biçimde ama ustaca birleştirildiği, dış enerjiyle (bir su çarkıyla) çalıştırılan bir alettir. İskenderiyeli Heron makinelerini zevk için yapmıştı. Katedraller ise din aşkıyla inşa edildiler. Ama şimdi, ekonomik teknolojiye ulaşılmıştı. Böylelikle, ticari açıdan büyük önem taşıyan işgücü tasarrufu da, çok yakında olanaklı kılınacaktı.

Yeni makineler, enerjiye ihtiyaç duyuyorlardı. Gelişkin malzemelere ve imalat tekniklerine kolaylıkla ulaşılabilirdi için de buhar enerjisi kullanışlı bir hale geldi (Yan sayfadaki şekle bakınız). Buhar enerjisi, ticari amaçlı olarak zaten bir süredir kullanılıyordu; ama şimdi, James Watt'ın (1736-1819) getirdiği yeni standartlar sayesinde, eski atmosferik makinelerin verimini üç katına çıkartmak mümkün olmuştu. Bu yeni standartlar ise, dış yoğunlaştırma, iki taraflı çalışma, düzeneğe kulla-



Mathew Boulton ve James Watt'ın kurduğu firmanın 1787'de imal ettiği ticari buhar makinesi



Henry Maudsley'in cıvata tornası. Bunun gibi makineler, standart ve değiştirilebilir parçaların üretimini olanaklı kılmıştır.

nımı ve ölçümlerin kesinliği gibi özelliklerdi. Thomas Newcomen'inki (1663- 1729) gibi, madenlerden su pompalamak için kullanılan hava motorlarının modası artık geçmişti. Henry Maudsley'nin (1771-1831) 1800 yılı civarında tasarladığı torna tezgahı, modern standartlarla karşılaştırıldığında ilkel görünebilir. Ama günümüz tezgahlarında bulunan birçok özelliğe de sahiptir ve çeliğin ustaca işlenmesine olanak tanır (Yukarıdaki şekle bakınız).

Sanayi Devrimi, buhar ve çelikte başladı, ulaşım ve iletişimle sona erdi. 1852'de Henry Giffard'ın (1825-1882) buharlı balonu Paris'ten Trapez'e 17 mil uçtu; termodinamiğin yeni yeni bulunduğu gözönüne alınırsa bu, teknolojik açıdan büyük bir başarıydı. 1876'daysa Alexander Graham Bell'in o çok ünlü "Bay Watson, buraya gelin, çabuk olun!" cümlesini söylemesiyle birlikte, günümüz gençleri için kritik bir önem taşıyan alet de bulunmuş oldu.

Teknoloji, Sanayi Devrimi süresince Avrupa'nın ekonomik sağlığı açısından vazgeçilmez bir hale geldi. İnsanların şehirlere akın etmesiyle birlikte uzmanlaşma da ön plana çıktı. Geçimlerini sadece çiftçilikten sağlayan çoğu insan için çiftçilik, artık tek yeterli kaynak olmaktan çıkmıştı. Ama daha önce çiftçilik ve ev-içi üretimle uğraşan insanlar, fabrika hayatına uyum sağlamakta güçlük çektiler. O zamanların İngiliz çorap fabrikalarından birinde çalışan bir yöneticinin sözlerinden yaptığımız alıntı, o günleri oldukça güzel betimliyor: "Bence işçilerin en çok rahatsız olduğu şey, belli saatlerde çalışma ve tek tip elbise giyme zo-

runluluğuydu... Hallerinden hiç memnun değillerdi; çünkü işe istedikleri zaman gelip gidemiyorlardı ve eskiden alıştıkları gibi istedikleri zaman tatil yapamıyorlardı. Mesai saatlerinden sonra da çalışmaktan yorgun düşmüş diğer işçilerin ters davranışlarına maruz kalıyorlardı. Sonuçta bu durum, bütün sistemden öğrenmelerine kadar vardı, onları bu tutumlarından vazgeçirmeye çalışmak benim için çok zor oldu."⁽¹²⁾ Dokuzdan beşe hayat biçiminin yeni bir icat olduğunu unutmuş gibiyiz. Halbuki insanlar, tarihin birçok döneminde daha esnek bir hayat biçimine sahiptiler. Düzenli bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla Batı toplumlarında uygulamaya geçirilen vardiya sistemi, çoğu insanın hayatında uyum sağlanması yıllar alan köklü değişikliklere yol açtı. Fabrikada çalışan 'işçiler' ve 'yöneticiler' arasındaki gelir ve güç farklılıkları o kadar barizdi ki işçilerin sonuçta oldukça içerleyerek farkettilerki şey, zengin işadamlarınca sömürüldükleri oldu.

Sanayileşmeye gösterilen tepkilerden en önemlisi, ondokuzuncu yüzyıl başlarında çıkan Luddite isyanıdır. (Luddite sözcüğü İngilizce'de makine düşmanı, makinelerin işçilerin zararına kullanıldığına inanan kimse anlamına gelir) Bu isyanda işçiler, işgücünden tasarruf sağlayan makinelere karşı duydukları nefreti, onlara zarar vererek ve fabrikaları yakarak gösterdiler. İsyanın adını, onsekizinci yüzyılda çalışma koşullarından memnun olmadığı için bir çorap tezgahını parçalayan Ned Lud adlı işçiden aldığı sanılıyor. O zamanlarda teknoloji karşıtı hareketler, Sanayi Devrimi'nin ekonomik gücüyle, maddi refahtaki artışla, sıkıcı, yorucu ve tehlikeli olan eski çalışma hayatına makinelerin getirdiği avantajla rekabet edebilecek kadar güçlü değildi. Ama teknolojinin olumsuz etkilerinden, kirlenen şehirlerden, gelir dağılımındaki eşitsizliklerden ve çekilmez çalışma koşullarından huzursuz olan insanların sayısı da azımsanamayacak kadar çoktu.

Mühendislik mesleği, Sanayi Devrimi'nin günümüzdeki özelliklerini kazanmaya başladı. Ünlü mühendisler -özellikle de John Smeaton (1724-1792) ve James Watt gibi iş hayatına bulaşmış kişiler- teknik maharetleri sayesinde hem büyük bir gelir hem de itibar ve etki kazandılar. Örgütlenme çabaları, benzer etkinliklere giren mühendisler tarafından ilk kez aralarındaki iletişimin artırılması amacıyla kullanılıyordu. Kurulan ilk toplumsal cemiyetlerden biri,

1818'deki İngiliz İnşaat Mühendisleri Enstitüsü'dür. Gerçi bundan önce aynı işle uğraşan mühendislerin resmi ya da gayri resmi biçimlerde biraraya toplandığı da olmuştu; ama ilk resmi kuruluş 1818 yılında kurulan bu enstitüydü. Bu enstitünün kurulduğu yıllarda "inşaat mühendisliği", "askeri mühendisliğin" alternatifi olarak görülüyordu. Bu nedenle de, askeri işlerle doğrudan ilgilenmeyen bütün mühendisleri kapsıyordu. Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği, otuz yıl süren uğraşlardan sonra 1852'de resmi olarak kuruldu. Daha sonra bu dernekler, özel uzmanlık alanlarını veya disiplinleri temsil eden gruplara bölünmeye başladılar. 1880 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Amerikan Elektrik Mühendisleri Enstitüsü kuruldu. 1890'lı yıllarda Gemi İnşaatçıları ve Deniz Mühendisleri Derneği, Amerikan Isıtma ve Havalandırma Sistemleri Mühendisleri Derneği ile Amerikan Demiryolu Mühendisleri Derneği etkinliklerine başladı. Yeni derneklerin açılmasıyla birlikte, bugün Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ulusal mühendislik derneklerinin ve yan kuruluşlarının sayısı, 130'u aşmıştır.

Sanayi Devrimi'ne kadar resmi mühendislik eğitimi de başlamadı. İlk mühendislik okulu, 1757 yılında Fransa'da açıldı. Ecole Polytechnic ise 1794'te kuruldu. Amerika Birleşik Devletleri'nde askeri mühendislik alanındaki ilk mesleki eğitim; 1817 yılında West Point Askeri Akademisi'nde verildi. Harvard, Yale ve Dartmouth Üniversiteleri, ondokuzuncu yüzyıl ortalarında mühendislik eğitimi ni ders programlarına dahil ettiler. Ama Harvard Üniversitesi, daha sonra bu programı iptal etti ve Rensselaer Polytechnic Enstitüsü ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü gibi teknik okullar açıldı. 1870'e gelindiğinde Amerika Birleşik Devletleri'nde mühendislik eğitimi veren okul sayısı, 70'e ulaşmıştı. Bu sayı, 1990 yılında 250'ye yükselmiştir⁽¹³⁾.

Ortaya çıktığı ilk günden beri teknolojinin temel ilgi odağı, savaş olmuştur. Ondokuzuncu yüzyıl, askeri teknolojide yeni değişim rüzgârları estirmişti. Amerikan iç savaşı sırasında hızlı ulaşım için trenler, hızlı iletişim içinse telgraf kullanılmıştı. Önce yivli namlulu asker tüfekleri, daha sonra otomatik silahların habercisi mükerrer ateşli tüfekler, en sonunda da ağır silahlar, eşi görülmedik katliamlara yol

açtılar. Bugünkü savaşalara baktığımızda, eski zamanlardan beri tarihin birçok anında kullanılan savaşma biçimlerinin teknoloji tarafından modası geçmiş bir hale getirildiğini görüyoruz. Heybetli saldırılar, görece düşük sivil kayıplar ve kişisel kahramanlıklar... Yirminci yüzyılın çocukları olan bizler, hâlâ savaşçı pilotlar gibi modern şövalyelere sıkıca sarılısak da, askeri hizmetlerimiz, cerrahi başarılarından söz etse de, büyük güçler arasında yaşanan kıyasıya savaş, teknoloji sayesinde olabildiğince başı bozuk biçimde sürüyor.

Eski teknolojinin bir başka ilgi alanıysa, içinde bulunduğumuz yüzyılda bile muazzam değışiklikler geçiren bina yapıymıydı. Aynen diğerk mühendislik tasarımları gibi bina tasarımı da bilgisayar destekli modern çözümlemelerden fazlasıyla yararlandı. 30 yıl öncesinde bile rastlanmayan teknolojiler, bugün yapıların ve yapılarda kullanılan mekanik sistemlerin kolaylıkla tasarlanabilmesini sağlıyor. Özel yapı yapışkanları gibi yeni malzemeler ve makineyle sıkıştırılan özel vidaların çivilerin yerini alması gibi yeni teknikler, inşaat tarzını tamamen değıştiriyor. Modern asansörler, mekanik sistemler ve iletişim teknikleri, yeni geometrileri olası kılıyor. şantiyeler artık büyük oranda makineleştiriliyor ve bilgisayarlarca denetleniyor. İnşaat sektöründe çalışan kişilerse, geniş olanaklara sahip gelişkin iletişim cihazlarına ihtiyaç duyuyorlar.

Kimya sanayi, modern katalizörlerin ve işlemlerin kullanılması sayesinde, üst düzey polimer ve ilaç üretimine geçerek rüştünü ispatladı. Günümüzde teknolojinin en ilgi çekici alanıysa, kuşkusuz genetik mühendisliğı. Bu konuyu kitabın ilerleyen bölümlerinde ayrıntılı biçimde tartışacağız; ama kimyasal işlemlerdeki uygulamalara ait imkânların ve ticari kimyasal ürün imalatının çok büyük olduğunu hemen belirtelim. Sağlıklı hayat, çevre kirliliğı, düşük maliyetli enerji kaynaklarının bulunması, kaynakların azalması gibi önemli uluslararası sorunların çoğı, doğrudan ya da dolaylı olarak kimya sanayiiyle ve kimya mühendisleriyle ilgili konular.

Yirminci yüzyılın ikinci yarısı, elektronik ve bilgisayar sanayilerinin doğuşuna tanık oldu. Daha sonra tartışacağımız gibi transistörün, çok parçalı elektronik devrelerin ve mikro-işlemcilerin bulunması, teknolojiye ve özel hayatımızda köklü değışikliklere yol açtı.

Bilgisayarlılar, mühendislerin mesleki etkinliklerinde ve karmaşık sorunların ele alınmasında büyük yenilikler getirdiler.

Modern dijital bilgisayardan önce ellerinde mekanik hesap makineleriyle sıkıntı verici, detaylı hesaplarla boğuşan odalar dolusu insana rastlamak mümkündü. Şimdi bilgisayarlar, bu işi çok daha çabuk ve ucuz bir şekilde yapıyorlar ve mühendisleri bu azap verici çalışmalardan kurtarıyorlar. Daha da önemlisi, benzeri görülmemiş karmaşıklıkta çözümlemelere, simülasyona ve karmaşık fiziksel ve matematiksel ilişkilerle başa çıkılmasına olanak tanıyorlar. Öğrencilik yıllarımda diferansiyel denklemlerin çözüm yollarını öğrenmek için saatlerimizi harcardık. Harcanan onca zamandan sonra bile çözebileceğimiz denklem çeşitleri sınırlı olurdu. Oysa şimdi bilgisayarlar, bu hesaplamaları bizden çok daha iyi yapıyorlar. Böylece, biz de daha önemli konular üzerinde düşünme fırsatı bulabiliyoruz.

Bilgisayar uygulamasının fabrikayı değiştirmesi gibi, modern telefon sistemleri, çoğaltma ve kopyalama makineleri (fotokopi ve faksimile), bilgisayar ağları ve veri tabanları gibi elektronik teknolojileri de, mühendisliğin çalışma alanını tamamen değiştirdi. Elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin ürünleri, birbirleriyle yakın ilişkide oldukları için listemiz de giderek kabarıyor. Küçük bir örnek verelim. Şu anda bu kitabı yazarken daktiloya göre çok daha hızlı olmamı sağlayan bilgisayarımı kullanıyorum. Bir yandan da olağanüstü kaliteli bir ses düzenine sahip olan müzik setimin çaldığı diski dinliyorum. Bu arada telefon ünitesi, beni arayan kişilerin mesajlarını kaydederek kafamın şişmesini önüyor. 30 yıl önce varolmadıkları düşünülürse bu modern harikaların inanılamayacak ölçüde ucuz oluşu, insanı şaşırtıyor.

Gelgelelim, yirminci yüzyıldaki hızlı değişiklikler, teknolojiye bakış açımızı çarpıttı. İlgimizi yüksek teknoloji denen şeyler üzerinde yoğunlaştırdık. Elektronik (özellikle bildirişim ve iletişim), roketler, genetik mühendisliği, robotlar ve benzeri sanayiler, bilimsel ilerlemelere bağlı ürünler icat edilmesi için iyi eğitim görmüş insanları istihdam ediyorlar. Hem bu ürünlerin bilinen ve bilinmeyen faydalarından söz eden hem de ürünlerle birlikte gelen sorunlara değ-

nen medyanın bombardımanına maruz kalıyoruz. Yeni fotokopi makinemize, hafızalı telefonumuza veya mini kameramıza sahip olmak için sabırsızlanırken, bir yandan da çocuklarımızın fazla televizyon seyretmelerinden, tıptaki yüksek maliyetlerden ve genetik mühendisliğinin belirsiz geleceğinden endişe duyuyoruz.

Teknolojinin yirmibirinci yüzyıldaki rolünü düşünürken sorunlarımızın birçoğunun sadece ‘düşük’ teknoloji ile çözülebileceğini gözardı etmemeliyiz. Ara sıra tamir görmesi gereken eski yollar, köprüler, demiryolları, boru hatları ve bunun gibi “alt-yapı” olarak adlandırdığımız öğelerin onarımında –ki, iki trilyon dolarlık bir proje bu– eski teknolojimizi kullanabiliriz. Uluslararası pazarda rekabet edebilecek düşük maliyetli ve yeterince kaliteli ürünlerin üretimine gelince bilgisayarlardan, yeni malzemelerden ve işlemlerden yararlanacağız elbette. Ama üretim sorunlarımızın birçoğunun çözümünde, sadece yüksek teknoloji yeterli olmayacak. Bir diğer önemli sorunumuz da, enerji kaynakları. Petrokimyasal kaynaklar bir gün tükenecek. Atmosfer ise kirliliğe karşı zannettiğimizden daha duyarlı. Belki, verimlilikleri giderek artan ve ucuza malolan güneş enerjisi, süper iletkenler ve transmisyon, enerji sorunumuza bazı çözümler getirebilir. Ama yine de, enerji ihtiyacımızın çoğunu enerji santralleri, iç yakımlı motorlar ve uzun zamandır bilinen diğer yöntemlerle sağlayacağımız açık. Her şeye rağmen çelik, beton, kereste, dosya, kalem ve kağıt mendil istemeyi sürdüreceğiz. Yeni teknolojinin, bütün bu ürünleri çok daha verimli biçimde üretmemize yardım ettiği doğru olabilir. Ama eski teknoloji, ihtiyaçlarımızın karşılanmasındaki önemini hâlâ koruyor. Eski teknolojilerdeki ilerlemeler, yüksek-teknolojideki etkileyici başarılarla karşılaştırıldığında biraz ağır olsalar bile, kesinlikle gereksiz değil.

Eski teknolojiler yaşamlarını sürdürüyorlar. Buna karşın, geleceğe baktığımızda ileriye yönelik teknolojik beceride, hiçbir yavaşlama belirtisi görmüyoruz. Gerçekten de, gelecek yüzyılı düşünen bazı kişiler, teknolojinin değişme hızının artacağını zannediyorlar. Ne yazık ki (kimbilir belki de şükürler olsun demeliyiz) sonsuz esnekliğe sahip değiliz. Uzun bir süredir değişiklik ve yaratıcılık konularıyla ilgileniyorum. Epey bir süredir de, değişen teknolojiye

ve ürün gelişimine bağlı olan şirketlerde danışmanlık yapıyorum. Bu gibi şirketlerde çalışan insanlar icat sevgilerinden, hızlı ilerleme ve ürün eskitmenin üstesinden gelebilme kabiliyetlerinden ötürü kendileriyle gurur duyarlar. Ancak insanlar, şirketler ve özellikle de toplumlar, aslında geleneklere ihtiyaç duyarlar ve geçmiş deneyimlerle iş görürler. Yenilikleri sancısız biçimde hemen kültürümüze katmayız. Bence, neredeyse 10,000 yıl önce hayatta kalmak için sincip avladığımız ya da meyva topladığımız düşünülürse, teknolojik değişimin şu anki hızı, toplumumuzun ruhuna kolaylıkla yerleştirilemez. Teknolojik değişmeyi durdurmayacağımız kesin; çünkü birçok açıdan bizim için değerli. Ancak onu anlamaya ve insanlarca onaylanan amaçlara doğru yönlendirmeye daha fazla zaman ayırmamız gerekiyor.

Onsekizinci yüzyılda teknolojiye yönelik toplumsal tutum genelde olumluydu. Gelir dağılımı ve işin doğası, Sanayi Devrimi'nden sonra değiştiği için Devrim öncesinde hiçbir olumsuz duygu yaşanmadı. Günümüzde teknolojiye yönelik birçok karışık ve karmaşık tutum var. 1960'ların sonunda ve 1970'lerin başında Amerika Birleşik Devletleri'nde teknolojinin yıkıcı etkileri, Vietnam Savaşı'nı konu alan medya haberleriyle canlı biçimde gözler önüne serildi. 60'lı yılların sonunda, kısa ve uzun dönemli çevre sorunlarının farkına vardık. Hipi kültürünün kınadığı çılgın materyalist değerlerimizden yaygın bir hoşnutsuzluk duyuldu. Bu hoşnutsuzluğu ise, yüksek enflasyon, OPEC petrol ambargosu, sonlu kaynaklar ve uluslararası rekabetten duyulan endişe izledi. Bilgisayar ve telekomünikasyon sistemleriyle ortaya çıkan üçüncü sanayi devriminin olası hastalıklı etkilerinden duyulan endişe de, bu sağlıksız ortama eşlik etti. Bu olayların hepsi de, ayrı ayrı, teknolojiyle aramızdaki aşk ilişkisini yıprattı.

Günümüzde daha iyimser ama gerçekçiliğini yitirmeyen bir tutuma doğru yönelmiş görünüyoruz. Güçlü çekincelerimiz bulunmasına karşın, teknolojinin ürünlerini satın alıp kullanıyoruz ve sorunlarımızın çoğunun çözümünde teknolojiye başvuruyoruz. Bili-min teknolojiye giderek daha fazla müdahale etmesi, yeni belirsizliklerle, bilinmezliklerle, muazzam bedellerle ve kendini beğenmiş-

liklerle sonuçlanıyor. Uluslararası rekabet, liderlik sistemimize meydan okudukça; sınırlı kaynaklar ve bunların paylaşımı konusundaki çatışmalar arttıkça, teknolojiye bağımlı ekonomimizden de haklı olarak kaygılanıyoruz. Siyasi gerginlik altında yaşamaya zorlandığımızdan ve hayati açıdan teknolojiye giderek daha bağımlı hale geldiğimizden şüpheleniyoruz. Teknolojinin hangi tarafa yönlendirilmesi gerektiği konusundaki tartışmalar ise hâlâ sürüyor.

Açıktır ki toplumumuz, teknolojisini yönetme konusunda daha “akıllıca” davranmalı. Teknolojiyi daha iyi anlamamız ve teknolojiden etkilenenler arasındaki bilgi alış-verişini teşvik etmemiz gerekiyor. Teknolojiyi anlamaya yönelik yaklaşımlardan biri de, tarihten geçer. Bu bölümde önemli tarihsel eğilim ve olaylardan bazılarını kısaca değindik. Şimdi mühendisliğin doğasını ayrıntılı biçimde inceleyebiliriz.

Hesap Makinesinin Ötesinde

Mühendisliğin Karmaşıklığı

Bu bölüme genel bir mühendislik tanımıyla başlamak iyi olurdu belki. Ama ne yazık ki böyle bir tanım yok elimizde. Aydınlatıcı bir tanım bulunmadığı gibi, mühendisliğin karmaşık bir konu olması da, işi iyiden iyiye zorlaştırıyor. Mühendisliğin ne denli karmaşık bir konu olduğunu anlamak için uzun uzadıya düşünmemiz gerekmiyor. Bunun için sözlüğe bakmanız yeterli. İlk bakışta açıklayıcı görünen tanımların, aslında konuyu aydınlatmaktan ne kadar uzak olduklarını hemen fark edebilirsiniz. Açıkçası, bu tanımların laf kalabalığı yapmaktan öte bir faydaları dokunmuyor.

"Mühendisin görevi ve yaptığı işler, özellikle makineleri düzenleme sanatıyla ilgilidir. Doğadaki maddelerin özellikleriyle ilgili bir bilim olan mühendislik, enerji kaynaklarının yapılar, makineler ve diğer ürünler aracılığıyla insana yararlı hale getirilmesine hizmet eder." (*Webster's Third New International Dictionary*, Springfield, MA: Meriam-Webster Inc., 1981).

"Mühendisin görevi ve yaptığı işler" ifadesi daha en baştan bizi bir kısır döngü içine hapsediyor. "Makineleri düzenleme sanatı" cümlesinin ise, tanıdığımız birçok mühendisi heyecanlandıracağına

inanıyorum. Tabii ki bu cümleden alınanlar da çıkabilir! Debdebeli sıfatlarla mühendisliğe bilim payesini yakıştırır görünen son cümle ise, kafalarımızı karıştırmaktan öteye geçmiyor. Bir sözlüğün başı ne zaman şıkışırsa bilin ki konu da o denli karmaşıktır.

Bir konunun karışıklığını, bu konu hakkında söylenmiş basmakalıp sözlerin çokluğundan da anlayabiliriz. Mühendislik hakkında ise bu tür sözler azımsanamayacak kadar çok: Mühendislik, bilimin pratik problemlere uygulanmasıdır: Mühendisler insanlarla değil nesnelerle ilgilenirler: Mühendisin çalışma mekanı çizim masalarıyla dolu büyük odalardır: Mühendislik ahlaka aykırı, ahlaksız, iyi, kötü, sıkıcı ve heyecanlandırıcıdır. Basitleştirmek insanların hoşuna gider. Konu yeterince karışık olduğunda zihinlerdeki yükü azaltmanın yolu, konuyu basitleştirmekten geçiyor sanırım. O zaman da tek çıkar yol basmakalıp laflara sığınmak oluyor gibi.

Oyundaki kadronun inanılmaz ölçüde kalabalık oluşu da, bu karmaşıklığın önde gelen nedenleri arasında gösterilebilir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık 2 milyon kişi, kendisinin mühendis olduğunu söylüyor. Ayrıca, farklı kaynakların sayı konusunda anlaşamaları da, bu karmaşıklığı pekiştiriyor. 1988 yılına ait Amerika Birleşik Devletleri İstatik Özeti'ne göre, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mühendis sayısı 1.3 milyon ile 2.6 milyon arasında değişiyor. İkinci sayı birincinin tam iki katı. Doğrusunu isterseniz bu "kesin" saptamaya şapka çıkartmamak elde değil! Peki ya oyunun başrolünü üstlenen mühendisler hakkında söylenenlere ne demeli? Mühendislerin bazıları müptelalık, hatta çılgınlık derecesinde işine bağlı olabilir; ama bunu genellemek ne denli doğru olur acaba? Aralarından bazılarının sosyal hünerleri bulunduğunu kabul edelim artık. Bazıları düşüncelerini açıkça ifade eder, bazıları etmez. Bunun çok önemli olduğunu sanmıyorum. Aralarında şair, ressam, müzisyen olanına rastlayabilirsiniz. Eğer günün birinde, mühendis olduğunu söyleyen bir rahip çıkarsa karşınıza sakın şaşırmayın. Katil, uyuşturucu bağımlısı veya fahişe bir mühendisle karşılaşmanız da mümkün. Jimmy Carter ve Tom Landry mühendislik eğitimi almışlardı. Tıpkı çoğu okuyucunun haklarında pek fazla bilgi sahibi olmadığı Frank Schroeter ve Elmer Floyd da, üstün birer mühendisti.

Robert Perruci ve Joel Gerstl, yaklaşık yirmi yıl önce yaptıkları bir çalışmada mühendisler hakkında bazı genellemelere ulaşmaya çalıştılar ⁽¹⁾. Kısmen de başarılı oldular. Onlara göre herhangi bir mesleği oluşturan faktörler şunlardı: İlgi, beceri, mesleğe giren kişilerin sosyal özellikleri, bilgi düzeyleri ve aldıkları eğitim. Perruci ve Gerstl'in bulguları, öncelikle mühendisliğin mühendislik öğrencileri için taşıdığı önem üzerinde yoğunlaşıyordu. Yaptıkları saptamalara göre mühendislik, öğrenciler için ailelerinin toplumsal konumlarından bir sıçramayı ifade ediyordu. Mühendislerin büyük çoğunluğu küçük kasabalarda doğmuşlardı. Diğer üniversite öğrencileriyle karşılaştırıldığında ise lise bitirme notu gibi kriterler, mühendislik öğrencilerinin üstün yeteneğe sahip kişiler olduğunu gösteriyordu. Mühendislik alanında eğitim gören öğrenciler, zamanlarının büyük bir kısmını doğrudan kendi konularıyla ilgili çalışmalara ayırıyorlardı. Bunun nedeni ise, yalnızca üstlerine yüklenen ağır sorumluluk değildi. Bu, büyük ölçüde öğrencilerin ilgisinden kaynaklanıyordu. Sözkonusu ilginç çalışmanın gösterdiğine göre mühendislik öğrencileri, daha en baştan kendilerini çalışma alanlarına adıyorlardı. Okul hayatıyla birlikte mühendisliğe adım attıktan sonra da başka alanlara yönelmeyi pek düşünmüyorlardı. Diğer dersler ve uğraşlar mühendislik öğrencileri için fazla önem taşımıyordu. Bu yüzden de ders programları dışındaki uğraşlarla ve diğer alanlarla ilgilenmiyorlardı. Diğer öğrencilerle kıyaslandığında, teknolojiye yönelik ilgileriyle daha fazla güdülenmişlerdi ve insanlarla daha az ilgileniyorlardı. Bu tür yorumlar, tipik mühendislere kesinlikle uygundur. Ama bir kez daha hatırlayalım ki klişeleşmiş görüşler, bütün insanları kapsamaz. Sözgelimi, Stanford'da çok sayıda şehirli mühendislik öğrencimiz de var. Bunların çoğu, iyi bir eğitimden geçmiş ve toplumsal birikimleri de oldukça fazla. Ayrıca, beşeri ve toplumsal bilimlerle yoğun biçimde ilgilenen mühendislik öğrencilerimizin sayısı da az değil. Hatta teknik işlerden hoşlanmayan ve insanlara yönelen öğrencilerimiz bile var. Mühendisler alemi öylesine büyük ki, herkesi kapsayacak kesin bir sonuç çıkarılması çok zor.

Amerika Birleşik Devletleri'nde mühendislerin yaptığı işlerin tipine ilişkin çok genel bir sınıflandırmayı, arka sayfadaki tabloda görebilirsiniz. Ama hemen belirtiyim, terimlerin anlamlarında bir görüş birliği sağlanmadıkça bu tablo doğru bir yönlendirici olmayacaktır. Ama en

azından, etkinliklerin dağılımı hakkında genel bir fikir veriyor. “Geliştirme” süreci, tasarımı, test işlemini ve yeni ürünlerin tanımlanmalarıyla ilişkili prototipleştirmeyi kapsar. Genel yöneticilikte yer alan kişilerin, finans, iş stratejisi ve insanların yönetilmesi gibi görevleri üstlendikleri açık. Eğitim ve araştırma alanındaki kişiler, matematik kuramı ve bilimle haşır neşirler. Üretimdekiler de, lehim yapma, otomobil lastiklerinin takılması ve envanter kontrol sistemleri gibi şeylere aşinadır.

Göreve bağli olarak	Geliştirme	30 %
mühendislerin	Genel yöneticilik	19
istibdamı	Üretim, teftiş	17
	Araştırma ve Geliştirme yönetimi	9
	Rapor, istatistiksel çalışma ve hesaplama	4
	Uygulamalı araştırma	4
Kaynak: Bilim ve Mühendislik	Eğitim	2
Personeli: Ulusal Bir Bakış,	Temel araştırma	0.5
Ulusal Bilim Vakfı	Diğer	15
Rapor NSF 85-302-5		

Mühendislikle hiçbir ilişkisi olmayan ve toplam mühendislerin hemen hemen % 10'luk bölümünü oluşturan kişiler, “diğer” kategorisi içinde yer almaktadır.

Bütün mühendislerin üçte ikisi, özel sektörde; % 14'ü eğitim sektöründe; % 8'i federal hükümet için; % 4'ü kâr amacı gütmeyen kuruluşlarda; % 1'i orduda; ve geri kalan % 5'i de, devlet ve yerel hükümetler için çalışmaktadır. Bu mühendislerin sadece % 5'i kadındır. Ancak, genç mühendisler arasındaki kadın oranı daha yüksektir. Günümüz mühendislik okullarındaki kadın-erkek yüzdesine baktığımızda ise, kadınların oranında dikkate değer bir artış olduğunu görüyoruz. Bütün mühendislerin yaklaşık % 60'ı lisans, % 23'ü yüksek lisans ve % 5'lik bir bölümü de doktora eğitimini tamamlamıştır. Üniversite derecesi, mühendisler için bir ilke niteliği taşıyor olabilir. Ama sanayi sektöründe mühendis olarak çalışan kişilerin çoğu, becerilerini diploma ile değil çalışma hayatında kazanırlar.

Bazı mühendisler, iş merkezlerindeki büyük odaların kendilerine tahsis edilen küçük bölmelerinde çalışırlar. Bazıları, en yakındaki in-

sandan yüzlerce kilometre uzakta tek başına çalışır. Aralarından bazıları yeni ürünler tasarlar. Bazıları da bu ürünlerin imalatını, denemesini ve teslimatını üstlenir. Ürünlerin satılması ve onarımı da, yine mühendislerin üstlendiği işlerdendir. Mühendisler için gerekli olan yeni bilgileri ve kavramları üretmeye çalışanlar da, yine mühendislerdir. Birçoğu, mühendisliğin öğretilmesiyle uğraşır. Ne var ki, mühendisler kendilerine sağlanan olanaklardan, paradan ve her şeyden çok da diğer insanlardan şikayet ederler. Çok az mühendis tek başına çalışır. Mühendislerin büyük bir bölümü ya diğer mühendislerle birlikte çalışır ya da diğer mühendislerin denetlenmesi ve yönetilmesiyle görevlendirilir.

Mühendis, bilgi, yardım ve geri besleme için diğer insanlara bağımlıdır. Mühendisliğin karmaşıklığı, kişinin gerekli bütün bilgileri tek başına denetlemesini imkansızlaştırır. Mühendisler deneyim aracılığıyla öğrenirler ve gerekli olduğunda kendilerinden daha yaşlı ve tecrübeli mühendislerden yardım isterler. İnsanlar, karmaşık sorunlarla uğraşırken görüş açılarını yitirebilir ve hatalara karşı körleşebilirler. Mühendislikte bağımsız değerlendirmeye büyük önem verilir. Ama bahsi geçen bütün bu unsurlar, insanlarla etkileşimde bulunulması ihtiyacını doğurur.

Kuruluşlarda çalışan mühendisler, pekçok başka bölümün ve etkinliğin desteğine ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyaçlar şöyle sıralanabilir: Satınalma, laboratuvarlar ve imalathaneler, kütüphaneler ve merkezi bilgisayar sistemleri, personel işleri ve hiç şüphesiz pazarlama ve imalat. Diğer insanlarla etkileşimde bulunmanın, çok önemli olduğunu birkez daha yineleyelim. Kariyerime, mekanik aletler -isterseniz makineler diyelim- tasarlayarak başlamıştım. Bu iş, prototipleştirmeyi, dolayısıyla parçaların imal edilmesini gerektiriyordu. Bir çizimi ve doğru hesaplamaları imalathaneye sunma yöntemini öğrenmem kolay oldu. Ama yine de, yapmam gereken parçaların son şeklini alması, aylarımı aldı. Benden daha yaşlı ve daha uyanık iş arkadaşlarım için yaptığım çalışmaların, kendi işlerimi böldüğünü fark etmem, utanarak itiraf etmeliyim ki, çok uzun sürdü. Daha da kötüsü, etrafımdaki makine mühendisleri, aptalca birşey yaptığım zamanlarda bile tek kelime etmiyor ve bana yol göstermiyorlardı. Evet şu gerçeği gözden kaçırmıştım: İmalathanedeki insanlar, arkadaşlarının işleri söz konusu olduğunda her zaman seçici davranıyorlardı. Bunu fark ettiğimde

kendimi bir budala gibi hissetmiştim; çünkü ben de bir imalathanede çalışıyordum ve arkadaşlarıma karşı seçici davranıyordum. İmalathanede popüler olmak için çaba gösterince yaptığım işte de, ileriye doğru bir sıçrama gerçekleşti. Yöneticilikte mühendislerin rolünü 9. Bölümde tartışacağız.

Mühendislik, bilgiye, tekniğe, sezgiye ve yargıya ilişkin çok geniş bir alanı kuşatır. Bazı mühendisleri matematikçilerden ve bilim adamlarından ayırmak zordur. Bunlar, özgün kuramlarla, güçlü bilgisayarlarla çalışırlar. Bazı mühendisler de teknisyenlere benzer. Bu tür mühendisler, uygulamacı, tecrübeye dayalı bir yaklaşımı benimserler ve neredeyse mistik denebilecek bir doğruluk algılayışına, hislerle çalışma anlayışına ve deneyime bağlı sezgiye sahiptirler. Bu nedenle, kişisel özelliklerden olduğu kadar, algıya ve kavrayışa ait tarzların çeşitliliğinden de söz edebiliriz. Mühendislik, bilimi, matematiği, ekonomiyi ve fiziksel kaynakları içerir. Bunun yanında, kişisel değer yargılarını, duyguları, sezgileri ve elbette ki şansını da içerir. Sanıldığıının tersine mühendislikte tarafsız bir anlayışın gerçekleştirilmesi hiç de kolay değildir. Çünkü bir anlayış, genellikle birşeyleri tanımlayan kişinin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla geliştirilir. Sözgelimi, basında mühendisliğin haber olmaya değer yönleri üzerinde durulur. Bize su borusu tesisatlarını ve çivileri kazandıran kişiler hakkında çok fazla şey söylenmez; ama, bilgisayarlar ve silahlar hakkında sayfalar dolusu haber yazılır. Demek ki, mühendisliğin birçok yönü medya tarafından gözardı edilmektedir. Örneğin, süreçteki belirsizliğin ölçüsü, problem tanımlamanın ve teknolojik yatırımlara sağlanan kamuoyu desteğinin dinamikleri gibi konulara değinildiğini neredeyse hiç duymayız. Ya da, bilimle mühendislik arasındaki etkileşimler gibi önemli bir konu, nadiren medya tarafından ele alınır. Bölümün başında verdiğimiz sözlük tanımının “bir bilim olan mühendislik...” gibi bir cümleyle devam edişine dikkat edin. Kitabın ilerleyen bölümlerinde göreceğimiz üzere mühendislik, klişeleşmiş bilim tanımına uymaz (Aslında bilimin kendisi de uymaz).

Mühendisliği daha anlaşılır alt gruplara ayırma çabasında çeşitli sınıflandırma kriterlerinden yararlanılır. Bunlardan bir kaçını yan ve arka sayfadaki tablolarda görüyorsunuz.

1987 yılı

Amerika Birleşik Devletleri

Sanayi

Milyar dolar
olarak

Gayri Safi

Milli Hasılasının

Dağılımı

Madencilik	85.4
İnşaat	218.5
İmalat	853.6
Dayanıklı tüketim malları	480.0
Kereste ve ağaç ürünleri	27.7
Mobilya ve boyututular	15.0
Taş, toprak ve cam ürünleri	27.5
Başlıca metal sanayileri	36.4
İşlenmiş metal ürünleri	60.3
Elektrikli olmayan makineler	81.2
Elektrikli ve elektronik cihazlar	85.0
Motorlu taşıtlar ve cihazlar	49.9
Diğer ulaşım araçları	56.0
Aletler ve ilgili ürünler	27.0
Dayanıksız tüketim malları	373.6
Tekstil ve kıyafet	42.5
Kağıt ve yan ürünleri	39.5
Kimyasal maddeler ve yan ürünleri	77.1
Petrol ve kömür ürünleri	33.6
Kauçuk ve çeşitli plastik ürünler	30.0
Diğerleri (yiyecek, tütün, basım)	151.0
Ulaşım ve kamu hizmetleri	408.2
Ulaşım	150.8
İletişim	121.0
Elektrik, gaz ve sağlık hizmetleri	136.4
Ziraat, ormancılık ve balıkçılık	94.9
Toptan eşya ticareti	313.0
Perakende eşya ticareti	427.4
Finans, sigorta ve emlak	775.4
Hizmetler	793.5
Toplam GSMH	4.526.7

Kaynak: Amerika Birleşik Devletleri İstatistik Özeti, 1990. sayfa 426

Mühendislik Alanları

Uzay ve havacılık
Tarım
Kimya
İnşaat
Bilgisayar
Elektrik
Elektronik
Endüstri
Deniz ve gemi
Makine
Metalurji ve madde
Maden
Nükleer
Petrol

Kaynak: Standard Occupational
Classification Manual,
Amerika Birleşik Devletleri Ticaret Bakanlığı, 1980

Uzay ve havacılık
Tarım
Kimya
İnşaat
Bilgisayar
Elektrik
Elektronik
Endüstri
Deniz ve gemi
Makine
Metalurji ve madde
Maden
Nükleer
Petrol

1- Mühendislik bazen sanayi kapsamında tanımlanır (elektronik mühendisliği, otomotiv mühendisliği, uzay ve havacılık mühendisliği, “yüksek-teknoloji” mühendisliği gibi). Hükümetler ve iş dergileri bu formattan hoşlanırlar. Bir önceki sayfadaki tablo, çeşitli sanayilerce yapılan işin göreceli büyüklüğüne bağlı olarak Amerika Birleşik Devletleri Gayri Safi Milli Hasılasının bir dökümünü sunuyor. Dikkat ederseniz, “yüksek teknoloji” sözünü çok sık işitmemize rağmen inşaat sanayi, elektrik ve elektronik sanayilerinin iki katı büyüklüğündedir. Mühendisliği bu biçimde tanımlamak, bazı sanayilerdeki mühendislik faaliyetlerinin (mesela uzay ve havacılık) diğerlerinden (mesela tarım) farklı olduğu sonucunu doğurmaktadır. Bu, belli bir ölçüye kadar doğrudur. Uzay ve havacılık mühendisleri, bilgisayar destekli yapısal çözümleme programlarını, ziraat mühendislerine kıyasla kesinlikle daha çok kullanırlar. Ancak, farklı sanayilerdeki mühendislik etkinlikleri arasında birçok benzerlik ve yakınlık olduğu da açıktır. Sanayiye bağlı bir sınıflandırma, istatistikle haşır neşir olan çoğu insanın düşüncesine uygundur. Bu, aynı zamanda ekonomistlerin de hoşuna gider. Buna karşın, tek başına alındığında bu tür bir sınıflandırma, bize mühendislik hakkında çok fazla şey söylememektedir.

2- Mühendislik, genellikle alanlara bölünerek alt gruplarına ayrılır (yukarıdaki listeye bakın). Çok popüler olan bu yaklaşım sayesinde kimya, makine, elektrik veya endüstri mühendisliğinden farklılaşmış bir alan olarak söz edebiliriz. Bu sınıflandırma biçimi, kendi ara-

larında genel bir ayırım yapma amacıyla mühendislik okulları, profesyonel cemiyetler ve mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer birisi bana ne mühendisi olduğumu sorarsa, “makine mühendisi” olduğumu söylerim. Soruyu soran kişi, bir mühendis ise, bu ona birşey ifade edecektir. Aksi takdirde bu ona çok şey ifade etmez. Yine de, bu sınıflandırma halk arasında yaygındır.

3- Mühendislik bazen “disiplin” kapsamında tanımlanır. Bunun örnekleri, ısı transferi, akışkan mekaniği, yapısal analiz, kontrol sistem kuramı, devre tasarımı veya katalizdir. Yukarıda 1. kategoride yer alan sanayilerin her biri, 2. kategorideki mühendislik sahaları üzerinde temellenir. Her bir saha da, çeşitli disiplinlere bağlı olarak tanımlanır. Örneğin, makine mühendisliği şu disiplinleri içerir: Isı transferi, akışkan dinamiği, mühendislik mekaniği ve tasarım. Bu disiplinlerin kendileri de birçok alt disipline ayrılır (Kinematik, kontrol kuramı, makine tasarımı, gaz dinamiği, karışık ısı transferi, sonlu element analizi gibi). Bu disiplinler ve alt disiplinler, birçok kitaba, derse, okul programına, teknik dergilere ve profesyonel karma kuruluşlara temel oluşturur. Örneğin, ısı transferiyle ilgili konferanslara ve yayınlara rastlayabilirsiniz. Bunlar, farklı alanlarda bulunan ve genel problemlerle ilgilenen insanların (makine, kimya, uzay ve uçak mühendislikleri) görüş alış verişinde bulunmalarına, teknikleri değiş tokuş etmelerine ve yeni yaklaşımları öğrenmelerine olanak tanır.

4- Mühendislik bazen, teknolojik yatırımlarda sürdürülen etkinliklere göre tiplerine ayrılır. Bu tür etkinlikler, örneğin araştırma-geliştirme, tasarım, imalat, işletme, bakım-onarım ve hatta pazarlama gibi görevlerden oluşur. Bu bölümün sonuna doğru ve kitabın diğer bölümlerinde bu sınıflandırma hakkında daha fazla şey söyleyeceğiz. Bu sınıflandırma, basit olmasına karşın oldukça faydalıdır. Çünkü mühendisin yaptığı işlerdeki çeşitliliği oldukça iyi yansıtır.

5- Mühendislik, belirli tip bir ürünle ilişkilendirilerek de sınıflandırılabilir. Entegre devre mühendisliği, uzay gemisi mühendisliği, lazer mühendisliği veya çim-biçici mühendisliğini buna örnek gösterebiliriz. (Çim biçici, görünüm ekranında oluşan “çimeni” azaltan ya da yok eden radar gürültü sınırlayıcısının halk dili terimidir.) Bu yaklaşım, basında ve halk arasında popülerdir. Çünkü mühendisliği,

insanların aşına olduğu bir ürünle birleştirerek tanımlar. Eğer insanlara soğutma mühendisi olduğumu söylersem bunu anlamakta sıkıntı çekmezler. Zira, soğutucuların ne olduğu ve ne işe yaradığı hakkında genel bir bilgiye sahiplerdir. Ama yine de, buz kalıplarının mı, binaların mı, yoksa roket yakıtlarının mı sıcaklığını azalttığımı bilmezler. İtiraf etmek gerekirse, aslında ne yaptığım konusunda, tam olarak hiçbir düşünceleri yoktur. Bir entegre devre mühendisinin, silikonun mekanik özellikleri, tortulaştırma ve foto-aşındırma ile ilgili işlemler hakkında çim-biçici mühendisinin bildiğinden daha fazla şey bilmesini bekleyeceğimiz doğrudur. Ama, üretim çizgilerindeki değişikliklere rağmen her iki mühendis de, işlerinde ortak yönellimlere sahiptir.

6- Mühendislik, endüstriyel süreç kapsamında da tanımlanabilir. Kaplama mühendisliği, ses-ötesi mühendisliği, tahribatsız test mühendisliği, rafineri mühendisliği, difüzyon mühendisliği veya düz-işlem mühendisliği hakkında birşeyler işitmiş olabilirsiniz. Bu sınıflandırma, ürüne bağlı sınıflandırmaya göre biraz daha fazla uzmanlık gerektiriyor. Mühendisin tam olarak ne yaptığını anlayabilmemiz için süreç ve sürecin gerçekleştirildiği ortamı anlamamız gerekir. Eskiden çalışmış olduğum bir kuruluş, üniversiteden test mühendisi olarak mezun olmamış mühendisleri işe alıyordu. Bu mühendisler zamanlarını birşeyleri test etmekle geçirmediikleri gibi kendileri de test edilmiyorlardı. Kuruluş, test mühendisliği ünvanından hoşnut görünüyordu; ama bu ünvan, mühendislerin yaptığı işi tanımlama açısından hiçbir değer taşımıyordu. Eğitimlerini belgeleyen diplomaların bulunmayışını hesaba katmadığımızda(!) bu test mühendislerini, diğer mühendislerden ayırt etmek olanaksızdı. Sonuçta, şirket bu oyundan sıkıldı ve onları “sade” mühendis olarak yeniden sınıflandırdı.

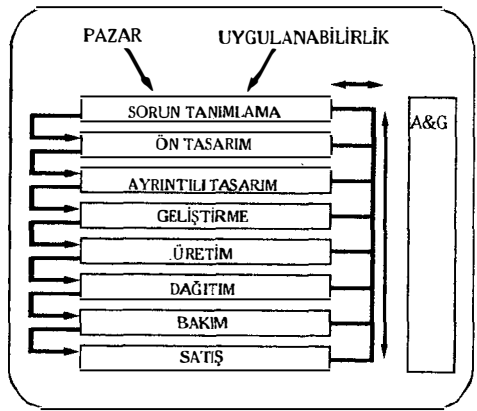
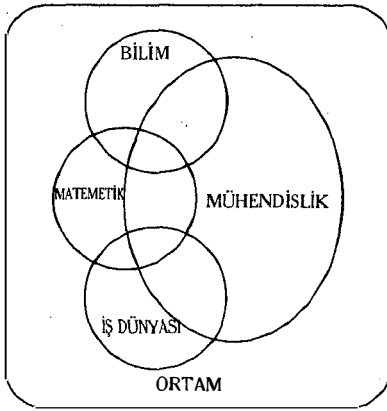
7- Mühendisleri sınıflandırmanın bir yolu da, mühendislere verilen sorumluluk ve hizmet verilen bölümler arasında bir ayrım yapmaktır. Bunun örnekleri, tesis mühendisleri (fiziksel tesisten sorumludurlar), şehir planlama mühendisleri (şehirle ilgili rapor hazırlarlar), ordu mühendisleri (ordunun bir koludur) veya hava kirliliği kontrol bölge mühendisleridir. Bu tür bir sınıflandırma bize mühen-

dislerin sorumlulukları hakkında bazı şeyler açıklar; ama yine de, mühendislerin gündelik etkinlikleri hakkında çok şey söylemez.

8- Bazen de yararlanılan problem çözme biçimlerine göre bir ayırım yapılır. Bunun örnekleri ise, deney mühendisleri, mühendislik analizi, yaratıcı mühendislik ya da değerlendirme mühendisleridir. Bu tür bir yaklaşım yaygın olarak kullanılsa bile, bu kitapta ara sıra bu yaklaşımdan yararlanacağım. Çünkü bu yaklaşımın, mühendislik sürecinin farklı aşamalarında yer alan mühendislerin aklından geçenleri anlamamıza yardımcı olacağına inanıyorum. Mühendisleri sınıflandıran bu yaklaşımların hepsi de, belli bir değere sahiptir. Ve birarada ele alındıklarında, bize mühendislik süreci hakkında çok şey söylerler. Ama tek tek ele alınacak olurlarsa fazla açıklayıcı olmayacaklarını söyleyeyim. Basit bir şema kullanarak mühendisliğin tanımlanması mümkün değildir. Mühendislik karmaşık bir alandır ve anlaşılabilmesi için çok boyutlu bir haritaya ihtiyaç duyulur. Mühendisliği açıklamaya çalıştığımda, genellikle arka sayfadakine benzer şekiller çizerim. Böyle şekiller, 1950'lerde çok yaygındı. O zamanlarda insanlar, daha sonra adlandırıldığı şekliyle 'mühendisliğin anatomisi ve morfolojisini' merak ediyorlardı. Bu şekiller, açık basitleştirmelerdir belki; ama en azından, iki boyutlu ve kullanışlıdır. Çünkü bir peçetenin üzerine bile çizilebilirler ve bunları düşünmek kronik sinir hastalıklarına yol açmaz. Daha da önemlisi, mühendislik açısından temel olan birçok çalışma içerirler. Kitabın ilerleyen bölümlerinde bunlara ayrıntılarıyla değineceğiz.

Mühendislik, bilimle, matematikle ve iş dünyasıyla içiçe geçmiştir (ki bunları mühendisliğin ortamı olarak adlandırabiliriz). Bu ortam, fiziksel ve toplumsal bileşenlerden oluşur. İnsanlar genellikle, mühendisliği diğer etkenlerden yalıtarak tartışma eğilimindedir; ama nedense, alanın tek başına varolamayacağını unuturlar.

Mühendislik, oldukça karmaşık ilişkiler içeren farklı işlevlere bölünmüştür. Bunlar, birçok kişinin iddia ettiği gibi, belirli bir düzen içinde gelişmezler⁽²⁾. Mühendislik bir yineleme sürecidir ve daha önceki bir aşamaya geri dönülmesi alışılmadık bir durum değildir (en azından kimsenin istemeyeceği bir durum değildir) ve birçok aşama, birbirine paralel gelişir.



Her ne kadar kitabın büyük bir bölümü, yukarıdaki diyagramı daha iyi açıklamaya yönelik olsa da, mühendisliği en sona bırakarak burada gördüğünüz bileşenlerin her birinden kısaca bahsedelim. Daha sonra, diyagramdaki alanların birbirleriyle nasıl etkileşimde bulunduklarını anlamak için özel bir durumu -bilgisayarlaştırılmış tomografinin geliştirilmesi yani, CT taramayı- ele alacağız.

Bilim

Bilim ve mühendislik birbirleriyle yakından ilişkili; ama kesin olarak farklı alanlardır. Son bölümde tartışacağımız üzere, bilim ve teknoloji, tarihin büyük bir bölümünde birbirinden bağımsız olarak gelişmiştir. İlk kez ilişkiye girdiklerinde ise bilim teknolojiyi izlemiştir. Sözgelimi, Torricelli, maden pompalarından esinlenmişti ve termodinamik, buhar makinesinin sonucu olarak ortaya çıkmıştı. Bilimin teknolojiye öncülük ettiği düşüncesi oldukça yeni bir anlayıştır. Son yıllarda gerçekleşen tartışma götürmez bilimsel keşifler (lazerler, nükleer füzyon ve fizyon, transistörler, DNA'nın yapısı ve işlevi), teknolojik gelişmelere temel teşkil etmektedir. Bunun içindir ki insanlar bugün, tanımlı gereği teknolojinin, bilimin uygulamaya geçirilmesi olduğuna inanıyorlar. Aslında, teknolojik etkinliklerin çoğu, sadece son bilimsel keşifler

üzerinde temellenmemiştir. “Yüksek” teknoloji, ortalamadan daha yüksek bir bilimsel keşif uygulaması içerir. Ama yüksek-teknoloji şirketleri, iyi tasarım yapma kabiliyetlerine, verimli üretim yeteneklerine ve iş dünyasında başarılı bir rekabet sergilemelerine bağlı olarak hayatta kalır ya da hayata veda ederler. Bütün bu etkinliklerde ise, bilimin yanı sıra başka şeylerden de yararlanılır. Halis bilim adamlarının etkinliklerinin çoğu (örneğin, kozmolojik modellerin tasarımı ve atomla ilgili tanecekler kuramı gibi), hiçbir teknolojik uygulama içermez. Mühendisliğin önemli bir bölümü (sanayi sektöründe yapmış olduğum keyifli işlerin çoğu da dahil olmak üzere), bilime belli belirsiz ihtiyaç duyar.

Mühendisler çalışmalarında, kuram ve deneyin kullanıldığına işaret eden “bilimsel yöntem” olarak adlandırılan bir yaklaşıma başvururlar. Bu yöntem, mümkün olan bütün durumlarda niceliğin saptanmasına ve doğru kayıtların tutulmasına yönelik bir çaba içerir. Böylece, deneylerin tekrarlanması ve sonuçların doğruluğunun ispat edilmesi olanaklı hale gelir. Mühendisler, akademik eğitimden geçerken, bilim alanında uzmanlaşacak kişilerle aynı giriş derslerini almak zorundadırlar. Bunun yanı sıra, aynı formal bilimsel tekniklerden bazılarını öğrenirler. Mühendis olarak bilinen bazı kişiler, aslında bilimsel çalışma yaparlar (özellikle de ödüllerin, mühendislik yerine bilim uygulayarak daha kolay kazanıldığı akademik kuruluşlarda).

Ancak, halis bilim adamlarının motivasyonları, uygulamada bulunan mühendislerinkinden önemli ölçüde farklıdır. Halis bilim adamları, olguları anlamaya yönelik güçlü bir istek duyarlar. Ortaya çıkardıkları ürünler, yayınlanan bilgilerdir; izleyicileri ve yargıçıları ise meslektaşlarıdır. Bilgilerinin uygulanmasıyla ilgilenmek zorunda değildirler. Başlıca ödülleri, düşünsel başarılar, toplumun takdiri ve bunlara eşlik eden maaştır. Kâr amacı güden şirketlerin maaş bordrolarında, halis bilim adamlarının isimlerine rastlamak alışlagelmiş bir durum değildir. Ancak, endüstri laboratuvarlarını bunun dışında tutmamız gerekir. Buna karşın, bilim adamlarının etkinlikleri, her nasılsa bu laboratuvarlarda bile akademik kuruluşlarda olduğundan daha fazla kısıtlanmaktadır. Çünkü kâr amacı güden kuruluşlar sonuçta, kendi işleriyle bağlantılı bilginin peşindedirler. Mühendisler ise, tam tersine, problemleri belirli bir program ve bütçe içerisinde

başarılı bir şekilde çözmeye yönlendirilirler. Makroskobik davranışa neden olan mikroskobik olguları anlamaya çalışmaları gerekli olabilir. Ama anlasalar da anlamasalar da işlerini tamamlamak zorundalardır. Mühendisler genellikle şirketler için çalışma eğilimindedirler, ödülleri de, terfiler, ikramiyeler ve bir işi iyi yapmanın verdiği tatminlerdir. Genel literatürde mühendislere ait az sayıda yayın bulunur. Özel sektör ve savunma sanayî, rekabete dayanan avantajlar veya ulusal güvenlik gibi nedenlerle bu tür etkinliklerde bulunmamaları için mühendislerin cesaretini kırmaktadır. Halis bilim adamları ve mühendisler arasındaki bölünmezlikte bir ara kategoriye rastlarız: "Uygulamada bulunan" bilim adamları ve "araştırma" mühendisleri. Uygulamada bulunan bilim adamı, sanayi sektöründe çalışan çoğu bilim adamını kapsayan bir terimdir. "Araştırma mühendisi" ise, eğitimlerini çeşitli bilim alanlarında tamamlamış olan mühendisleri ifade eder.

Bilimin teknoloji alanındaki merkezi konumunun bu şekillerde inkar edilmesini, bilimin mühendislik açısından fazla önemli olmadığı şeklinde yorumlamamak gerekir. Sadece, mühendisliği bilimin bir tür alt kümesi olarak düşünmeye yönelik yaklaşımlara karşı çıkmak adına bu tür reddedişlere yer verdim. İdeal olarak, bilim ve mühendisliğin birbirinden ayrılması zorunlu değildir. Buna karşın, ayırım yapmakta ısrar edersek, her birine kendi kimliğini verecek denli tutarlı olmamız gerekir. Bilim, modern mühendislik için kesinlikle çok değerlidir. Mühendisler ise, bilim adamlarının kullandığı düşünsel yaklaşımların aynılarını kullanırlar. Bu arada, mühendislikteki kuramsal kavramların büyük bir bölümü bilimden alınmıştır ve alınacaktır da. Ayrıca, olguları anlamaya yönelik bilimsel anlayış da mühendislik açısından büyük bir önem taşımaktadır. Elbette mühendislik de, bilimi güçlü biçimde etkilemektedir. Bilimin hiçbir dalı, gelişkin gözlemlerden, ölçüm aletlerinden ve deneysel verilerin bilgisayar değerlendirilmesinden yoksun değildir. Bunlara ek olarak şunu da belirtmemiz gerekir: Mühendislik etkinlikleri, çoğunlukla cehalet alanlarını aydınlatmakta ve dikkate değer hal ve hareketleri açığa çıkarmaktadır. Katı hal elektronığının geliştirilmesi, bilimsel bilginin mühendislik açısından ne denli önemli olduğuna ve mühendislik

etkinliklerinin bilimsel araştırmalara odaklanma ve bunları y nendirme eğiliminde olduğuna m kemm l bir örnektir.

Matematik

Matematik, bilim ve teknolojinin kuramsal dilidir. Bunun yanında, belki de, bilim ve teknolojiyi anlayanın en büyük engeli, yine matematiktir. Herkesin matematikle bir şekilde ilgisi olmasına rağmen çok az kişi, matematiğe ilişkin gelişkin bir anlayışa sahiptir. Kendilerine şans verilecek olursa çoğu kişi, matematikten tamamen uzak duracaktır. Mühendislerin nicelik kapsamında düşünmeleri, matematiğin mühendislikte önemli bir yeri olmasının tek nedeni değildir. Matematik, fiziksel ilişkilere ait bir modelleştirmeyi de olanaklı kılarak, analiz, optimizasyon ve tahmin yapılmasını sağlar. Matematik, mühendisi teknisyenden ayıran düşünsel alet  antasıdır. Uçaklar, yüksek-hızlı yazıcılar ve petrol rafinerileri tasarlamak için gerekli uzmanlık düzeyi açısından vazgeçilemez bir araçtır matematik. Otomobil krikoları ve sa  kurutma makinelerin tasarımında ise daha az gereklidir.

Mühendislerle halis matematikçiler arasında da derin bir uçurum bulunur. Matematikçiler, düşünsel bir düzen bulma peşindedirler. İlgileri ise, yeni kavrayışlara yöneliktir. Zarafet,  zen ve g z ll k gibi kimi estetik değerlendirmelerle güdülenir ve y nledirilirler. Onları değerlendiren ve yargılayanlar ise kendi meslektaşlarından oluşan gruplardır. Matematiğin büyük bir bölümü, başarıyla uygulamaya geçirilmiştir. Ama uygulamaya geçirilme özelliği, motivasyona ilişkin olarak bir etkinliğin başlangıç aşamasında bulunması gereken birincil koşul değildir.

Matematik ilerle mühendisler arasında da bilimdekine benzer bir ara zemin vardır ve burada uygulamacı matematikçiler bulunur. Bu tür matematikçiler, matematik kökenli veya mühendisliğin bir alanından ve hatta bilimin bir dalından yetişmiş de olabilirler. Nispeten daha kuramsal olan mühendisler ise yüksek bir matematiksel uzmanlaşmaya sahip olabilirler. Buna karşın çoğu mühendis, matematiği, araç olarak kullanır. Matematiği takdir edebilir ve hatta onunla  alış-

maktan büyük zevk alabilirler. Ama mühendisler için matematiğin asıl değeri, kendilerine sağladığı güçtür; yoksa onun doğasındaki güzelliğin peşinde değildirler. Yüksek lisans öğrencisiyken bu acı gerçeği öğrenmiştim. Caltech ve Stanford'da birçok matematik dersi almıştım. Notlarım her zaman yüksekti ve dönem sonunda hep üst sıralarda yer alıyordum. Bu nedenle de kendimi gerçek bir matematikçi olarak görüyordum. Okuldayken en son aldığım matematik dersinin konusu, varyasyonel hesaptı. Bu dersi almamın nedeni, dersi veren öğretmenin matematikçi arkadaşlarım arasında bir efsane olarak görülmesiydi. En etkileyici dersler bu öğretmenin verdikleriydi; ama nedense, sınavlarda çok düşük notlar almaya başlamıştım. Bir türlü anlayamadığım şeyse, her seferinde “doğru” yanıtları bulmuş olmama rağmen aldığım notların düşük olmasıydı. Aldığım düşük notlarla birlikte sınav kağıtlarımın yanına “zarafetsiz”, “özensiz” ve “çirkin” gibi eleştiriler bulunuyordu. Gerekli olan güzelliği yakalamayı öğrenmek yerine, mühendisliğime yakışır bir davranışla dersi bıraktım!

Matematik, modern mühendislikte temeldir. Elbette, tabii bilimler için de öyledir. Fizikte, kuram genellikle matematiksel bir ilişkiye dayandırılır. Bu, evrenin doğası ve kökeniyle ilgili bir bilim dalı olan kozmoloji gibi alanlarda da kısmen böyledir. Benzetim aracılığıyla evrenin doğuşunun yeniden gerçekleştirilmesine veya kara delikteki koşulların yaratılmasına yönelik deneyler yapmak mümkün değildir. Gözlemlenen astrofiziksel olgulara uygun matematiksel modeller, kozmologların evrenin tasarımı hakkındaki inanışlarına temel teşkil eder. Kısacası matematik, kimya ve canlı organizmalarla uğraşan bilimler için giderek daha önemli hale geliyor. Ayrıca, matematiğin iş dünyasındaki uygulamaları da artıyor.

İş

İnsanları işe almak, eğitmek ve yönetmek, işi ve kaynakları kontrol etmek, neredeyse teknoloji tabanlı bütün kurumlar için zorunludur. Özel şirketler, kârı, hissedarların sorumluluğunu ve yatırımları hesaba katmak zorundadır. Kamu kuruluşları ise kamuya karşı so-

rumludur. Teknoloji, genellikle önemli ölçüde kaynak desteği gerektirmekte ve çok fazla sayıda insan içermektedir. Bu nedenle, iş değerlendirmeleri bu sürecin ayrılmaz bir parçası olarak görülür. İşlerini rayına oturtmuş teknoloji tabanlı bir şirkette pazarlama, işletme ve maliye gibi işlevlerin mühendislikten ayrı tutulması çok zordur. Ürünleri gelişkin teknolojiyle ilişkili olan kuruluşlarda mühendislik kökenli kişileri, genel yönetici konumunda görmek şaşılacak bir durum değildir. Genç mühendislerin çoğu, iş dünyasının kısıtlayıcılığına karşı bir tiksinti duyduklarını söyler; ama bu tiksintiyi gerçekten hisseden kişiler bile sonunda kendilerini, kariyerleri boyunca yapabilecekleri şeylerle kısıtlanmış bulurlar.

Ortam

Mühendislerin içinde bulunduğu ortam nedir? Düşünceler, çoğunlukla doğal veya fiziksel ortam üzerinde yoğunlaşır. Geçtiğimiz kırk yıl boyunca, özellikle de son yirmi yılda, doğa olarak adlandırdığımız şeyin göreceli kırılganlığının fazlasıyla farkına vardık. Materyalist isteklerimize daha iyi hizmet etmesi için teknoloji aracılığıyla doğayı değiştirdik; ama böyle yaparken de, onu bugün üzüleceğimiz denli hırpaladık. Ne var ki, kaygılarımız sadece estetik nedenlere dayanmıyor. Kendi sağlığımızı ve ömrümüzün uzunluğunu tehlikeye atan faktörler de bizi endişelendiriyor. Mühendisler artık sadece geçmişte verilen hasarları telafi etmenin yollarını bulmaya çalışmıyor, gelecekteki zararları önemli ölçüde azaltabilecek yolları da araştırıyorlar. (Geçenlerde, gazetelerden birinde okuduğum bir makede sera etkisiyle mücadele etme konusunda çeşitli mühendislerden alınan on farklı öneriye rastlamıştım. Sera etkisi, havadaki karbon dioksit miktarının artması sonucu atmosferin ısınmasıdır. Görüşü alınan mühendislerden özellikle bir tanesi dikkatimi çekti. Bu mühendis, dev bir uçağın güneş radyasyonunun yoğunluğunu azaltacak maddeler serpmek üzere harekete geçirilmesini öneriyordu. Güneş radyasyonunun yoğunluğu yeterince azaltılırsa, sera etki-

sinin neden olduğu atmosfer ısınması dengelenmiş olacaktı. Çözüm oldukça sağlıklı görünüyordu).

Mühendisliğin işlerlik göstermek zorunda olduğu asıl ortam, fiziksel ortam değil, insanlardan oluşan ortamdır. Çevreyi mahveden ürünlerin ve hizmetlerin ortaya çıkma nedeni “insanların” arzularıdır. Fiziksel çevre için daha çok kaygılanmamıza neden olan da yine insanların arzularıdır. İnsanlar, teknolojinin ürünlerinin alıcılarıdır, ve bu satın alma gücü, teknolojinin yönelişleri lehine oy kullanır. Teknolojiyle ilgili yasal düzenlemeler yapılmasına yönelik çabaların artışı, insanların teknolojinin toplumsal ve kültürel değerlere uygun olmasını istediklerini kanıtıyor (Bunu 10. Bölümde tartışacağız).

Mühendislik

Mühendislik sürecinin başlayabilmesi için öncelikle bir isteğin bulunması gerekir. Daha sonra, bu istek bir probleme indirgenir. Problemlerin mühendisler tarafından tanımlandığı ve didiklendiği süreç, önemli ve belli ölçüde de esrarengiz bir süreçtir. Bu sürece, 3. Bölümde değineceğiz. Ne var ki bu süreç, sadece makul bilgiye erişilebildiği ve sonucu isteyen bir kişi bulunduğu sürece başarılı olur (Makul bilgidен kastım şu: Bugünlerde yerçekimine karşıt çalışmalar yapmak pek de eğlenceli olmasa gerek). Tablolarda bunlardan teknik fizibilite ve pazar olarak söz edilmişti. Problem tanımlandıktan sonra, bazen “ön tasarım” olarak da adlandırılan bir etkinliğe girilir. İlk önce, problemi çözmeye yönelik farklı yollar aranır ve daha sonra bu yollar birbiriyle karşılaştırılır. Sürecin sonuna doğru, hangi tasarımın gerçekleştirileceğine karar verilir ve ürünün ayrıntılı konfigürasyonu tanımlanır. Bu genellikle (ve yanlışlıkla) mühendisliğin yaratıcı evresi olarak görülür (Yanlışdır çünkü yaratıcılık, mühendisliğin bütün aşamalarında gereklidir).

Ön tasarım geliştirilerek ayrıntılı tasarım oluşturulur. Ayrıntılı tasarımda ürün, son şeklinde ve eksiksiz biçimde tanımlanır. Bu demektir ki ürünün her bir parçası üretilebilecek biçimde gösterilme-

lidir. Tabii ki, bu parçaların birleşmesiyle ortaya çıkacak bütünün, dengeli ve tamamlanmış bir ürün oluşturmada da gereklidir. Bu süreç, ürünün olduğu kadar malzemelerin, bu malzemelerin şekillen- dirilebileceği yolların ve montaj tekniklerinin anlaşılmasını da gerektirir. Ayrıntılı tasarım, tarihin bir döneminde, imalathanelerde ve laboratuvarlarda yapıyordu. Kullanılan yöntem ise, genellikle deneme ve yanılma oluyordu. Bugün ise, tasarımların çoğu kağıt üzerinde veya bilgisayarda yapılıyor. Bir ürünün her bir parçası, malzemeye, şekle, büyüklüğe, ilgili imalat ve montaj süreçlerine bağlı olarak eksiksiz biçimde belirleniyor. İnsanlar ne kadar zeki ve bilgili olursa olsun, bir ürün ilk kez üretildiğinde genellikle beklenen sonucu vermez. Bazı kusurları veya noksanları olabilir; performansı arzu edilenden daha az (veya daha fazla) olabilir (Büyük olasılıkla, maliyeti yüksek olacaktır, muhtemelen de beklenmedik bir nedenle bozulacaktır). Prototip ürünler, bazen “geliştirme” olarak adlandırılan bir çalışmayla müşteriye ve üreticiyi tatmin edecek işlevsel ve ekonomik düzeylere getirilirler. Tatmin edilecek kişinin kim olduğu o denli önemli değildir. Mühendisler, bu süreci iyi bilirler ama süreç, alanın dışındaki kişiler için çok şey ifade etmez. Bu süreç fazla kamusallaştırılmamıştır. Çünkü insanların hata yapabileceklerinin, yapılan işlerin ve ürünlerin başarısızlığa uğrayabileceğinin ve bilgilerin mükemmel olmadığının görülmesinden ne mühendisler ne de müşteriler hoşlanır. Geliştirme süreci, test ve ölçüm işlemlerinden ve diğer tekrarlanan yöntemlerden fazlasıyla yararlanır.

Tasarım gibi geliştirme süreci de, farklı mühendislik alanlarında fazlasıyla çeşitlilik gösterir. Sözelimi, mikro elektronik gibi bilimsel tabana doğrudan dayalı alanlarda kuram, problem kaynaklarının saptanması ve değişimlerin tanımlanması aşamalarında çok yardımcı olur. Makine tasarımı gibi diğer alanlarda ise, kuram yetersiz kaldığı için geliştirme genellikle zorunlu olur. Örneğin, hiçbir fizik yasası, nesnelerin yıpranmadan önce ne kadar dayanabileceklerini tahmin etmemize olanak tanımaz. Bunu öğrenmek için prototiplerin yapılması ve bu prototiplerin denenmesi gerekmektedir. Mühendisliğin bu aşaması, bahsedilmeye değer; çünkü giderek daha çok sayıda insan, mühendisliğin hayali beklentilerine hizmet ediyor gibi görünüyor. Bu

insanlar, belirli bir çalışma programı ve bütçe çerçevesinde olağanüstü gelişmiş teknolojik ürünlerin üretilebilmesinin mümkün olduğuna inanmak istiyorlar; ve bunları, en baştan itibaren mükemmel biçimde çalıştırabileceklerini düşünüyorlar. Stratejik Savunma Girişimi (Yıldız Savaşları) bunun son örneklerinden. Deneyimli kişiler, tam-ölçekli deneme sistemleri olmaksızın istenilen güvenilirliğe ulaşmanın ve böyle bir sistemi çalışır hale getirmenin imkansız olduğunu belirtiyorlar. Buna karşın, hükümet ile birçok kamu sektörü ve sanayi, bu konudaki iyimserliğini sürdürüyor. Yazık ki, benim kişisel deneyimim bu iyimserliği onaylamama izin vermiyor.

Mühendisliğin bir sonraki aşaması üretimdir. Bu, çeşitli işlemlerden geçirilen tasarımın müşteri için işler hale getirildiği süreçtir. Üretilen ürün sadece bir tane olabilir (örneğin, Golden Gate Köprüsü), az sayıda olabilir (uzay mekikleri), çok sayıda olabilir (Cadillaclar) veya insanı hayrete düşürecek kadar çok olabilir (paket lastikleri gibi). Eğer bir ürünün iyi üretilmesi isteniyorsa, üretim değerlendirmelerinin, ön tasarım ve ayrıntılı tasarım aşamalarına dahil edilmesi gerekir. Bu unsur, Amerikan sanayicileri açısından uzun bir süre belirsizliğini korudu. Bugünse yabancı rekabet, Amerika Birleşik Devletleri'ni üretim değerlendirmelerini tasarım sürecine daha etkin biçimde dahil etmeye zorluyor. Mühendislik okullarının üretim konusunda nispeten zayıf olması her zaman sorun yaratmıştı; ama artık bu durum değişmeye başlıyor.

Üretimden sonra, ürünün belli ölçüde de olsa tüketicilere dağıtılması zorunludur. Golden Gate Köprüsü ve hatta uzay mekikleri söz konusu olduğunda bu kolaydır; çünkü sadece ulaşımı ve insanları gerektirmektedir. Öte yandan, Cadillaclar veya paket lastikleri gibi ürünler söz konusu olduğunda ise, pazar, lojistik ve pazarlama çabasıdan oluşan bir ağ gereklidir. Çünkü ürünün müşterilere teslim edilmesinden sonra bakım, onarım ve hizmet gibi taleplere karşılık verilmelidir. Tüketicinin bu talebi, ürünün sadece tasarım ve üretim süreçleri boyunca güvenilirlik ve sağlamlık açısından denenmesiyle sınırlı kalmaz. Ayrıca, bakım onarım kapasitesinin de, müşteri açısından kabul edilebilir biçimlerde sağlanmasını zorunlu kılar.

Mühendislik ürünlerinin ve yan ürünlerinin kullanım sonrasın-

da yok edilme aşaması da, çevresel ve ekonomik nedenlerden ötürü giderek daha önemli bir konu olmaya başladı. Paslanmayan bira kutularıyla çöplüğe dönen kırların, sanayi atıklarıyla kirlenen su kaynaklarının ya da yakıldıklarında kanserojen maddeler yayan ve bakterilerle ayrışamayan plastiklerin farkına varmış bulunuyoruz. Mühendislik, ürünlerin kullanıldıktan sonra nereye atıldığını da düşünmeye mecbur kalıyor artık.

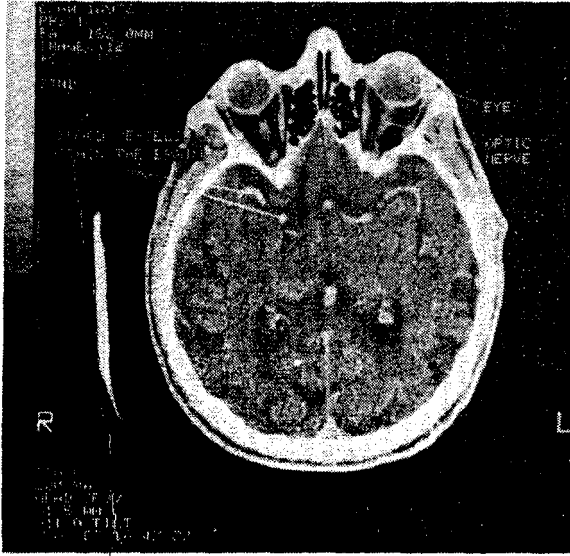
Mühendisliğe ilişkin bu kısa değerlendirmenin son konusu, araştırma ve geliştirme bir başka deyişle yeni bilgi ve ürünleri üretmek için özel olarak sürdürülen soruşturma. Bu süreç, mühendislikteki temel işlemlerden birisidir ve büyük ölçüde diğer bütün etkinliklerin de sınırlarını belirlemektedir. Bu süreç, bugünlerde çok fazla dikkat çekiyor, çünkü Amerika Birleşik Devletleri giderek araştırma ve geliştirmedeki öncü rolünü kaybediyor. Yatırım için belki hâlâ diğer uluslardan çok daha fazla para harcıyoruz; ama kişi başına düşen rakam azalıyor. Ayrıca, daha sonra tartışacağımız üzere, ülkemizdeki araştırma ve geliştirme çalışmalarının çoğunu, ordu için yapılan çalışmalar oluşturuyor. Oysa Japonya ve Almanya gibi ülkelerde bunun tersi bir durum söz konusu. Askeri araştırmanın, uluslararası rekabet üzerinde yeterince büyük bir etkiye sahip olmadığını hızla öğreniyoruz. Ekonomi, rekabet edebilme kapasitesinin temel koşuludur. Bu gerçeği fark etmemiş olmamız, mühendislik çalışmalarının ekonomiyi geliştirmeye yönelmesine neden oluyor. Mühendislik sürecinin yukarıdaki gibi sınıflandırılması bir tür basitleştirme olabilir. Ama bu sayede, belli ölçüde de olsa mühendisliği düzenli bir kapsamda tartışabileceğiz. 44. sayfadaki şekilde ayrı olarak gösterilen etkinlikler kesinlikle birbirlerinden kopuk değildir; daha yerinde bir deyişle, bir zinciri oluşturan halkalara benzerler. Mühendislik projelerinin, bu diyagramın dışına çıktığı örneklerle de rastlayabilirsiniz. İş dünyasının bakış açısıyla birşey ifade etmeyen, bilimle hiçbir ilgisi olmayan veya çevreye zarar veren ürünlere rastlayabilirsiniz. İmalathanelerde üretildikten sonra kağıt üzerine geçirilmiş ürünlerle karşılaşmanız da mümkündür. Eksiksiz olarak tasarlanan, ama sadece atılmak üzere imal edilen ve daha sonra bütün sürecin yeniden başlatıldığı ürün örnekleriyle de karşılaşabilirsiniz.

Mühendislik sürecinin farklı aşamalarının kesişmesi ve her bir aşamanın diğerlerinin izlerini içermesi hemen her zaman olan bir durumdur.

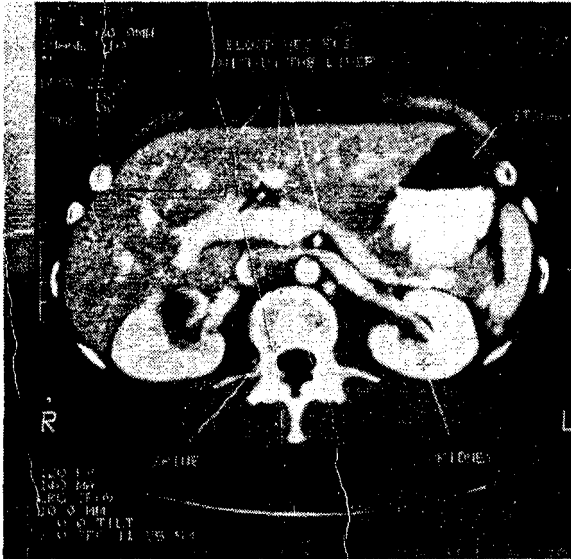
Bir Örnek-CT Tarama

Şimdi CT taramanın (ya da eskiden kullanıldığı adıyla CAT tarama) gelişimini kısaca gözden geçirelim. Bugün yaygınlaşmış, güçlü ve pahalı bir tıbbi teşhis yöntemi olan CT tarama, henüz özetlemiş olduğumuz karşılıklı ilişkilere iyi bir örnektir⁽³⁾. CT (*Computerized Tomography*), bilgisayarlaştırılmış (veya bilgisayar-destekli) tomografi anlamına gelir. Hasta, çok ince bir X-ışınına değişik açılardan maruz bırakılır. Böylece elde edilen veri, bir filme aktarılmak yerine bilgisayara yüklenir. Daha sonra, bilgisayar hastaya ait resimler çıkarır. Bu çalışmanın pek çok yararı vardır. Bilgisayar, hastanın bedeninde istenilen herhangi bir yerin herhangi bir noktasının ara kesitlerine ait resimler üretebilir. Elde edilebilir ayırışma, tek bir X-ışını kaynağı veya filmle elde edilebilecek ayırışmayla karşılaştırıldığında olağanüstü yüksektir. Çünkü bilgisayar, istenilen özelliği çoğaltabilir, “kontrast” yaratabilir; hiç olmadı, şekli manipüle edebilir. Yandaki örnek resimlerde, bir CT tarama sonucu alınan kafa ve karın bölgelerinin kesitlerini görüyorsunuz. Optik sinire, beyindeki beyaz ve gri madde tanımlarına ve omurga yapısının ayrıntısına dikkat edin. CT, ayrıca, doktorun doku yoğunluğundaki çok ufak farklılıkları görmesine de olanak tanıyor ve böylece tümörler ve diğer istenmeyen değişiklikler erken teşhis edilebiliyor.

CT tarayıcı, Röntgen ışınlarını temel alarak geliştirilmiştir. Wilhelm Roentgen, 1895 yılında, daha sonra katot ışınları (bugünse elektronlar) olarak adlandırılacak şeylerin hareketleri üzerine çalıştığı sırada X-ışınlarını keşfetmişti. Aslında, fizikçi J.J. Thompson, katot ışınlı tüpten belirli bir uzaklıkta tutulan cam tüplerin de aynen tüpün kendisinin yaptığı gibi floresan yaydığının farkına varmış ama, bunun nedenini araştırma ihtiyacı hissetmemişti. Roentgen, reaksiyon nedenlerini yalıtma amacıyla katot ışınlı bir tüpü siyah



Kafa



Karın

Kafa ve karın bölgelerinin CT taramaları. Bu resimler, *General Electric CT9800 Quick Sistemi* tarafından üretildi.

kağıtla kapladı ve cam tüplerin floresan yaymağı sürdürdüğünü gördü. Kısacası, X-ışınlarını keşfetmişti.

Roentgen'in keşfi, bilim adamlarının X-ışınlarının, aynen gözle görülebilir ışık gibi, elektromanyetik ışımlar olduğunu anlamalarından yıllar önce gerçekleşmiştir. Ancak, X-ışınları ile gözle görülebilir ışık arasında kimi farklılıklar da bulunur. Mesela, X-ışınları çok daha kısa bir dalga boyunun veya daha yüksek frekansların elektromanyetik ışımlarıdır. Roentgen'in keşfi sırasında, kuantum fiziği henüz ortaya çıkmamıştı ve bilim adamları, hızlandırıcı veya yavaşlatıcı yüklü parçacıkların elektromanyetik ışıma yaydıklarını henüz farketmemişlerdi. (Aynı süreç, bir radyo anteninden radyo dalgaları üretir. Keza bunlar da elektromanyetik ışımlardır; ama daha uzun bir dalga boyunun ışımlarıdır). Roentgen'in kullandığı tüpte elektronlar, yaklaşık olarak 10,000 voltla hızlandırılıyorlardı. Bakır bir yüzeye çarparak aniden hız kaybettiklerinde ise X-ışınları ortaya çıkıyordu. Günümüzde diş hekimleri ve doktorlar tarafından kullanılan X-ışını makinelerinde, hâlâ o zamanlardakine benzer tüpler kullanılmaktadır. X-ışını makineleri, bir X-ışını tüpünü çalıştırmak ve kontrol etmek için gerekli elektrikli aletler grubudur. Bu tüplerden sağlanan ışımanın, kurşun veya başka bir sert metal levha üzerinde dar aralıklar boyunca sızmasına ve dişleriniz, bedeniniz veya herhangi bir organınız boyunca geçmesine izin verilir. Bu yolla sağlanan ışın demetleri, ağır atomlarla (dişlerde veya kemiklerde bulunan kalsiyum gibi) daha hafif atomlarla olduğundan (dokuda bulunanlar gibi) daha güçlü etkileşirler. Ve X-ışınları, yüzeyin diğer tarafında fotografik filmler çıkaracağı için de, boylu boyunca geçmiş oldukları atomların ağırlığıyla orantılı yoğunluğa sahip filmler ortaya çıkar. İşte bu nedenle bilim, X-ışınlarını keşfederek CT tarama açısından teknolojik bir buluşun habercisini geliştirmiştir. Daha sonra teknoloji, bu buluşu X-ışını makinası şeklinde uygulamaya geçirmiştir ve tıp mesleği, bir teşhis aleti olarak bu makineye bağımlı olmuştur.

Matematik, CT taramaya ve keşfine temel teşkil etmişti. X-ışını teşhisiyle ilgili olarak şu soruyu sorabilirsiniz: Eğer vücudun her bir noktasındaki X-ışını toplam atenüasyon katsayısını bilseydik, vücut kapsamında herhangi bir alan için bir X-ışınının toplam atenüasyonu hesap-

layabilir miydik? Yanıt evettir. Ama matematikçiler ters problem olarak adlandırılan şeyden hoşlanırlar. Dolayısıyla da bu konuda ikinci bir soru yöneltebilirler: Eğer insan bedeninin belirli alanları için X-ışını demetinin atenüasyonu biliniyor olsaydı, toplam atenüasyon katsayısının dağılımı hesaplanabilir miydi? Bu sorunun yanıtı da evet olacaktır. Bu problem, 1917 yılında Radon isimli Viyanalı bir matematikçi tarafından çözülmüştür. O zamanlarda, dar bir X-ışını demetine birçok değişik açıdan maruz bırakma yoluyla bir bedenın ara kesitinin resmini çıkarmaya yönelik bir çaba üzerinde düşünmeye, her bir ışın demetinin yutulmasını ölçmeye ve bedenın her bir noktasındaki toplam atenüasyon katsayısını hesaplamak için Radon'un formülünü kullanmaya doğru düşünsel bir sıçrama yapan kimse çıkmamıştı. Oysa bu katsayılar, teşhis açısından önemli bir resmin çıkarılmasına olanak tanıyacaktı. Çünkü sorun teşkil eden, sadece kemiklerin ve dokunun farklı zayıflık katsayılarına sahip olmaları değildir. Bunun yanı sıra, tümörler ve kan pıhtıları da farklı katsayılara sahiptir. Daha da önemlisi, konvansiyonel X-ışınları, üç boyutlu bir cismi, iki boyutlu bir resme indirdiği için kısıtlıdır. Öte yandan, bahsettiğimiz yaklaşım sayesinde daha ileri bir elemeye üç boyutlu bir nesnenin (örneğin, vücuda ait herhangi bir ara kesitin) iki boyutlu görüntüsünün çıkarılması mümkün olacaktır. Ne var ki, bunu düşünen bir kişi çıkmış olsaydı bile, düşüncesini uygulamaya geçiremeyecekti. Çünkü bilgisayarlar henüz ortada yoktu. Ayrıca, ilgili niceliklerin hesaplanması ve sonuçların karşılaştırılması, fazlasıyla karmaşıktı. Bilim ve matematik sahnedeki yerlerini almışlardı belki ama, teknolojinin sırası henüz gelmemişti.

Kırk yıl sonra sözü geçen düşünsel sıçramayı gerçekleştirecek biri çıktı. Aslında birçok kişi bunu denemişti. Ama bunu gerçekleştiren, Allan Cormack adlı fizikçi oldu. Cambridge Üniversitesi'nden mezun olan Cormack, 1956 yılında Capetown Üniversitesi'nde çalışmaktaydı. O yıl Groote Shuur Hastanesi, bünyesinde çalışan bir fizikçiyi kaybetmiş ve üniversiteden yardım talep etmişti. Böylece Cormack, haftanın 1,5 günü hastane için radyolog fizikçi olarak çalışmaya başladı. Bu deneyim sonrasında şu gerçeğin farkına varmış bulunuyordu: X-ışını atenüasyonunun daha doğru değerlerine ihtiyaç vardı. Cormack, klâsik X-ışını kullanmak yerine farklı açılardan değişik resimler alınarak vücut-

taki atenüasyonları yeniden oluşturma'nın mümkün olup olamayacağını merak ediyordu. Bu sırada Radon'un çalışmalarından haberdar edildi. Cormack, yıl sonunda Harvard Üniversitesi'ne gitmek için işinden ayrıldı, ve daha sonra, "görüntünün" yeniden oluşturulmasına ilişkin kendi matematik kuramını geliştirdi. 1957 yılında Güney Afrika'ya geri dönmesi üzerine, laboratuvar simülasyonu aracılığıyla kendi kuramını test etmeye başladı. Alüminyum ve tahtadan oluşan, dairesel biçimde simetrik bir test nesnesi yaptı ve gama ışınlarına ait paralel ışık ışınlarından yararlandı. Detektör olarak da bir Geiger sayacı kullandı. Nesneyi, 5 mm'lik düzeneeklerde ışık ışını boyunca hareket ettirdi ve her seferinde toplam atenüasyon katsayılarını ölçtü. Daha sonra da, test edilen cisim boyunca toplam atenüasyon katsayılarını elde etmek amacıyla verileri matematiksel olarak değerlendirdi. Yaptığı, klâsik bilimsel araştırma uygulamasıydı.

Cormack, o yılın sonunda Massachusetts, Medford'daki Tufts Üniversitesi'ne gitti ve deneylerini orada sürdürdü. Gelişmiş bir matematiksel yaklaşım geliştirdi, düzeneğini daha karmaşık modellerle test etti ve verileri değerlendirme işinde bilgisayar kullandı. Sonuçlarını bir takım radyologlara göstermesine ve bulgularını dergilerde yayınlamasına rağmen, çalışmalarıyla ilgilenen çıkmadı.

1967'de Godfrey Hounsfield adlı bir mühendis, İngiltere'de EMI Limited Şirketi'nde, Cormack'inkine benzer çalışmalara başlamıştı. Hounsfield, anten dizilerinin yönelticilik özelliklerini gösteren geometrik şekillerin tanınması üzerinde çalışıyordu ve ne Radon'un ne de Cormack'ın çalışmalarından haberdardı. Buna karşın, bir takım lineer X-ışını ölçümleri sayesinde bir cismin iç yapısını yeniden oluşturmak için matematiksel tekniklerin kullanılabileceğini o da fark etmişti. Hounsfield, kullanılabilir bir matematiksel ilişki buldu ve kuramsal olarak şu sonuca ulaştı: Böyle bir yaklaşım, geleneksel X-ışını yöntemiyle kıyaslandığında, bir bedenin içindeki lokal X-ışını atenüasyon katsayılarına 100 kat fazla bir doğrulukla ulaşılmasını sağlayacaktı. Hounsfield, daha avantajlı bir konumda bulunuyordu; çünkü kendisini destekleyen büyük bir kuruluş vardı. Yaptığı ilk deneyler, Cormackinkiler'le aynıydı; ama çok kısa bir süre sonra bir X-ışını tüpü ve simetrik olmayan test nesneleri kullanmaya başladı.

Görüntüleme süresini 9 günden 9 saate düşürdü, İngiltere Sağlık Bakanlığı'nın ilgisini çekmede ve iki radyoloğun işbirliğini sağlamada başarılı oldu. Çok kısa bir süre sonra da, geliştirdiği yöntemle, hayvanların gövdelerini ve beyinlerinin bölümlerini taramaya başladı.

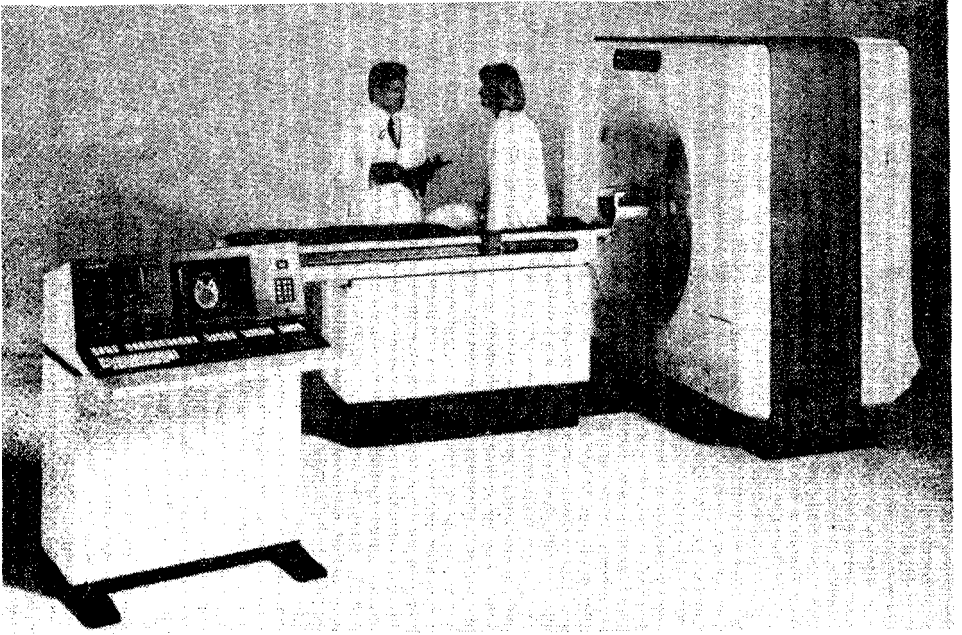
Cormack ve Hounsfield, çalışmalarıyla 1979 Nobel Tıp Ödülü'nü kazandılar. Bu ödülü kazananlardan ayrılan bir yanıları vardı; ikisi de biyoloji veya tıp kökenli değildi. Ayrıca, çalışmaları da, alışılmış temel canlı organizmalarla uğraşan bilim dallarından çok uygulamalı araştırmaya giriyordu. Ancak CT tarayıcı, tıbbi bakım üzerinde olağanüstü bir etkiye sahip oldu. Ve Cormack ile Hounsfield'in birbirinden habersiz çabaları, bu kavramın mucitleri olarak anılmalarını sağladı. Çalışmaları hem başarılı bir uygulamalı araştırmanın hem de bilim ve matematiğin yeni bir teknolojinin icadına katkıda bulunma yetisine iyi bir örnektir. 1960'ların sonlarındaki ortam, CT taramanın geliştirilmesi için oldukça elverişliydi. Ekonomik açıdan daha ileri uluslar sağlık ve tıbbi bakımın geliştirilmesi konusuna çok önem vermeye başlamışlardı. Refah toplumlarındaki hükümetler ve özel kuruluşlar ise, hizmet ve sigorta programları aracılığıyla ihtiyaçları karşılıyorlardı. Bu programlar, yüksek maliyetli teşhis yöntemlerini, çok fazla sayıda insanın yararlanacağı biçimde ekonomik olarak elverişli hale getiriyordu. Tıbbi eğitim ve tıbbi uygulamanın artan ihtisaslaşmasına koşut olarak bilgisayar ve elektronik de, hızla geliyordu. Böylece, teknoloji alanındaki büyük atılımların tıbbi bakımda uygulanması mümkün kılınmış oluyordu. Tıbbi maliyetlerin hızla artması ve sınırlı sağlık bakımı kaynaklarının dağıtımı gibi sorunlar, 1967'de henüz bilinmiyordu. Yani söz konusu olan, büyük bir iyimserlik ve büyük bir yatırım dönemi idi.

Diğer taraftan iş dünyasında yeni yeni gelişmekte olan bir alan vardı: Tıp mühendisliği. Büyük bir şirket olan EMI, II. Dünya Savaşı'ndan sonra elektronik alanında büyük bir güce sahip olmuştu. En büyük ticari başarıları, müzik ve eğlence sektöründe olmuştu (Otomatik plak değiştirici, stereofonik kayıtlar, manyetik kayıt cihazları, Capitol plakçılığı ve Beatles'ı bünyelerine almaları). Şirket, kapasitesini elektronik alanında daha iyi kullanmaya çalışırken Hounsfield'in araştırma ve geliştirme çalışmaları da klinik aşamaya ulaşmış-

tı. Kafa tarama için yapılan bir makine, 1971 yılında Wimbledon'da Atkinson Morley's Hastanesi'nde kullanıma geçmişti. 180 projeksiyon alınana değin tek bir kaynağı ve tek bir detektörü 1 derecede hareket ettiriyordu. Verinin alınması 4.5 dakika, resmin hazırlanması ise 20 dakika sürüyordu.

EMI yönetim kurulunda, tarayıcıyla ne yapılacağı konusunda birçok oturum düzenlendi. EMI, yeni bir ürüne doğru yöneliyordu ve çalışmaların sürdürülmesine karar verilmişti. Ancak şirket, tıbbi elektronik konusunda hiçbir deneyime sahip değildi. CT tarayıcılar için en büyük pazarın Amerika Birleşik Devletleri olduğu saptanmıştı. Ama bu ülke, EMI'nin alışılmış pazarlama bölgesinin dışında kalıyordu. Ne var ki, yönetim kurullandaki değişiklikler, EMI bünyesinde yeniliğe artan bir taleple sonuçlandı, ve çok az ümit vadeden Araştırma ve Geliştirme projesine daha fazla önem verilmesine yol açtı. İşte CT tarama da bu projelerin bir ürünüydü. EMI'nin başlangıçtaki tahminleri, dünya çapındaki pazarın 25 tarayıcıyı aşmayacağı yönündeydi. Oysa 1972 yılında önde gelen Amerikan nörologlarından biri, sadece Amerika Birleşik Devletleri'ndeki büyük hastanelerde en azından 170 tarayıcıya ihtiyaç duyulduğu varsayımında bulunuyordu. EMI tarayıcılarının o zamanlardaki tahmini fiyatının 400,000 dolar olduğu gözönüne alınırsa, bunun büyük bir yatırım olduğu açıktı. Böylece EMI, bu işe girme ve bu alanda öncü olma kararını verdi. Şirket, yapılan işin patentlerle koruma altına alınmasının, sağlam bir pazarlama organizasyonu kurulması ve pazarın büyük bir bölümünün ele geçirilmesi için kendilerine üç veya dört yıllık bir süre kazandıracağından emindi.

Teknik fizibilite ve pazar zaten hazır görünüyordu. EMI mühendislik bölümü, araştırma ve geliştirme aşamasında çok sayıda prototipleştirme ve fizibilite incelemeleri üstlenmişti. Şimdi yapılması gereken şey, sadece ticari bir ünite tasarlamak ve bunu üretmektir. Alınan karar, EMI'nin sahip olmadığı teknolojik uzmanlık konusunda yabancı kaynaklara güvenilmesi ve bu kaynakların EMI'de bulunan sistemle bütünleştirilmesi yönündeydi. Tarayıcının imalatının % 70-80'lik bir bölümü, yabancı ülkelerdeki satıcılar tarafından talep ediliyordu. EMI'nin tarayıcısı, 1974 yılında piyasaya çıktı ve 1977 yılı itibarıyla EMI'ye 42 milyon pound'luk satışlardan 12.5 milyon pound'luk net kâr



General Electric'in CT 9800 Quick Sistemi

sağladı. Bu arada 300'den fazla yeni ünite siparişi alınmıştı.

Buna karşın, hızla büyüyen bir rekabetin sahneye girmesi, EMI'nin şaşırmasına neden oldu. 1974'ün sonuna gelindiğinde iki yeni tarayıcı daha piyasaya çıkmıştı. Bunlardan biri Dijital Bildirişim Bilimleri Kurumu tarafından, diğeri ise Ohio Nükleer şirketi tarafından geliştirilmişti. Bu sonuncusu, 4,5 dakikalık tarama süresini 2,5 dakikaya indirmiş ve EMI'nin tarayıcısına kıyasla daha ayrıntılı görüntü çıkarmayı başarmıştı; ve nispeten üstün özelliklerine rağmen, satış fiyatı EMI tarayıcısından daha ucuzdu. EMI buna yeni bir makineyle karşılık verdi. Tanıtılan ikinci kuşak makine, çok demetli ışınım ve birçok detektör kullanıyor, 1 derecelik rotasyonu 10 derecelik rotasyona çıkarıyor ve toplam tarama süresini 4.5 dakikadan 20 saniyeye düşürüyordu. Ayrıca görüntü tanımı, dört kat artırılmıştı. Makine, Mayıs 1975'de piyasaya sürüldü. Ancak, 1975'de büyük bir Avrupa şirketi olan Pfizer,

Dijital Bildirişim Bilimleri'nin makinesinin bütün haklarını satın aldı ve altı yeni rakip firma, tarayıcı pazarına girdi (Syntex, Artronix, Neuroscan, General Electric, Picker ve Varian). Dikkate değer bir olay da, Aralık 1975'de Kuzey Amerika Radyoloji Cemiyeti'nin (Radiological Society of North America -RSNA) yıllık toplantısında General Electric tarafından üçüncü kuşak bir makinenin tanıtılmasıydı.

Bu makine, 30 derecelik geniş bir X-ışını demeti kullanıyordu ve tek bir 360 derecelik sürekli taramayı 4,8 sanineyede tamamlıyordu. Böylesine hızlı bir tarama, hastanın kımıldamasının neden olduğu bulanıklığı en aza indirerek görüntünün daha gelişkin bir hale getirilmesini sağlıyordu. General Electric, kendisini mühendislik sıfatıyla teknolojik öncülük konumuna getirmişti. EMI için daha da kötü olan, General Electric'in, Amerika Birleşik Devletleri'nde 300 kişilik bir satış gücü ile 1200 kişilik bir hizmet ağına sahip olması ve teknolojik avantajını koruma amacıyla yılda 5 milyon dolar harcamayı gözden çıkarmasıydı.

CT tarama işindeki şirketlerin, fiyat ve güvenilirliğin yanı sıra teknolojik uzmanlaşma konusunda da rekabet ettikleri açıktı. Bu uzmanlaşmanın başarılıabilmesi için karmaşık matematik ve bilgisayar uygulamaları ile sürdürülen bilimsel araştırma gerekliydi. Pazar, performansla değer veriyordu. Rekabet düzeyi ise, teknolojinin oldukça hızlı bir oranda ilerlemesine neden oluyordu. Müşteriler, karşılığını alabileceklerine inandıkları takdirde istenilen fiyatı ödemekten çekinmiyorlardı (GE'nin özgün makinesi 615,000 dolardan satılıyordu). Aynı zamanda, iş de büyüyordu. 1975 yılında sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık 150 yeni taracıyıcının faaliyete geçirildiği tahmin ediliyordu. Peki ya EMI'ye neler oluyordu? EMI, 1976 boyunca dünya pazarına sürülen 650 tarayıcıdan 450'sini satmıştı; ama 1975-1976 döneminde EMI taracıyıcılarının pazar payı, % 60'ın altına düşmüştü. Aralık 1976'da yıllık RSNA toplantısında onaltı yeni rakip firma, taracıyıcılarını sergiledi. Ayrıca, sağlık bakımı maliyetinin yükselmesi sorunu tartışıldı ve giderek daha fazla sayıda kuruluş, hükümet ve özel sektör, sağlık bakımı fiyatlarına kısıtlamalar getirdiler. Pazarın büyüklüğü, üretimle ilgili sorunlara neden olduğu kadar EMI'nin bünyesinde de kimi gerilimlere yol açtı. 1979'la birlikte EMI,

ürettiği tarayıcılardan para kaybetmeye başladı ve sonunda tarayıcı işini 37,5 milyon dolara General Electric'e sattı.

EMI'ye sorarsanız, bir ürünü icat eden, özgün teknolojiyi geliştiren, iş dünyasına egemen olan ve ortam değişince daha fazla kaynağa sahip bir şirkete yenik düşen bir kuruluşun öyküsünü dinledik. Bu öykü, mühendislik ve iş dünyasının etkileşimine mükemmel bir örnektir. EMI, ilk ve temel mühendisliği yapmıştı. İlk rakip tarayıcılar, EMI'nin makinesinin benzerleri olmuştuk. Çünkü patent koruması, EMI'nin başlangıçta düşündüğü kadar güçlü değildi. Ama temel mühendislik, rekabete karşı koyabilecek denli iyi değildi ve EMI'nin işi kaybetmesi kaçınılmazdı. General Electric CT 9800 Hızlı CT sistemi (61. sayfadaki fotoğrafa bakınız), her 15.5 saniyede normal bir CT tarama yapma kapasitesine sahiptir. Tarama süresi ise 2 saniye veya daha azdır. Herbir tarama sonucu, yaklaşık bir milyon detektör tarafından okunur ve bilgisayar bu verileri görüntüye dönüştürür. Monitör özellikleri şunları içerir: Oldukça hızlı panoramik hareket, görüntünün büyütülebilmesi, basit kontrast ayarı, eksenel görüntünün dik olmayan başka açılara dönüştürülebilmesi, bölünmüş bir ekran aracılığıyla çeşitli görüntülerin üst üste getirilmesi ve kontrast ayarı. Bu sistemle elde edilebilen seçenekler ise, üç boyutlu görüntüleme (arka sayfadaki resme bakınız), kan akışını görüntüleme ve kemik mineral yoğunluğunu görüntülemedir. Günümüzde, Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI), bazı teşhis görevlerini CT taramanın sırtından alarak üstlenmiştir. Hastayı X-radyasyonuna maruz bırakmaz ve vücut yapısının belirli ayrıntılarını daha iyi ayırıştırma kapasitesine sahiptir. Ayrıca, yoğunluktan başka niceliklere karşı da duyarlıdır (Örneğin fosfor konsantrasyonu).

Aynen CT tarama gibi MRI de bilgisayarla oluşturulan görüntüleme bağlıdır. Bilgisayar tarafından kullanılan veri de, nükleer manyetik rezonans olarak adlandırılan fiziksel bir olguya bağlıdır. Tek sayılı protonlar ve/veya tek sayılı nötronlar içeren atomlar, bir eksen etrafında dönerken çekirdeklerinin net bir yük içermesi gerçeğine bağlı olarak ince mıknatıslar gibi davranırlar. Eğer manyetik bir alana koyulurlarsa, bu atomların "spin" eksenleri kendilerini

manyetik alanla ayarlayacaktır. Eğer daha sonra, doğru frekansa (rezonans frekans) ait elektromanyetik dalgaların patlamasıyla uyarılırlarsa, manyetik alanın gücüyle orantılı bir frekansla kendi eksenleri etrafında dönmeye veya yalpalamaya başlayacaklardır. Manyetik Rezonans Görüntüleme’de hasta, gücü uzaya göre değişen çok güçlü bir manyetik alana yerleştirilir. Daha sonra doğru sinyaller, hastanın vücudunda bulunan ve o sırada spin eksenleri ayarlanan hidrojen atomlarının (ya da herhangi başka bir atomun), bulundukları yerin fonksiyonu olan bir frekansla kendi eksenleri etrafında dönmelerine neden olur. Atomların herhangi bir konumda kendi eksenleri etrafında dönmeleriyle çevrilen sinyal yoğunluğu ve bu sinyalin uyarılma öncesi haline geri çözündüğü hızlar, ilgili atomların konsantrasyonunu ve diğer nicelikleri belirlemek amacıyla bilgisayar tarafından kullanılabilir.

Tıpta kullanılan diğer birçok görüntüleme biçimi, gelişkin teknolojiye bağlıdır. Bunlardan bazıları, örneğin rahimdeki ceninleri kontrol etmek için faydalanılanlar, akustik dalgalar (ultrason) kullanırlar. Bugünlerde oldukça fazla dikkat çeken görüntüleme biçimlerinden biri de, Pozitron Yayma Tomografi veya PET taramadır. Bu yöntemde, küçük dozlarda radyoaktif glikozlar, kan akışının görüntülendirildiği bir ekranda görülmek üzere damara enjekte ediliyorlar. Araştırmacılar bu yöntemi beynin kimyası ve farmakolojisi hakkında daha fazla şey öğrenmek amacıyla kullanıyorlar. Çünkü beynin bölümleri, fazlasıyla aktif olduğunda kan ile tıkanıyor. CT tarama, tıbbi teşhisteki önemini koruyacak. Ama bu önemin büyüklüğü ve şekli, tıbbi teşhisle ilgili bütün alanlardaki teknolojik gelişmelere bağlı olacak.

Şimdi de mühendisliğin dikkate değer yönlerinden bazılarını ayrıntısıyla inceleyeceğiz. Önümüzdeki bölümde, mühendislik sürecinde önemli bir yer teşkil etmesine karşın bütünüyle çok az dikkat çeken bir aşamayı tartışacağız: Sorunların kökeni. Mühendisler niçin çalıştıkları şeyler üzerinde çalışırlar?

Sorunların Kökeni

Teknoloji ve Pazar

Çoğu insan, teknolojinin neden sadece belirli alanlara yöneldiğini merak eder. Mühendisler bu soruyla çok sık karşılaşır. Teknoloji, savaşla neden bu kadar fazla ilgilenmektedir? Siz mühendisler, engellerin aşılması için niye daha iyi yollar bulmuyorsunuz? Niçin araba kazalarını önlemiyorsunuz? Toksik atıkları neden zararsız hale getiremiyorsunuz? Yeryüzünde daha çok bilgisayara ihtiyaç duyan kim? Mikroişlem kontrollü ekmek kızartma makinelerini kim ne yapsın? Ya elektrikli diş fırçaları? Bu bölümde önce, bir birey olarak mühendisin karşı karşıya kaldığı sorunların kökenlerini ele alacağız. Daha sonra, kuruluşlarda çalışan mühendislerin belirli alanlara yönelmelerinin nedenlerini araştıracağız. Son olarak da, kuruluşların yönelimlerini değerlendireceğiz.

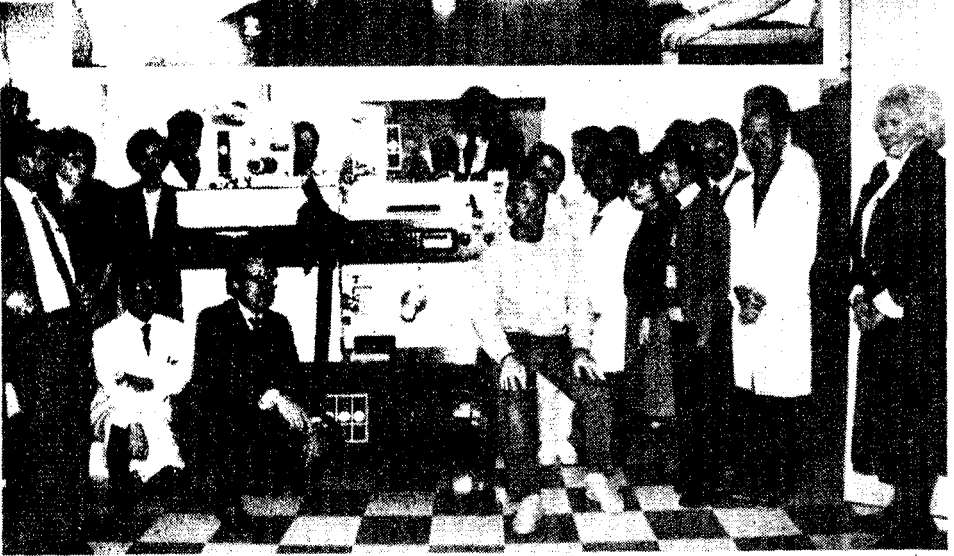
Mühendislik öğrencilerine her fırsatta şu soruyu yöneltirim: Ne tür bir iş, hayalinizdeki mühendisliği yapmanız açısından size en büyük özgürlüğü tanıyacaktır? Bu soruyu genellikle şöyle yanıtlarlar: "Kendi sahip olduğum şirket", "çok küçük bir şirket", "danışmanlık" veya "mucitlik". Diğer bir deyişle, kişinin kendisi için çalışması veya küçük bir şirkette çalışması tercih ediliyor. Nedense bu tür işlerin,

büyük bir kuruluşta çalışmaya kıyasla kişiye daha fazla özgürlük tanıdığı düşünülüyor. Ancak mühendislik öğrencilerinin çoğu, mezun olur olmaz büyük şirketlerde çalışmaya başlıyorlar. Peki ama, kendi işini kurmanın veya küçük bir şirkette çalışmanın cazibesi nerden kaynaklanıyor? Bağımsız danışman, mucit veya yatırımcı olarak çalışan kişiler, ekonominin olanaklı kıldığı ölçüde mantıklı tercihler yaparlar. Ama bu tercihler, sadece üstlenilmesi gereken sorunlara ilişkin değildir. Çalışılan ortam, hazırlanan çalışma programları ve birlikte çalışacak iş arkadaşları da, bu tercihlerle ilgilidir. Ne var ki, tercih hakkı tanınan mühendisler bile, tamamen özgür değillerdir. Bir kişi, hiç kimseye bağımlı olmayacak kadar zengin değilse, başka insanların istediği işleri yapmak zorundadır. Yeterince zengin olsa bile, müşterisi çıkmayan fikirler veya ürünler üretmenin sonu, hayal kırıklığı olacaktır. Ayrıca, bağımsız mühendislerin hareket ağı, bireylerin ve küçük grupların ulaşabileceği sınırlı kaynaklar yüzünden de kısıtlanmaktadır. Sözgelimi, küçük şirketler, ticari amaçlı büyük yolcu uçakları üretmezler. Bir mühendisin işe alınmasıyla ilgili olarak yaşadığım ilk deneyimim, beni şaşkına çevirmişti. Danışmanlar, romantik görünen hayatlarını bir kenara itip, düzenli ücret ödenen bir işte çalışmaya can atıyorlardı. Bense, her zaman büyük şirketlerde çalışmıştım, ve önüme çıkan her fırsatta, profesyonel olarak çalışıp kendi işimi kuracağım günlerin hayalini kurmuştum. Ama daha sonra öğrendim ki, bağımsız çalışan mühendisin hayatı, Adem ile Havva'nın cennetteki hayatına benzemiyordu. Kendi danışmanlık şirketini yöneten Jeoteknik mühendisi arkadaşım Richard Meehan, *Atom ve Fay (The Atom and the Fault)* adlı kitabında, geçirdiği depremler yüzünden her tarafı faylarla kaplı bir eyalette nükleer reaktör kurulmasıyla ilgili sorunlara nasıl bulaştığını açıklıyor⁽¹⁾. Meehan, nükleer güç şirketleri, hükümet, arazi sahipleri ve çevreci gruplar arasında meydana gelen ve nükleer sanayinin Kaliforniya'daki varlığını (ya da yokluğunu) belirleyen akıllara durgunluk verici karşılaşmayı anlatıyor. Bunun yanı sıra, başka sorunlardan da bahsediyor. Örneğin, müşterilerle birlikte yemek zorunda olduğu ve vaktini boşa harcadığı sonu gelmeyen öğle yemekleri yüzünden şişmanlama; büronun masraflarını rahatça karşılayabilecek yeterli iş oranının tesbiti konusunda duyulan kaygı; ve

müşterilerin parlak çözümler yerine güvenli ve etkili çözümlere yönelik isteklerini yerine getirme zorunluluğu gibi çeşitli sorunlara değiniyor. Meehan, *Hakkını Arama ve Mühendislik Hayatına Dair Başka Öyküler (Getting Sued and Other Tales of the Engineering Life)* adlı kitabında ise, kitabın adının da çağrıştırdığı üzere mühendislikle ilgili hukuksal sorunları ele alıyor. Bağımsız olarak çalışmanın kimi avantajları olduğu açık. Ama bütün mühendisler, teknolojiyle kendi istekleri doğrultusunda oynamanın yanı sıra, müşterilerini memnun etmek zorundadırlar. Ayrıca, danışmanların müşterileri de, ileri bir geleceğin yerlileri değildir⁽²⁾. Ben kişisel olarak, danışmanlığı düzenli ücret getiren bir işle birarada sürdürmeyi tercih ederim.

Şu sıralar çalışmakta olduğum üniversite, biraz hükümete, biraz bir şirkete benziyor. Belirli bir organizasyon içerisinde kişiye, olağanüstü bir bağımsızlık sunması açısından da, kâr amacı gütmeyen bir araştırma laboratuvarlarını andırıyor. Uzun bir süreden beri Stanford Üniversitesi'nde profesör olarak görev yapıyorum. Ama yine de, emir almak zorundayım. Ancak, üniversite fakülteleri sadece bu şekilde işlemez. Açıkcası, benim sınıfta ve yönetim kurulunda yaptığım şey şudur: Bağlı olduğum bölümün, okulumun ve üniversitenin başarısına katkıda bulunmaya çalışırım. Buna karşın, ne yaptığımı belirlemede söz sahibiyimdir. Hayatımın bir bölümü (yaptığım araştırma ve danışmanlık), tamamen bana bağlıdır. Aynı zamanda, düzenli olarak ücret alıyorum, şirket olanaklarından faydalaniyorum, etrafımda birlikte çalışmaktan zevk aldığım çok sayıda olağanüstü insan var ve kendimi güvenlikte hissediyorum. Bir mühendis için mükemmel bir yuva değil mi bu?

Keşke öyle olsaydı. Her şeyden önce, üniversite çevresi insanın yapabileceği mühendislik türünü bazı biçimlerde kısıtlar. Üniversiteler, baraj, deterjan, veya otomobil üretmezler. Tasarım ile çok az ilgilenirler ve üretimle asla ilgilenmezler. Büyük bir proje ekibinde çalışmam söz konusu değildir. Oysa bu, en beğendiğim çalışma tarzlarından biridir. Teknoloji tabanlı büyük bir şirketin tanrısal başkanı olmak için basamakları tırmanmam da mümkün değil. Bununla beraber, benden işimi devam ettirebilmem için bağış, hediye ve sözleşme adı altında makul miktarlarda para harcamam beklenir.



Cygnus Tedavi Edici Sistemler Şirketi, iş hayatına yeni başlamış küçük bir şirketken. Şirket deriden ilaç enjekte etme sistemleri üretiyor (örneğin, ilacın vücuda sabit ve kontrol edilebilir bir hızla girmesini sağlayan yapışkan bantlar gibi). Üstte: Şirketin kurucusu ve yönetim kurulu başkanı Gary W. Cleary, garajında baş teknik yetkili olarak, şirketin kurulmasında temel olan süreç üzerinde çalışırken. Ortada: Şirketin ilk dört çalışanı ilk maaşlarını alışlarını kutluyorlar. Altta: Şirketin ilk üretim makinelerinden biri. Cygnus Tedavi Edici Sistemler, bugün kamuya açık, çok başarılı ve hızla büyüyen bir şirket.

Stanford Mühendislik Okulu'nun iyi vatandaşları, lisans öğrencilerine verilecek burslar, gerekli teçhizat, malzeme ve seyahat masrafları ile araştırmalarının idari giderleri için kendi maaşlarının bir bölümünü bağışlarlar. Bu kişiler işlerinde kalabilmek için para vermek zorundalar mıdır? Hayır ama, üstüne düşen görevi yapmaktan kaçınan biri olarak görülmek hiç de hoş değildir. Böyle davranmanın bir bedeli vardır. Para vermemek tamamiyle yasaldir, ama kişi eğer herhangi bir toplumun değerlerini ihlal ederse, toplum genellikle bu kişiyi cezalandırmanın yolunu bulur. Sonuçta, yapacağım araştırmayı belirlemede özgür olabilirim. Ama, bir profesör olarak beni asıl tatmin eden şey, çalışmalarımın insanların bana entellektüel açıdan saygı duymalarına yol açması ve başka insanların benim çalışma alanıma katkıda bulunmalarıdır. Ne olursa olsun, üniversiteyi sanayiden daha canlı buluyorum. İşlerin kesin tarihlerde bitirilmesi zorunluluğu gibi uygulamalarla ve kimi beklentiler yüzünden öğretim üyelerinin, kendi kendilerini sıkıntıya soktukları gerçekten de doğrudur. Ama iyi üniversiteler, yeterince uyanık davranır ve başarıya ulaşma konusunda kendisini şartlayarak çalışabilen kişileri işe alırlar. Eğer ben yapacağım işleri belirlemede diğerlerinden daha çok çalışıyor olsaydım, buna tipik bir örnek olabilirdim. Sonuçta, üniversiteler muhafazakâr kurumlardır. Kişiyi büyük bir özgürlük tanırlar; ama bir kuruluş olarak çok yavaş işlerler ve öncü olmak yerine toplumsal yönelimleri izlemeyi tercih ederler. Üniversiteler öylesine yapılanmışlardır ki, yeni yönsemeler için öncelikle profesörlerin oybirliğine gereksinim duyarlar. Profesörlerin her birinin, kendi kişisel çıkarları bulunması da işleri oldukça güçleştirir. Dolayısıyla sonuç, eşsiz bir süredurumdur.

Kendi hayatımdan biraz bahsedecek olursam, içinde bulunduğum koşulların, bir anlamda, araştırma laboratuvarlarında çalışan mühendislerin içinde bulunduğu koşullara benzediğini söyleyebilirim. Araştırma laboratuvarında çalışan mühendis de, yapacağı işi belirleme özgürlüğüne sahiptir; ama kendisinden beklenen, öncelikle laboratuvarın yararına çalışmasıdır. Kendisini şartlayarak böyle davranma ihtimali yüksek olmayan bir mühendis, işe alınmayacaktır. Üniversiteler ve araştırma laboratuvarları, belirli tip mühendis-

ler için harikulade çalışma ortamlarıdır. Gelgelelim, bağımsız uygulama ve geleneksel şirketler arasında bulunan bu barınaklar bile, çalışanların düşüncelerini çeşitli biçimlerde kısıtlamaktadır.

Güçlü bir yönetimin bulunduğu büyük kuruluşlarda mühendislerin çoğu, kendilerine verilen sorunlar üzerinde çalışır. Bu mühendisler, sonuçta ücret karşılığında çalışırlar; ama ne yapmaları gerektiğini belirleyen patronları vardır. Birçok kuruluş, başarılı bir iş hayatının sağlanması için tartışma ortamlarının oluşmasına izin verir. Ama, sonuçta kişi, ya patronunun görüşlerini kabul eder, ya patronunun fikrini değiştirmeyi başarır ya da istifa eder. Bir kuruluş, sağlamlığını ve dengesini koruyabilmek, projeleri bütçe ve zaman sınırlamaları içerisinde yapılacak görev dağılımlarıyla bağdaştırabilmek için formalizasyona, disipline ve denetime ihtiyaç duyar. Kuruluşlar, insan kalabalıklarının üstesinden gelebileceğinden daha fazla şey başarırlar. Büyük projeler ise, küçük projelerin sağlayamayacağı büyük fırsatlar ve tatminler sunarlar. Karmaşık görevlerin sıkı biçimde denetlenmesi de, genç mühendisler açısından iyi bir eğitim sağlar ve onları kendi kabiliyetleri ölçüsünde çalışmaya teşvik eder. Ama buna karşın, karmaşık kuruluşlardaki hayat, zorunlu olarak bürokrasi içerir. Ve bu bürokrasi, eline geçen her fırsatta tekdüzeliğe, işlerin rutinleşmesine ve yaratıcı insanların hayal kırıklığına uğramasına yol açar.

Bürokrasiyi ilk kez tatma şansına, kariyerimin yeni yetmelik döneminde erişmiştim. Büyük bir Amerikan otomobil şirketinin tasarım ekibinde çalışıyordum. Yetenekli ve hevesli birçok genç tasarımcının arasında bulunuyordum. Oldukça yaratıcıydık ve ulaşım sorunlarına karşı fazlasıyla duyarlıydık. Ne var ki, üretilecek ürünün son şeklini değiştirmenin bizler için ne kadar güç olduğunu sonunda anladık. Otomobiller, boyun eğmeyen bir anonim şirket mantığıyla üretiliyorlardı sanki. Hızlı ve seri küçük arabalara, her gün evle iş arasında mekik dokuyan kişilere uygun kullanışlı arabalara ve çeşitli büyüklükteki ailelerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek arabalara yönelik bir pazar vardı. Bu tür ihtiyaçları karşılayan araba tipleri bulunmamız için para veriliyordu bize. Ama sonuçta ürün ortaya çıktığında, yine aynı eski saçmalıkla karşılaşıyorduk. Kısacası, farklı bir şey

yemek yerine lezzeti değiştirilmiş aynı çorbayı içiyorduk. Gerçekten de, şirketin o zamanlardaki politikası, ürettiği farklı karoser ve hareket aksamı sayısını azaltmak, üretim hattını daraltmak ve şık aksesuarlar ile etkileyici reklamlar aracılığıyla bir çeşitlilik imajı yaratmaktı. Bu şirkette çalıştığım süre boyunca üretilen arabaları satın alan kişilerin, hangi modelin daha üstün olduğu konusundaki tartışmalarını dinlerken gülmemek için kendimi zor tutardım. Çünkü arabaların hepsi de, görünüşleri dışında nerdeyse tamamen aynıydı. O yıllarda, Detroit henüz Amerika Birleşik Devletleri'nde ciddi bir rekabet ortamı yaratmadığı içindir ki şirketin bu yönelimi, kârı artırmayı başarmıştı. Ama bu yönelim, mühendislerin, özellikle de genç olanların cesaretini önemli ölçüde kırıyordu.

En asap bozucu dönemimi, "ileri" bir prototip üretilen bir otomobil tasarım stüdyosunda geçirmiştim. Otomotiv sanayi, yeni ürünlerini genellikle bu şekilde tasarlamayı adet edinmiştir. Biz genç tasarımcıların çoğu, Kaliforniyalı'ydık. Ve güney yakasındaki trafik sıkışıklığı ve egzoz dumanı gibi sorunların farkındaydık. Rüya gibi çalışan, tertemiz, güzel tasarımlı ve mantıklı avantajları olan arabalara aşıktık. Gelecek nesillerin yaşayacağı bir yüzyılda insanların, lıkır lıkır benzin içen atmosferi sürekli kirleten iki ton ağrlığında metal kutuların içinde yolculuk etmeyeceklerini düşünüyorduk. Görüşlerimiz sıcak bir ilgiyle karşılıandı. Ama sonuçta, imal edilen ürünün bizim dşndklerimizle uzaktan yakından ilgisi yoktu. Ortaya çıkan prototip, fazlasıyla ağırdı, ürkütücü ölçüde karmaşıktı ve üstüne üstlük doymak bilmez bir iştahla benzin tüketiyordu. Her nasılsa, bir uçakla bir köpekbalığının evliliğinden doğmuş bir çocuğu andırıyordu. Ama bu ocuk, ne bir uçağın performansına ne de bir köpekbalığının zarafetine sahipti. Gerçek ulaşımla çok az ilgisi bulunan ve şirketin şov amaçlı ürettiği arabalar serisinin yeni bir örneğiydi sadece.

Büyük kuruluşlar hızlı hareket etmezler ve başarılı bir ürün çizgisi tutturunca da, aynen o zamanlardaki otomobil şirketinin yaptığı gibi, yeni çizgiler arama konusunda tereddüt ederler. Bu atalet, bazen sadece mühendislerin cesaretini kırmakla kalmaz; dünyaların değişmesiyle birlikte şirketlere uzun vadeli bazı sorunlar çıkarır. İş-

te otomotiv sanayinde yaşanmış olan da budur. Araba tasarımları, Japon otomobil şirketlerinde küçük ekipler tarafından hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Bu ekipler, çeşitli konfigürasyonların araştırılmasında standartlaşmış parçalar kullanırlar. Ayrıca, üretim sürecinde küçük buluşlardan ve çok yönlü bir imalat-montaj anlayışından yararlanmaya yönelik bir yaklaşıma sahiplerdir. Detroit bunları öğreniyor ama, tarzını kolay kolay değiştirmiyor.

Büyük şirketlerdeki mühendisler, karar alma süreçlerinden öylesine uzak tutulabilirler ki bu yüzden, kaynağı sorgulamaksızın emirlere itaat etmek zorunda kalabilirler. Bu da, başka sorunlar ortaya çıkarabilir. Sözgelimi yetenekli insanlar, zaman içinde hatalı olduğu düşünülebilecek konuların izini sürmeye adayabilirler kendilerini. İyi işleyen kuruluşların doğasında olan bir "kusurdur" bu. Kendilerine verilen görevi sorgulayan mühendisler değerlidir; çünkü yeni yaklaşımlar ve yeni düşünceler üretirler. Ancak, işletmeciler için hayatı zorlaştırır, projedeki bilinmeyenleri artırır ve teknolojik sürece risk faktörünü dahil ederler. Oysa bir kuruluşun ayakta kalması, yapılan üretime bağlıdır. Dolayısıyla, çalışanların itaatkar olması gerekir.

Değişiklik adına yaratıcılığı ve motivasyonu artırmakla ilgilenen şirketlerde, uzun yıllar danışmanlık yaptım⁽⁹⁾. En çok benimsediğim yaklaşım, görevlileri üzerinde durulan sorunları çözümlemeye teşvik etmektir. Önemli olan sorunlar bunlar mıdır? Bir problem belirli bir yönü veya yanıtı açığa vuracak biçimde mi tanımlanır? Ve eğer böyleyse, ifade edilen yanıt veya yön ne ölçüde mantıklı olacaktır? Problemin ifade edilme şekli, diğer kısıtlayıcı sınırlamaları içerir mi? Peki bu sınırlamalar geçerli midir? Mühendislere, problemi kendilerine ifade edildiği biçimde kabul etmemelerini öğretmeye çalışırım. Yani, geriye bir adım atıp, neyin yanlış olduğunu veya çok genel bir anlamda neyin gerektiğini sorgulamalarını öneririm. Bu yaklaşım, suda daha fazla dalgalanmaya neden olsa da yaratıcılığın önplana çıkmasıyla sonuçlanır. Risk faktörü işe karıştığı için tam zamanlı bir görevlinin işi, yarı zamanlı bir danışmaninkine göre daha zordur. Kişi, büyük bir kuruluşta çalışan bir görevli olarak, problemi tamamen kendi üstleri tarafından tanımlandığı biçimde çözerse

işini kaybetmez. Ama bu sırada problemi daha başarılı şekilde çözmeye fırsatlarını da kaçırabilir.

Hata, para kaybı anlamına geldiği içindir ki kuruluşlar, problem çözmeye biçimlerini değiştirme konusunda oldukça muhafazakâr davranırlar. Bu yüzden, denetleme ve yeniden denetlemeye fazlasıyla özen gösterilir. Ama yeni yaklaşımlar denemektense, denenmiş ve doğruluğu kanıtlanmış yaklaşımlar tercih edilir. Birçok etkinlik gibi mühendislik de, yönetim ve politika gerektirir. Kuruluş ne kadar büyük olursa, bu tür şeylerle ilgilenmeye harcanan vakit de o kadar fazla olacaktır. Bu nedenle mühendisler, özellikle de genç mühendisler, deneye uğraşmaya fazla zaman ayıramazlar. Büyük bir kuruluşta çalışmanın en yüksek bedellerinden biri de budur. Ama ödenen bu bedel, sağlanan diğer faydalarla, yani daha geniş çaplı üretimle, farklı çalışma arkadaşlarıyla ve dolgun "ikramiyelerle" dengelenir.

Mühendislerin büyük kuruluşlardaki işlerini daha hareketli ve mükafatlandırıcı kılmalarının genel bir biçimi, kuruluşlar arasında ve kuruluşların içinde pozisyon değiştirmeleridir. Kendi çabalarıyla yükselmiş patronların çoğu, çalışanların farklılığa ihtiyaç duymalarını ve işlerinde bağımsız olmayı istemelerini saygıyla karşılar. Kuruluşlar, çalışanların kişisel değerlerine karşı şaşırtıcı ölçüde duyarlıdır ve görev dağılımında bu kişisel değerler genellikle dikkate alınır. Bugüne kadar bana verilen birçok görevi reddettim; ama kariyerim hiçbir zaman sarsılmadı. Bununla beraber, kuruluş nosyonuna ait bir idealizm ve sadakat duygusunun kaynaşması sonucu, hoşuma gitmeyen birçok görevi de kabul ettim. Önemli etik kaygılar çekme neden olan bir projede çalışmadım; ama kimbilir, belki de sadece şanslı olduğum için çalışmamışımdır.

Mühendislere üzerinde çalışmaları için verilen problemlerin belirleniş biçimi, fazlasıyla değişkenlik gösterir. Mesleğin ilk yıllarında kişiye genellikle ne yapması gerektiği ayrıntısıyla söylenir. Çalışma hayatına yeni başlamış olan kişi, bundan mutluluk duyar. Çünkü okulda, uygulamaya yönelik mühendislikle ilgili çok az şey öğretilir. ("Jim, bu stop lambasını şasiye tutturalabilmek için ıstampalanmış sactan bir destek tasarla. İşte stop lambasının ve şasinin çizimleri burada. Joe Eberly deneyimli bir mühendistir. Herhangi bir sorunla

karşılaşırsan ona danışabilirsin."). Kişi deneyim sahibi olmaya başladıkça hareket ve karar alanı da genişleyecektir ("Jim, yeni bir gaz kromatografisi tanımlamak için bir ön tasarım ekibi oluşturuyoruz. Ekibin makine mühendisi sen olacaksın").

Mühendisler işletme deneyimi kazandıklarında, genellikle diğer çalışanlar için problem tanımlayan kişiler konumuna getirilirler. Bu konum, durumları teşhis edebilme yeteneğini ve genel bir sorunu daha özel sorunlar içerisine dahil edebilme becerisini gerektirir. Mühendisler "yükseldikçe", kendilerinden istenen işler de artmaya başlar. Örneğin, ürünler, çalışanların ücretleri, zaman ve parayla ilgili kararlar vermeleri istenir. Sonuçta mühendisler, şirket amaçlarının ve stratejinin oluşturulmasında veya görev dağılımının belirlenmesinde etkin olacakları bir konuma gelebilirler. Peki hayallerinin mühendisliğini yapabilirler mi? Zekice davranarak kendilerini bu konuma getirdiklerini ve düşüncelerinin, kuruluşa finansal ihtiyaçları tatmin edecek ölçüde para kazandırdığını varsayacak olursak kesinlikle evet.

Bir kuruluşun gerçekleştirmek üzere seçtiği projeler, kuruluşa çalışan mühendislerin hayatını fazlasıyla etkiler. Kuruluşların çeşitli talepleri vardır. Sözelimi, kazanabildiklerince çok para kazanmayı arzu ederler. Ayrıca, ünlerini artırmak, görevlilerin hoşuna giden şeyler yapmak ve rekabet etmelerini mümkün kılacak ölçüde ucuza iş çıkarmak isterler. Eğer bir şirket, fiyatlarını hiç durmadan rekabetin üzerine çıkararak satışlardan sağladığı kazancı artırmaya çalışırsa, çok geçmeden hayata veda eder. Eğer fiyatları maliyetin altına düşürerek satılan birim sayısını artırmayı denerse bu da hayatına malolacaktır. Bir kuruluş, görevlileri teşvik etmede başarısız olursa veya görevlilerin değer yargılarıyla çatışan bir çalışma tarzı seçecek olursa, iç çekişmelerden, motivasyon eksikliğinden ve verimsizlikten ötürü başarısızlığa uğrayacaktır. Ancak, sadece çalışanların değer yargılarına uygun veya motivasyonu ön plana çıkaran projeler seçecek olursa, bu sefer de faturaların ödenmesinde başarısızlığa uğrayabilir.

Bir şirketin üstlendiği projelerin çoğu, bir uzlaşma temeline dayanır. Bu projeler, mühendislerin yeteneklerinin sınanması açısın-

dan yeterince gelişmiş olurlar; ama teknolojinin bitiş çizgisinde bulunmazlar. Yeri gelmişken buna bir örnek vereyim. Amerika Birleşik Devletleri uzay araştırmasının ilk zamanlarında ya da bugün olağanüstü başarılı şirketlerin laboratuvarlarında, insanın doya doya araştırma ve deney yapabilmesine olanak tanıyan kaynaklar bulunduğu görebilirsiniz. Buna karşın bir şirkette, ancak projelerin tamamlanmasına yetecek kadar para bulunur. Yani kişinin istediği kadar araştırma ve deney yapmasına izin verilmez.

Özel sektördeki kuruluşların projelere yönelmelerinin nedeni, ya kısa vadede para kazanmak ya da uzun vadede kâr edebilecekleri bir konuma gelmektir. Bu projelerin ulaşılabilir kaynaklara uygun olması, gerekli bilgi tabanıyla desteklenmesi ve makul sayıda müşteriye yönelmiş olması zorunludur. Kâr amacı gütmeyen kuruluşlarda ise (araştırma laboratuvarları, üniversiteler) proje, genellikle taslak olarak hazırlandıktan sonra özel veya kamusal bir fon kuruluşuna önerilir. Yapılan görüşmelerden sonra, projenin desteklenip desteklenmeyeceği, desteklenecekse bunun ne ölçüde olacağı sonuca bağlanır. Hükümet kuruluşları, genellikle kendi misyonlarıyla bağdaşan projeleri seçerler. Örneğin, yeni bir böcek ilacının geliştirilmesi, düşük-hızlı aerodinamik üzerine araştırma yapılması veya daha güçlü bir serbest elektron lazerinin geliştirilmesi gibi.

Mühendislerin yaptığı çalışma, fonun sağlanış biçiminden etkilenir. Sözgelimi, özel sektördeki şirketler, yeterince kısa bir sürede kâr sağlaması kesin olmayan araştırmaları onaylama konusunda zorluk çekerler. Öte yandan hükümet, Ulusal Bilim Vakfı (NSF), Savunma Bakanlığı, Ulusal Sağlık Kurumları, Ulusal Bilim Akademisi ve Enerji Bakanlığı gibi kuruluşlar kanalıyla, uygulamaya yönelik olmayan temel araştırmaları desteklemektedir. Hâтта özel bir ürünün üretilmesi için hükümetle sözleşme yapıldığında, araştırma ve geliştirme çalışmalarının harcamaları geri ödenebilmektedir. Özel sanayide Araştırma ve Geliştirme giderleri, kârdan karşılanır. Bu nedenle, hükümetin desteklediği alanlarda, örneğin uzay araştırmasında, diğer alanlarda (örneğin, çivi işinde) olduğundan daha üst düzey bir kavramsal çalışmaya ve teknik uzmanlaşmaya rastlanır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki kapitalist sistemin ironik yanlarından biri

de şudur: Günümüzde bilim ve teknoloji alanında hükümetin desteklediği araştırmalar, özel sektör tarafından desteklenen araştırmalara kıyasla teknik açıdan daha üst düzey araştırmalardır. Sonuç olarak, her çeşit üst-teknoloji ürününün ve sisteminin yaratıcıları olduğumuz doğru. Ama, tüketim ürünlerinin üretiminde yoğunlaşan ülkelerle ticari açıdan rekabet etme yeteneğimizi kaybettiğimizi görerek üzüldüğümüz de doğru. Oysa, otomobil ve elektronik tüketim cihazları üretme kabiliyetimiz sayesinde pazarı ele geçirebiliriz. Ama nedense, yeniliklere uygun bilişim silahları üretmeyi tercih ediyoruz.

Şimdi de, kuruluşların teknoloji alanında belirli yönlelere yönelmelerine neden olan güçleri ele alalım. Bu sorunu düşünüp taşınan bazı kişiler, şu sonuca ulaştılar: Teknoloji, ürünlere ve hizmet sektörüne yönelik talepleri belirlemektedir. Bu kişilere göre, teknoloji ve teknolojiyi destekleyen bilgi, bir kültürün temel itici güçleridir. Bu kuramı onaylayan kişiler bazen, teknolojik "ilerlemenin" "özerk" olduğunu söyleyecek ve "teknolojik tahakküm"den bahsedeceklerdir. "Teknolojik determinizm" olarak da adlandırılan bir yaklaşım, genellikle bu kuramı izlemektedir. Teknolojik determinizm, toplumsal yönelimlerin teknoloji tarafından belirlendiğini ve teknolojinin öncülüğünün insanlarca izlendiğini varsaymaktadır.

Bu tarz bir görüşe ilişkin ipuçlarını, Lynn White'in kaleme aldığı *Ortaçağ Teknolojisi ve Toplumsal Değişme (Medieval Technology and Social Change)* adlı mükemmel kitapta bulabilirsiniz⁽⁴⁾. White'in iddiasına göre, üzeninin keşfi, Avrupa'nın toplumsal yapısının değişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Üzenin olmaksızın, bir süvarinin at üzerinde savaşabilmesi neredeyse imkansızdı. Savaşçı, büyük kılıcını salladığında hedefe isabet ettiremeyecek olursa kendini yerde buluyordu. Üzeninin keşfinden önce, at sadece savaş meydanına gitmek için bir ulaşım aracı olarak kullanılıyordu. Üzeninin, ilk kez Doğu'da kullanıldığı ve sekizinci yüzyılın ilk yarısında Batı'ya getirildiği sanılıyor. Charles Martel'in komutası altındaki Frenkler, eğere yapılan bu basit eklemenin yepyeni bir savaşma biçimini mümkün kılacağını anladılar. Eğer süvari, bir mızrağı yeterince kuvvetli tutabilirse, atın momentumu süvarininkine eklene-

cektir ve mızrak, o zamanlarda yararlanılan savunma yöntemlerinin hiçbirisi tarafından durdurulamayacaktır.

Askeri teknolojidaki atılımların çoğu gibi bu başarı da, ortalığın kızışmasına yol açtı. Frenklerin düşmanları da, attan bu şekilde faydalanmaya başladılar. Bu durum, Frenkleri avantajlarını korumaya yöneltti. Böylece, daha çok at kullanmaya ve avantajlarını koruma amacıyla hem süvari hem de at için zırh yapmaya başladılar. Düşmanları da benzer değişiklikler yaptı. Ve çok geçmeden bu işe büyük miktarlarda para harcanmaya başlandı. Bu tür savaşların ilk zamanlarında bir savaşçıya ait teçhizatların maliyeti, yaklaşık yirmi öküz bedelindeydi. Bu bedel, on çiftçi ailesinin kullandığı teçhizat bedeline eşitti. Ayrıca, şövalyenin yardımcısı için teçhizata ve savaşta ölen atların yerini alacak yedek atlara ihtiyaç duyuluyordu.

White'a ve onunla aynı görüşü paylaşan kişilere göre feodalizm, teknolojinin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Üzeninin keşfi, teknolojik bir gelişmedir. Bu teknolojik atılım, önce yeni bir savaşma biçiminin bulunmasına neden olmuştur. Bu savaşma biçiminin desteklenmesi ise, doğal kaynaklara duyulan ihtiyacı ön plana çıkarmıştır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi de, yeni bir üretim biçimine geçilmesini zorunlu kılmıştır; ve sonuçta feodalizm ortaya çıkmıştır. O zamanlardaki temel kaynaklar, öncelikle toprak ve topraktan sağlanan mahsuldü. Charles Martel ve ardılları, Kiliseye ait toprakların büyük bölümünü ele geçirdiler; ve bu toprakları kendileri adına şövalyelik yapma koşuluyla vasallara verdiler. Böylelikle yasallar, (Feodal sistemde derebeyinin himayesi altında bulunan ve ona hizmet eden kişiler.) köylüleri denetleyen soylu lordlar oldular. Atlı savaşma biçiminin hareketli doğası, istihkam kalelerinin yapılmasına yol açtı. Zırhın tamamen gizlemesi yüzünden şövalyeler tanınmadığı için de, zorunlu olarak hanedan armacılığına gereksinim duyuldu. Turnuvalar da savaş egzersizi haline geldi. Teknolojik determinizm yaklaşımının bu senaryosu, Ortaçağ Avrupası hakkında tarih kitaplarında anlatılan "gerçekleri" değiştiriyor. Bu yaklaşıma göre, Ortaçağ dönemine ait toplumsal hiyerarşi, debdebeli törenler ve şiddetli çarpışmaların kökleri, doğrudan doğruya üzeninin keşfine kadar uzanıyor.

Toplumsal yapının değişmesinde teknolojik ilerlemelerin belirleyici güç olduğunu iddia eden bu görüş, size basit görünebilir. Ancak, birçok insan bu görüşü paylaşmaktadır. Şüphesiz, teknolojiyle ilgili insanların çoğu, teknolojik ilerlemelerin toplumsal değişmeyi ve gelişmeyi şekillendirmesi gerektiğine inanır. Bu anlaşılabilir bir şeydir. Çünkü mesleklerini seven mühendisler, yeni teknolojinin 'iyi' olduğuna ve herkesin böyle hissetmesi gerektiğine inanırlar. Bu tür kişiler, yeni bir şirket kurarken, üretecekleri yeni bilgiler için bir pazar bulacaklarından emindirler. Bu durum belli ölçüde doğrudur. Sözelimi, bilgisayar sanayisinin ilk yıllarında, yeni teknolojik ilerlemelerin çoğu için bir pazar bulunuyor gibiydi. Bu konuda teknolojik optimizmin kalelerinden biri olarak orduya daima güvenilebilir. Amerika Birleşik Devletleri savunma kurumunun, teknoloji ve bilimi desteklemesi bunu yeterince kanıtlıyor. Ordu, teknolojik atılımların yeni silahlar sağlayacağı inancıyla, araştırma ve geliştirme çalışmalarına para yardımıyla bulunmayı adet edinmiştir. Ordunun inancı- na göre, yeni silahlar ülkemize saldırılma olasılığını en aza indirecektir; ve herhangi bir saldırı durumunda kazanma olasılığımızı artıracaktır. İroniktir ki teknolojik gelişme, ordunun o çok sevdiği gele- neksel stratejisini, taktikleri ve davranış kurallarını artık uygulayamayacağı türde bir savaşma biçimini gerektiren bir noktaya ulaşmak üzeredir. Öyle görünüyor ki kitlesel kıyım silahları, bireyin savaşçılık hünerlerinin pabucunu dama atıyor.

Buna karşın, teknolojik determinizm yaklaşımına karşıt tarihsel örnekler de çok. Vietnam'da da görüldüğü gibi gelişkin teknoloji, savaşın sonucunu her zaman belirleyemez. İş dünyasında kuşaktan kuşağa aktarılan bilgiler, başarısızlığa uğrayan teknoloji tabanlı şirketlerin öyküleriyle doludur. Genelde, Amerika Birleşik Devletleri sanayileri, teknolojik açıdan ülkemizin Pasifik Okyanusu etrafındaki diğer ülkelerden daha ileri durumda olduğuna inanırlar. Bununla beraber, bizden daha küçük olan bu ulusların sergilediği rekabet, teknolojik determinizmin yol açabileceğinden çok daha şiddetlidir.

Çin, uzun tarihi boyunca, çok sayıda teknolojik buluş ortaya çıkardı. Ama Çinliler, teknolojik buluşlarını, ekonomik kazanç sağlama amacıyla kullanmaktan kaçındılar. Ayrıca bu konuda Batılı ülkelerin

yaptığı kadar büyük bir gayretkeşlik içinde neredeyse hiç girmediler. Japonlar da, ateşli silahların geliştirilmesinde ilk mucitler arasında yer almalarına karşın, ateşli silahları 300 yıl boyunca kullanmamayı tercih ettiler⁽⁵⁾. Bu kültürlerde, teknolojik determinizmden başka birşeyin iş başında bulunmuş olması gerekiyor. Teknolojinin yönelimini ortalıktaki başka şeyler yerine toplumlar belirliyor olamaz mı? Yani bireylerin duyguları ve bir kültürün ruhsal durumları bu sorunun yanıtı olamaz mı?

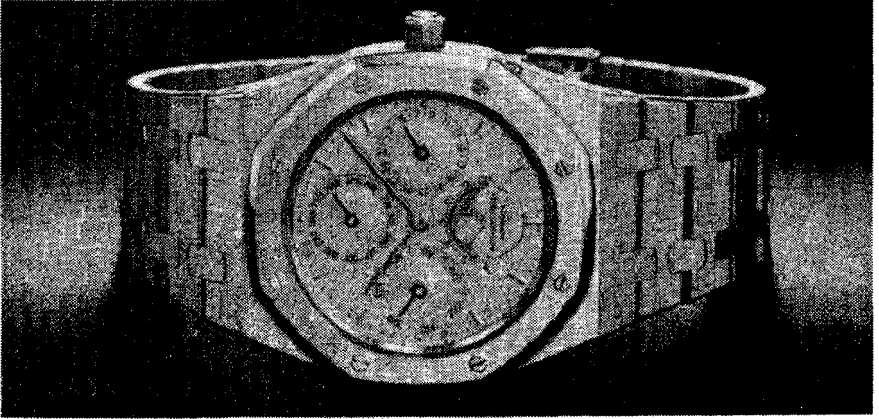
İş dünyası, teknolojinin talepleri karşılayarak pazara yanıt verdiği düşüncesinden hoşlanır. Bu düşünüş biçimi, "teknolojinin başka bir yöne iteklemesine" karşı "pazarın kendine doğru çekmesi" olarak bilinir. Bu görüşü doğrulayan kanıtlar bulunabilir elbette. Örneğin ses üstü ulaşım, ticari bir başarısızlığa uğramıştır. Nedeni ise basit: Çünkü insanlar okyanusu, bedelini fena halde ödeyecekleri bir hızla geçmek istememişlerdir. Amerika Birleşik Devletleri patent listesine bakarsanız birçok buluşun hiçbir etkiye sahip olmadığını görebilirsiniz. Bu görüşü, müşteri determinizmi olarak da adlandırabiliriz. Yani, teknolojinin topluma ait yönelimleri belirlemesinden ziyade, insan taleplerine yanıt veren bir teknoloji söz konusudur. İhtiyaçlar da, pazar tarafından belirlenmektedir. Bu kuramı kabul eden kişiler, üzenin keşfini şöyle bir varsayıma dayandırabilirlerdi: Savaşçılar, at sırtındayken daha ağır silahlar kullanabilecekleri yöntemlere ihtiyaç duymuşlardı ve bunun bedeli neyse ödemek istiyorlardı.

Ancak bu basit açıklama, ayrıntılı bir incelemeye karşı koyamaz. Nathan Rosenberg, *Kara Kutunun İçinde: Teknoloji ve Ekonomi (Inside the Black Box: Technology and Economics)* adlı kitabında, teknolojik buluşlarla ilgili on çalışmayı gözden geçiriyor. Bu çalışmalar, genellikle teknolojik buluşların başarı kazanmasında yönlendirici güç olarak pazarlamanın hakimiyetini destekleyen iddialar olarak bilinirler⁽⁶⁾. Rosenberg'in ulaştığı sonuç ise, bu çalışmaların rüzgâr ne yandan eserse o yana yöneldikleri ve konuların bu denli basit olmadığı yönünde ki ben de kendisiyle aynı görüşü paylaşıyorum. Yani, teknoloji de pazar da aynı ölçüde önemlidir. Fayda sağlamaya yönelik olmayan bir teknolojiye çok sık rastlanmaz. Teknolojik kapasite ve pazar, karşılıklı olarak birbirini etkilemektedir. İnsan-

lar, hayal bile edilemeyen teknolojik başarıların cazibesine mutlaka kapılırlar. Kuruluşlar da reklamcılık aracılığıyla mutlaka talep yaratırlar. Ancak, teknolojinin mevcut pazar taleplerine karşılık verdiği de eşit ölçüde doğrudur. Sonuçta bu durum, tavuk ve yumurta ikileminin başka bir uyarlamasıdır. Yoksa tavuk veya yumurtadan birinde karar kılınmış değildir.

Kuruluşlar, teknolojik olarak erişilebilen ve pazarı bulunan projeleri üstlenmek zorundadırlar. Zekice yapılan yatırımlarda başarılı ürünlerin hem teknolojik kapasite tarafından yönlendirildiği hem de pazar talebi tarafından sürüklendiği göz önünde bulundurulur. Teknolojik ilerleme, başarıma kabiliyeti ile birlikte satın alma talebine de ihtiyaç duyar. Kısacası, ne pazar talebi ne de teknolojik kabiliyet tek başına yeterlidir. Sözgelimi, evde kullanılmak üzere yapılmış diş çekme aletleri (Edsel), entegre devreler sayesinde konuşabilen oyuncak ayılar ve amatörler için üretilmiş video kameraları gelişkin bir teknolojiye sahiplerdi; ama tam anlamıyla bunlara yönelik bir pazar bulunmuyordu. Elbette, bunun tam tersi de söz konusudur. Örneğin kamuoyu, 1940'larda uçaklara ve özel helikoptere dönüştürülebilen otomobiller talep ediyordu; ama erişilebilir teknoloji, pazar tarafından talep edilen bu ürünleri üretemezdi (hâlâ da öyle).

Teknoloji insanlara ait bir etkinlik olduğu için duygular, mühendislerin üzerinde çalıştığı problemlerin belirlenmesinde önemli bir rol oynarlar. Teknoloji, genellikle hiçbir eksiği bulunmayan rasyonel bir teşebbüs olarak görülür. Bu anlamda teknoloji, rasyonel tüketiciler için ürünler üretilmesidir. Ne var ki, gerçeğin ötesinde hiçbir şey bulunmayabilir. Çoğu kişi, fotoğraf makinelerine kompakt disk çalarlara, arabalara ve kimsenin kullanmadığı özellikler içeren diğer ürünlere sahiptir. Peki ama insanlar, fotoğrafı gerçekten de saniyenin binde biri bir sürede mi çekiyorlar? Gerçekten de diskin üzerindeki parçaların sırasını ayarlıyorlar mı? Tanıdığım bilgisayar sahiplerinin çoğu, bilgisayarlarının ne kadar hafızası bulunduğunu ezbere bilir; ama bu hafızanın ne kadarını kullandıklarının farkında bile değildirler. Eğer bunu öğrenmiş olsalardı, bilgisayarlarının aslında kendi kullandıklarından çok daha fazla bir kapasiteye sahip olduğunu görürlerdi. Bu, aşırı kapasitenin değerli olmadığı anlamına mı geli-



Audemars Piguet'in CEO koleksiyonundan bir saat. Saatin üzerindeki otomatik göstergeler, tarih, gün, ay ve kronometrik zaman dışında Ay'ın hareketlerini de gösteriyor. Saat, ayların farklı uzunluklarını ve 2100 yılına kadar artık yılları da hesaba katacak şekilde programlanmış. Teknolojinin öncülüğü mü, pazarın talepleri mi?

yor? Hiç de değil. Aşırı kapasite kuşkusuz değerli çünkü biz insanların hoşuna gidiyor. Jet İtli Laboratuvarındaki eğlenceli günlerimde şundan iyice emin olmuştum: Amerika Birleşik Devletleri uzay araştırması, eğlendirici olduğu ölçüde kamuoyunu ilgilendiriyordu. Belli ölçüde de olsa, halkın, büyük araştırmaları debdebeli törenlerden ötürü desteklediğine hâlâ inanıyorum. Ya Stratejik Savunma Girişimine (Strategic Defence Initiative) ne demeli? Bunu Yıldız Savaşları olarak adlandırmamız bir rastlantı mı? Yoksa Lucas filmciliğin cazibesine mi kapılıyoruz? Peki ya uçaklar? Üniversite yıllarında savaş karşıtı ve liberal geçinen arkadaşlarıma, Silahlı Kuvvetler Günü'nde Mavi Meleklerin yaptığı gösteriyi izlerken ya da Top Gun ve benzeri filmlere bilet almak için kuyrukta beklerken rastlıyorum sık sık.

Teknolojinin yönelimi talepler, beğenmeyişler, düşmanlıklar ve ihtiraslar içerir. Askerlik görevimi, Hava Kuvvetleri'ne bağlı Edwards Hava Üssü'nde bulunan Hava Kuvvetleri Uçuş Deneme Merkezi'nde yaptım. Ordunun karar kademesinde bulunan üst düzey yetkililerin, teknolojiden mantık sınırlarını aşan bir ölçüde büyülenmediklerine, beni hiç kimse ikna edemez. Size, çok sık tanık olduğum bir durumdan bahsedeyim. Düşük rütbeli arkadaşlarımdan çoğu,

yüksek rütbeli subayların hoşuna giden askeri bir makineye ihtiyaç duyulduğunu rasyonel bir zemine oturtma mücadelesi verirdi.

Askeri tarihi yorumlayacak olursak, savaşlarda çok önemli değişiklikler yaratan silahların teknik açıdan gelişmiş olduklarını söyleyebiliriz. Ama, savaş esnasında güvenilir olup olmadıkları ve kullanan kişilerin becerileriyle bağdaşıp bağdaşmadıkları konusunda hiçbir şey söyleyemeyiz. Ordunun istediği silahların çoğu, kullanılabilirlik açısından öylesine uç bir noktada bulunuyor ki savaş sırasında işlevlerini yerine getiremeyebilirler. Ordu zihniyeti, onura, zafere ve savaşçılara saygı duyar. Savaş uçakları arasındaki hava çatışmaları veya savaş meydanlarında yüz yüze yapılan çarpışmalar gibi geleneksel savaşma biçimlerinin yetersizliği kanıtlanmış olsa bile bunların yok olduğunu görmeye asla tahammül edemez. Ordu, duygularıyla harekete geçen müşteriler kümesinin sadece tek bir örneğidir. Yazık ki bu müşteriler, duygularıyla hareket ettikleri gerçeğini nadiren kabul ederler.

Gelgelelim mühendisler de duygusaldır ve bu duygusallık, teknolojinin yönelimlerini etkiler. Bir mühendis olarak üzerinde çalışmaktan zevk aldığım problemlerin peşine düşerim. Bana haz verecek çözümlere meyilli olurum ve mekanik şeylerden hoşlanırım. Şayet, televizyonun ilk geliştirildiği çalışmalara katılmış olsaydım televizyonu elektronik değil mekanik olarak tasarlamaya kalkışardım. Bu da, büyük bir şanssızlık olurdu; çünkü bu tür şeyler en iyi, elektronik olarak tasarlanabilir. Kendi çalışma ortamımı, bilinçli ve bilinçsiz biçimlerde öylesine düzenlerim ki daha çok benim sevdiğim tarzda işlerin yapılması mümkün olur. Bu belirleme, başaranın sınırlarını da çizer.

Şansın yanı sıra, daha birçok faktör de, teknolojinin yönelimlerini etkiler. James Burke'ün hazırladığı popüler televizyon dizisi "Bağlantılar" (Connections), teknolojiyi tesadüfen gerçekleşen birbirinden bağımsız olaylar zinciri olarak ele alıyor⁽⁷⁾. Burke'ün kurduğu bağlantılar, teknolojik gelişmenin yönelimlerini iki düzeyde inceliyor. Bir yanda, kültürel ihtiyaçların, politik ittifakların ve ekonomik taleplerin rastlantısal birleşmesi bulunuyor. Diğer taraftaysa, belirli teknik ve bilimsel fikirlerin güçlü etkilere sahip olmasına neden olan zamanlamalar bulunuyor. Bu bakış açısı, örneğin Leonardo

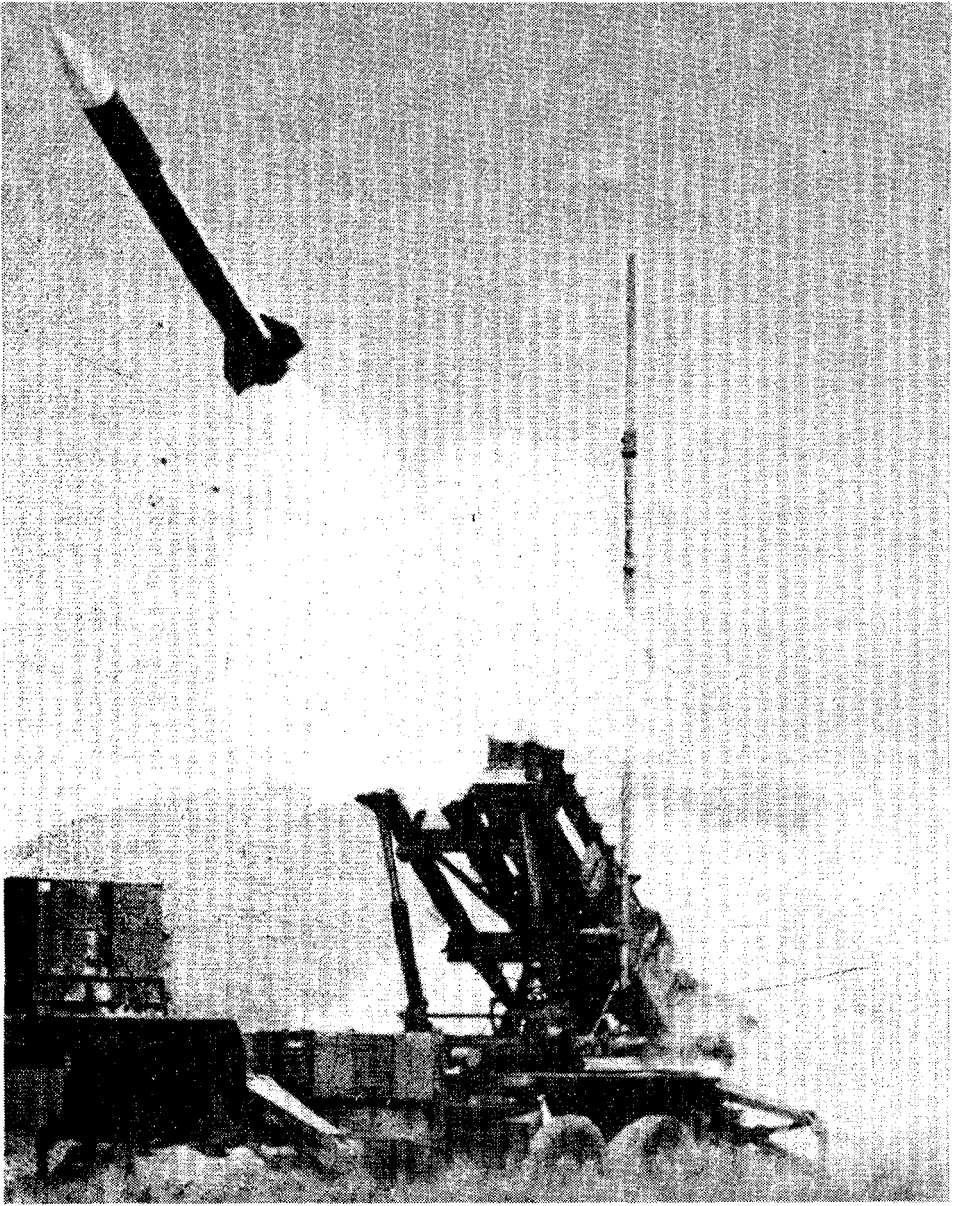
da Vinci'nin icat ettiği paraşütün ve tankın niçin hiçbir etkiye sahip olmadığını açıklamaya çalışıyor. Yapılan açıklamaya göre, dünya bu buluşlar için henüz hazır değildi. Ben, teknolojik ilerleme hakkında ki kişisel görüşümde Bay Burke kadar kaderci değilim; ama şansın bir rol oynadığı da kesinlikle doğru.

Teknolojinin iteklemesi, pazarın çekmesi ve bu güçlere duygusal faktörlerin karışmasından başka bazı faktörler de söz konusudur. Diğer bir deyişle, mühendislerin etkinlikleri ve çözmeye uğraştıkları problemler, bazı başka nedenlerden de etkilenmektedir. Teknolojik bir buluşun öncelikle hayat standartını geliştirmeye yönelik olduğu söylenebilir. Ancak bu konuda teknolojiyi etkileyebilecek ilk temel koşul, ekonomidir. Teknolojinin işleyiş gösterebilmesi için ekonominin, enerji ve doğal kaynaklara yatırım yapılmasına olanak tanıyacak ölçüde refaha ulaşmış olması gerekir. Bir kültürün, ekonomik kaynaklarının % 100'ünü hayatın sürdürülmesi için kullanmak zorunda olduğunu düşünün. Bu durumda, önemsiz bir teknolojik gelişme kaydedilecektir. Toplumu geçimlik ekonominin üzerine çıkaracak birşey meydana gelirse teknoloji, hızla gelişebilir. Hayvanların evcilleştirilmesi ve tarımın artı değeri mümkün kılmasından hemen sonra Neolitik devrimde yaşanan da, işte bu olmuşt u. Bunun bir benzeri, Sanayi Devrimi'nde yaşanmıştı. Çünkü bu sırada Avrupa, ticaret ve kolonileşme sayesinde daha da zenginleşmiş ve kullanabileceği hammadde miktarı da fazlasıyla artmıştı.

Teknoloji, aynı zamanda başka teknolojilere de bel bağlar. Rosenberg, tanımlayıcılardan bahsediyor. Demiryolları ve buharlı gemiler sayesinde tarımsal ürünlerin düşük maliyetli ulaşımı mümkün oldu. Buna bağlı olarak, tarım sektörünün doğası (dolayısıyla da, ziraat mühendisliği) büyük ölçüde değışti.

İşe yeni soyunan elektrik sanayisi ise, elektrik üretiminde, enerji transmisyonunda ve enerji ölçümlerinde, lamba ve elektrik motorundaki eşzamanlı ilerlemelerle desteklendi.

Teknoloji, eğer başarılı olmak istiyorsa, kültürel görüşlerle uyum içinde olmak zorundadır. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri, tuvalet eğitimini fazlasıyla almış bir kültürdür; ve bu nedenle de, lağım sistemimizin makul ölçülerde gözden ırak olmasını bekliyoruz.



Raytheon A.Ş. tarafından geliştirilen bir Patriot füzesi. Körfez savaşı sırasında bu füzeler, SCUD füzelerini durdurma kabiliyetleri ile halkın dikkatini üzerlerine çektiler.

Ama, bin yıldır toprağa atılan pisliklerin önünü keseceğiz diyerek, kullanıldıktan sonra atılan çocuk bezlerini dünyaya kazandıranlar da yine bizleriz!

Toplumumuzda teknolojinin sembolik bir yeri var. Teknolojik kapasite açısından dünyada bir numara olmak istiyoruz. 1960'lar-da Rusya'nın uzaydaki cesaretini kabul edemedik. Bu yüzden, "uzay yarışında" öncü olabilmek uğruna olağanüstü bir çaba gösterdik. İkinci sınıf performansımızı aklamak için giriştiğimiz sürekli çabaları anımsıyorum. Beni en çok güldüren savunma anlayışlarından biri de şuydu: Rusların geliştirdiği güçlendirici roketler çok büyüktü; çünkü roket yükünü küçülebilecek kadar zeki değillerdi. O zaman-lar bunun özellikle ilginç olduğunu düşünmüştüm. Bana öyle görü-nüyordu ki biz, güçlendirici roketleri yeterli düzeyde geliştirmek-ten aciz olduğumuz için roketleri küçültmek zorunda kalmıştık. Ken-dimizi hâlâ teknolojik başarıyla ölçüyoruz. Challenger felaketi ve bunun hemen ardından Japonların elektronik alanındaki başarıları sonucu ortaya çıkan büyük sıkıntı, sadece can ve mal kaybını yan-sıtmıyor, kendi kişisel imajımızı da zedeliyor. Bence, Amerika Birle-şik Devletleri'nde teknolojinin yönelimi, kendi teknolojik kibirliliği-mizden etkileniyor.

Teknolojinin yönelimlerini etkileme konusunda hükümetimizin üstlendiği rolün değerini gözardı edemeyiz. Amerika Birleşik Devletle-ri hükümeti, her şeyden önce, yeni teknolojik kapasitenin geliştiril-mesinde para desteğini üstleniyor. Özel sektördeki belirli projelerle ilgili Araştırma ve Geliştirme'ye para desteği sağlıyor. Ulusal Bilim Vakfı ve Ulusal Sağlık Kurumları gibi kuruluşlar aracılığıyla temel araştırma ve geliştirmenin masrafları üstleniliyor. Ve kendi bünyesinde Amerikan Uzay ve Havacılık Araştırmaları Merkezi (NASA), Donan-ma Savaş Aletleri Deney Merkezi (NOTS) gibi laboratuvarlar kurarak para desteği işlevini yerine getiriyor. Amerika Birleşik Devletleri'nde-ki bütün araştırma ve geliştirme masraflarının neredeyse yarısı, hü-kümet tarafından karşılanıyor (arka sayfadaki tabloya bakınız). Hükü-met, ayrıca, mühendislerce üretilen ürünler için kaynak sağlanması görevini de üstleniyor. Üstlendiği bu rolde güdümlü füzelerden, yatak lazımlığına kadar herşeyi satın alıyor.

**1989 mali yılında
araştırma ve geliştirmeye
ayrılan federal kaynaklar
(R&D tesisi dışında)**

Bütçe fonksiyonu

Milyon dolar olarak

Milli savunma	40,574
Sağlık	7,724
Uzay araştırması ve teknoloji	4,589
Genel bilim	2,379
Enerji	2,427
Ulaşım	1,019
Doğal kaynaklar ve çevre	1,208
Tarım	910
Eğitim, öğretim, istihdam	343
Uluslararası ilişkiler	141
Kıdemli personele sağlanan olanak ve hizmetler	212
Ticaret ve ev kredileri	134
Adalet Bakanlığı	45
Bölgesel gelişme	77
Toplam:	61,823

Kaynak: Amerika Birleşik Devletleri
İstatistik Özeti, 1990, sf.585

Hükümetimizin teknoloji alanında oynadığı bu rolün yararları ve zararları, özellikle savunma ve uzay gibi alanlar söz konusu olduğunda ateşli tartışmalara yol açmaktadır. Hükümet, topluma yararı dokunan ve dış ticarete ülkeyi ekonomik açıdan güçlendiren bir teknolojik kapasite söz konusu olduğu ölçüde bu tür çabaları onaylamaktadır. Hükümet, bu onaylamanın bir parçası olarak, kamu sektöründeki araştırma ve geliştirmeyi izleme amacıyla düzenli çalışmalar sürdürmektedir. Bu görüşün diğer yakası ise şunu savunur: Hükümetin üstlendiği bu tür bir harcama, özel sektördeki rekabete yardımcı olma açısından o denli verimli değildir. Mesela, Japonların avantajlarından biri de, araştırma ve geliştirme çalışmalarının ordu etkinliklerinin dışında tutulmasıdır.

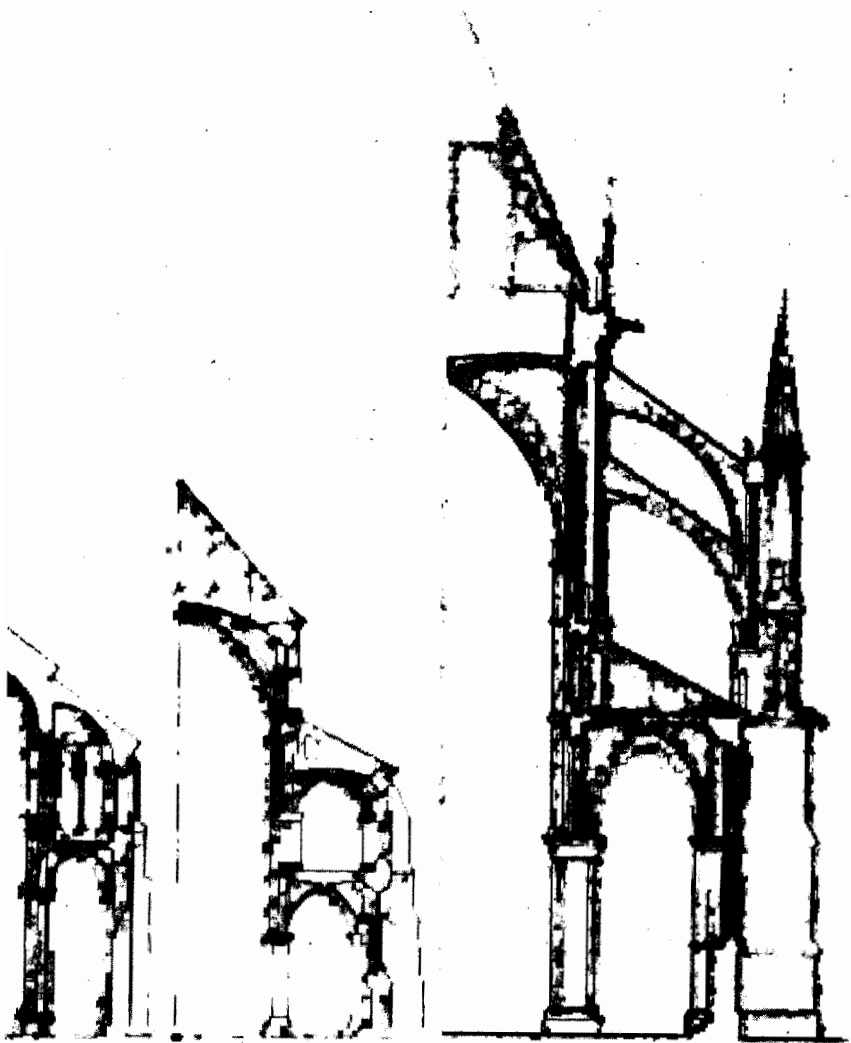
Sanırım, bu tartışmalar çok fazla önemli değil. Ama hükümetin üstlenmiş olduğu bu rol, teknolojinin yönelimlerinin nedenlerine ilişkin kuramlar geliştirilmesini daha da güçleştiriyor. Hükümet ve teknoloji arasındaki ilişki çoğu ülkede bizimkine benzer bir görünüm içeriyor. Ancak Amerika Birleşik Devletleri'nden daha güçlü bir teknoloji politikasına sahip bazı ülkelerde hükümet, teknolojik kapasitenin belirlenmesinde daha merkezî bir rol oynar. Japonya'daki MITI (Uluslararası Ticaret ve Sanayi Bakanlığı) ve onun teknolojik gelişmede oynadığı etkin rol hakkında çok şey okuduk. Hindistan hükümeti, koyduğu ekonomik engellerle teknolojik gelişmenin artırılmasında fazlasıyla aktif bir rol oynuyor. Bu engeller öylesine büyük ki yerel şirketlerin, teknoloji lisansı almalarına ve teknolojiyi nasıl kullanacaklarını uygulama sırasında öğrenmelerine olanak tanıyor. Bu sayede, gelişkin yabancı şirketlerle rekabet edilmesi mümkün olabiliyor.

Teknolojinin şu anki yönelimlerine neden olan güçler, insanlığın uzun vadeli iyiliği açısından doğru güçler mi? Bu soruya kesin bir yanıt verilemez. Arnold Pacey⁽⁸⁾, *Teknoloji Kültürü* (*The Culture of Technology*) adlı kitabında bu konuyu derinlemesine tartışıyor. Kitabı okurken, Pacey'in kullandığı terminolojiden çok zevk aldığımı da ekleyeyim. Teknolojinin yönelimlerini kontrol ettiğine inandığı üç ayrı değerler kümesine başvuruyor. Bunlardan birini, teknolojik kapasitenin niteliğiyle (yani, atılımlar, uzmanlaşma ve başarılarla) ilgili değerler oluşturuyor. Pacey, bu değerler kümesini ustalık değerleri olarak adlandırıyor. İkinci küme, ekonomik değerler ki bunlar, teknolojiyi ekonomik kalkınmaya ilişkin bir güç olarak ele alıyorlar. Üçüncü küme ise, tüketiciye ya da ihtiyaçlara ilişkin değerler. Bunlar da, teknolojinin bireye hizmet etme ve hayat standartını artırma seviyesiyle ilgili değerler. Bugün için refah toplumlarında "ustalık" değerlerinin ve ekonomik değerlerin, tüketici ve ihtiyaç değerleri üzerinde hakimiyet kurduğu açık. Teknolojinin iteklemesinden ve pazarın kendine doğru çekmesinden bahsettik; ama bütün dünya insanları için yeterli hayat standardı veya kişisel icraat gibi şeylere değinmedik. Ayrıca, ustalık değerleri ve ekonomik değerler, sınırsız doğal kaynaklar ve sonsuz büyüme varsayımları üzerinde temelleniyor. Bu varsayımların sorgulanmasına çoktan başlandı ve her zaman geçerli olmayacakları da kesinlik kazandı. Teknolojiyi yönlendiren güçlerin

de, zaman içinde değişmeleri mümkün; çünkü şu anki güçler, sonlu bir yeryüzü kavramını çok az önemsiyorlar.

Özet olarak, mühendisleri problemlere ve projelere başlatan süreç, teknolojinin kendi doğasını yansıtıyor gibi. Bu doğa, aşırı ölçüde insansı. Ayrıca, entellektüel ilginin, açgözlülüğün, sevginin ve şansın bir karışımı. Teknolojinin kendisi kesinlikle bazı momentler sağlıyor: Oynamak isteyenler için büyüleyici ve ödüllendirici bir oyun teknoloji. Teknoloji mutlaka bulunulan noktanın ötesinde bir yöne doğru "itekliliyor". Birşey yapabilme kapasitesine ulaşıldığı zaman da, iyi ya da kötü birşey mutlaka gerçekleşiyor. Ancak teknoloji, geleneksel olarak insanlara hizmet edegelmıştır. Başarılı olmayı isteyen kişi, teknolojinin ürünlerini istemek zorundadır. Kendine doğru "çeken" ve toplumsal ihtiyaçları karşılayan, pazardır. Duygular, pazarda, her zaman açıkça olmasa da geniş ölçüde kabul gören bir rol oynarlar.

Ancak, bir de şans faktörü söz konusudur. "Teknoloji politikası", "teknoloji planlaması" ve "teknoloji işletmeciliği" türünden ifadeler, oldukça yenidir. Teknolojik ilerlemeyi, rasyonel biçimlerde kontrol etmeye yeni yeni başlıyoruz. Teknolojik gelişmeler hâlâ diğer gelişmelerin babası oluyor ve çoğunlukla tahmin edilemeyen sorunlar ortaya çıkarıyorlar. Bir projede mühendislerin, beklenmeyen sorunlara ve zorluklara sürekli yanıt vermeleri gerekiyor; ve üretilen ürünler de, genellikle başlangıçta beklenenden oldukça farklı oluyorlar. Mühendislik ne tam anlamıyla tahmin edilebilen ne de tamamen kontrol edilebilen bir süreçtir. Bu anlamda mühendislik, hayatın diğer yönlerine benzer. Sonuçta, şu anda teknolojiyi ve dolayısıyla da mühendisleri, belirli sorunlar üzerinde çalışmaya yönelten güçler sonsuza kadar geçerli olmayacaklardır. Bunlar, nüfus yoğunluğunun daha az, teknolojik kapasitenin daha zayıf olduğu ve dünyanın sonsuz görüldüğü günlerden kalan varsayımlar üzerinde temellenmişlerdir. Teknoloji, görülmediği kadar büyük etkilere sahip olma kabiliyetini kazandıkça; nüfus yoğunlukları artıkça; doğal kaynaklar yavaş yavaş azalmaya başladıkça; ve kültürler arasında eşitlik sağlanmasına yönelik baskılar yoğunlaştıkça bu varsayımlar da değişmek zorunda kalacaklar. Sonuçta mühendislerin üzerinde çalıştığı sorunlar da bunlara bağlı olarak değişecektir.



Tasarım ve İcat

Kavram

Problemin tanımlanmasından sonra mühendisin ne yapması gerekir? Genellikle, birşey tasarlaması veya icat etmesi beklenir. Tasarım ve icadın, teknolojinin “yaratıcı” evrelerini oluşturduğu yönünde genel bir kanı vardır. Oysa, mühendisliğin bütün evreleri yaratıcılık gerektirir. Dolayısıyla, yaratıcılığın sadece belirli evrelere atfedilmesi, adaletsiz bir davranıştır. Gelgelelim mühendisler, ancak birşey tasarlayarak veya icat ederek medya ve kamuoyunun ilgisini çekmeyi başarıyorlar. Arka sayfadaki şekil birçok okuyucunun dikkatini çekmiş olmalı. Bu şekil, diğer birçok şeyin yanı sıra paraşütler, helikopterler, savaş tankları ve bisikletler tasarlamış olan Leonardo da Vinci tarafından çizilmiş. Yapımları 400 yıl boyunca mümkün olmayan ürünlerin ünlü tasarımcısı Leonardo da Vinci’nin yeteneğinden etkilenmemek elde değil. Leonardo da Vinci’nin düşünceleri kendi dönemini derinden etkileyememiştir. Bunun nedeniyse tasarımlarına ait çizimlerin uzun yıllar boyunca bulunamaması değildir. Leonardo’nun kavramlarının farklı alanlara ait bilgiler içermesi ve o dönemlerde uzmanlaşmanın olmayışı, bu kavramların hayata geçirilmesini önlemiştir. Leonardo da Vinci’nin, yaşadığı dö-

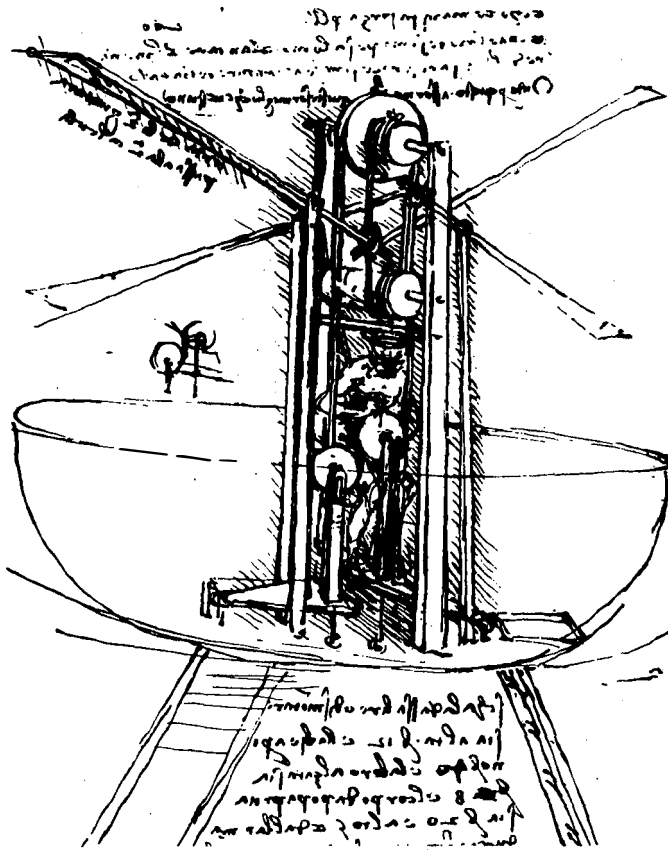
nemin teknolojisinin ötesine geçtiği açık. Maalesef bu yaratıcı kişiliğin düşüncelerinin uygulamaya geçirilmesi uzun zaman aldı. Buna karşın, hayranlığımızı belirtmemiz gerekir.

Yaratıcılık uzun süredir ilgimi çeken bir konu. Bu konuda çalışmalar yaptım, dersler verdim ve yaratıcılığı daha iyi kullanma ve işletmeyle ilgilenen her tür insanla görüştüm. İnsanların yaratıcılık düşüncesine verdikleri önem, beni her zaman hayrete düşürüyor. Oysa bir kavramın en iyi biçimde uygulamaya geçirilmesi ve tutucu bir dünyaya kabul ettirilmesiyle karşılaştırıldığında özgün bir fikrin ortaya atılması nispeten daha kolay bir iştir. Parlak fikirler, hepimizin hoşuna gider. Hayatımızı etkileyen özgün kavramları üreten kişilere saygı duyarız. Fakat Leonardo'nun düşüncelerinin, teknolojinin gelişimini etkileyip etkilemediğini kendimize dert etmeyiz. Sanırım, tuhaf bir çelişki bu.

Mühendislik yıllarımın büyük bir kısmını tasarımla geçirdim. Boş, beyaz bir kağıt alıp, üzerinde şekiller yaratmak, hesaplamalar yapmak beni her zaman heyecanlandırmıştır. Kavramlar hakkında benden daha parlak düşünceleri olan insanlar hep merakımı uyandırmıştır. Ama beni en çok etkileyen şeyler, gerçekleştirilen düşünceler ya da uygulamaya geçirildiklerinde amaçlanan işlevlerini başarıyla yerine getiren icatlar ve tasarımlar olmuştur.

Kültürümüz, “mucit” kavramından nerdeyse büyülenmiş görünüyor. Guttenberg, Watt, Edison, Marconi, Wright Kardeşler, McCormick ve Whitney gibi kişilerin hikâyeleriyle büyüydük. Ruslar, birşeyi ilk kez bulduklarını iddia ettiğinde canımız sıkıldı. İcat düşüncesiyle bizimkinden daha az büyülenen kültürleri kendimizden küçük gördük ve bu kültürlerde yaşayan insanların yaratıcılıklarını ve zekalarını asla önemsemedik.

İcat, Japonya’da hiçbir zaman Amerika Birleşik Devletleri’nde olduğu gibi bir takıntı haline gelmemiştir. Oysa Japonların bizden daha az yaratıcı olduğu söylenebilir mi? Hiç sanmıyorum. Onlar, bizimkinden çok daha kısıtlı, küçük bir kara parçası üzerinde çok daha eski bir kültüre sahipler. Yeni ürünler icat etmenin yanı sıra, mevcut buluşları mükemmelleştirme konusuna da eğildiler. Süreçe daha fazla, icadın kendisine ise daha az yaratıcılık katıyorlar. Ama insanlık tarihinin içinde bulunduğumuz döneminde bu eğilim, Japonların işine daha çok yarıyor.



Leonardo da Vinci tarafından tasarlanmış bir uçan makinenin çizimi.

İnsanlar ve tarih kitapları, oldum olası, teknolojik buluşları tek bir kişiye maletmek istemişlerdir. Birinci bölümde bu tür kişilerden bahsetmiştim. Ama yapılan araştırmaların gösterdiğine göre, bir icadın sadece tek bir kişiye ait olması nadiren gerçekleşen bir durumdur. Geçmişin büyük icatlarından bazılarını düşünün. Acaba matbaa makinesi nasıl icat edilmişti? Johann Guttenberg (1400-1467) matbaayı bir çırpıda mı bulmuştu? Asıl mesleği kuyumculuk olan Guttenberg, Johann Fust (1400-1466) ve Fust'un damadı Peter Schoeffer (1425-1502) ile birlikte Almanya'nın Mainz kentinde bir basımevi kurdu. Kurdukları bu basımevinde elliden fazla kitap basıldığı

sanılıyor. Bununla beraber, kağıt olmaksızın matbaanın ticari açıdan başarı kazanması mümkün olmayacaktı. Neyse ki onikinci yüzyılın başlarında bu sorun çözüldü. Müslümanlar kağıdın Avrupa'ya getirilmesine önayak oldular. Kağıdın yanında seri basım tekniği de, Doğu'dan transfer edilmiştir. Marco Polo, Kubilay Han devrinde Moğol İmparatorluğu'ndan öğrendiği basılı kağıt kullanımının faydalarını onüçüncü yüzyılda Avrupa'ya tanıtmıştır. Aynı yıllarda Monte Corvino Başpiskoposu John, Çin'de gördüğü basılı kağıt kullanımından hayli etkilenmiş ve burda edindiği bilgileri Avrupa'ya getirmiştir. Seri basım tekniği, onbeşinci yüzyıla gelindiğinde oyun kartları, dinî resimler ve hatta kitap basımında yaygın olarak kullanılan bir teknik olmuştu. Benzer bir şekilde, baskı mürekkebi ve matbaa makinesi de Guttenberg'in dükkanını açmasından önce kullanılıyordu. Bence bu durumda asıl sorulması gereken soru, matbaayı kimin icat ettiği değil, en kullanışlı basımı kimin geliştirdiği olmalı; yani, baskıda kullanılan portatif basma harflerini kimin icat ettiği.

Kayıtlar, bu konuda da Guttenberg'e fazla şans tanımıyor gibi. Guttenberg'lerin Mainz'de açtığı dükkandan daha eski tarihlerde Hollanda'da basıldığı düşünülen kimi belgeler var. Fransa'daki ilk çalışmalar da, kullanışlılık açısından oldukça kayda değer görünüyor. Yine de, harflerin yapıldığı kalıplar hakkında öne sürdüğü parlak fikirlerinden ötürü Guttenberg, bu konuda önemli bir isim sayılabilir. Guttenberg'in kullandığı kalıplar, tekrar tekrar kullanılabilirdi ve harflerin düzgün aralıklarla dizilmesi için gerekli olan boyutlarda yapılmışlardı. Açtığı dükkan, basım alanında önemli bir yere sahipti. Büyük bir olay olarak kabul edilen, İncil'in basılması çalışmalarına, yaklaşık 1450 yılına kadar başlanamadı. O yıllarda, harf kalıplarının dökümü ve dizgi tekniklerinde önemli gelişmeler kaydediliyordu. Büyük bir olasılıkla, İncil'in bir sayfasının tek seferde basılabilmesi için 20,000 adet harfin kullanılması gerekecekti⁽¹⁾. Üretimin daha sonraki aşamalarında ise, tek seferde altı sayfa basımı gerçekleştirildi. Muhtemelen 100,000 adet harf kalıbının kullanılması gerekmişti. O dönemlerde bu miktarda harfin yapımı, iki kişinin bir yıl boyunca çalışmasını gerektirmiş olmalı. İlkel denebilecek harf kalıplarıyla bir sayfanın dizilmesi, bir kişinin en azından yarım

gününü almış olmalı. Görünüşe göre, İncil'in basımında altı matbaa makinesi kullanılmıştı. Ayrıca, kağıdın yerleştirilmesi, mürekkebin koyulması ve basılan kağıtların kurumaları için asılması ve bunun gibi işlerde de başka insanlara ihtiyaç duyulmuştu. 1450'de, Gutenberg-Fust-Schoeffer dükkanında, muhtemelen 25 kişi çalışıyordu. Bu miktar o zamanlar için, kesinlikle hatırı sayılır bir yatırım oluştuyordu. İyi ama, matbaayı icat eden gerçekten Gutenberg miydi?

Bir başka örneğe ne dersiniz? Gelin, buhar makinesine bir göz atalım. Tarihte buhar enerjisinin kullanımının birçok örneği var. 1. Bölümde bahsettiğimiz gibi, İskenderiyeli Heron, sırf merakından ötürü türbin ve tapınak kapılarını otomatik olarak açıp kapayan bir ısı makinesi icat etmişti. Onyedinci yüzyılda yaşayan insanlar, suyu farklı yerlere taşımak ve suyun yoğunlaşması sayesinde vakum elde etmek için buharın hünerleriyle ilgileniyorlardı. İtalyan mimar Giovanni Branca (1571-1640), buhar fısıkiyesi kullanan bir tepkili türbin tasarladı. Ancak, dönemin mekanik teknolojisi, çalışan bir prototipin inşa edilebilmesi için yeterli değildi. Aynı yüzyılda, Torricelli, Pascal ve von Guericke, boşlukla ilgili ünlü çalışmalarını gerçekleştirdiler. 1690 yılındaysa Denis Papin, buharla çalışan bir makine icat etti. Buhar, bir pistonun dikey bir silindirin en üst noktasına kaldırılıp, bir mandal vasıtasıyla tutulmasını sağlıyordu. Buharın bir tüpün içinde yoğunlaşmasından sonra, mandal gevşiyordu ve böylece, atmosferik basınç, pistonun aşağıya inmesini sağlıyordu.

Thomas Savery, çok geniş kullanım alanı bulan bir buhar pompası icat ederken bu ilkedен yararlanmıştı. Bu pompanın geniş bir kullanım alanı bulmasının nedeni ise, maden ocaklarından su pompalama veya büyük binalara su depolama gibi o dönemler için önemli olan amaçlara hizmet ediyor oluşuydu. Aynı dönemlerde, Thomas Newcomen (1663-1729), Savery'den bağımsız olarak, benzer bir alet tasarlamıştı. Newcomen'in icat ettiği makine, Savery'nin su pompasından daha ileri düzeydeydi belki; ama Savery'nin aldığı patent ("ateşin yakıcı gücü") öylesine genişti ki, nerdeyse bütün kullanım alanlarını kapsıyordu. Savery'nin patentini gören Newcomen, bu nedenle, onunla ortak olmaya karar verdi. Ama bu arada kendi makinesini geliştirmeye de devam etti. Bu makine, onsekizinci yüzyıl başlarında pompalama işlerinde yay-

gın olarak kullanılmaya başlandı. Newcomen'in ölümünden sonra, makinesi, onsekizinci yüzyılın ünlü mühendislerinden John Semeaton gibi kişilerce geliştirildi. James Watt, onsekizinci yüzyılın sonlarına kadar sahnede görünmemişti. Kendisi, buhar makinesinin performansını kesin biçimde arttıran, parlak bir mühendisti. İcat ettiği dış kondensatör, her bir strokta silindirin soğutulmasını gereksiz kılarak makinenin verimini arttırıyordu. Watt, aynı zamanda, çift taraflı çalışma tekniğini ve buhar kaynağını ayırma kavramını da geliştirmiştir. Çift taraflı çalışma, buharın pistonu sırayla her iki ucundan sıkıştırmasını sağlayarak gücün arttırılmasını olanaklı kılıyordu. Piston kursunun sona ermesinden önce buharın kesilmesi ise, buharın yayılım safhasından daha verimli biçimde yararlanılabilmesini sağlıyordu. Watt, başarılı bir imalatçı olan Matthew Boulton'la birlikte yaptığı çalışmada, buhar makinesini verimlilik ve uygulama açısından üstün duruma getirdi; ama onu icat etti mi? Hayır. Ama nedense okullarımız, buhar makinesini Watt'ın icat ettiğini öğrenen çocuklarla dolu.

"Mucitlere" hayran oluşumuz öylesine ironik ki, teknolojik buluşları kimi isimlere yakıştırdığımızda genellikle kavramı ortaya atan ya da asıl tasarımı yapan kişi yerine, bu fikri başarılı biçimde uygulamaya geçiren ve yaygınlaştıran kişiden bahsediyoruz. Bunda bir yanlışlık olmasının sakını? Petrollü, içten patlamalı motorla çalışan ilk makineyi, Siegfried Marcus (1831- 1899) yapmıştır. Buna karşın, bu konuyu düşününce aklımıza Gottlieb Daimler (1834-1900) ve Karl Benz (1844-1929) gibi kişiler geliyor; çünkü onlar, geniş ve büyük etkiye sahip fabrikalarca yüceltildiler. Bugüne kadar otomobili Henry Ford'un icat ettiğini zanneden pek çok kişiye rastladım. Ford, ucuz üretim sayesinde otomobili popülerleştirmesiyle tanınıyor ama, montaj hattı bile Ford'un icatı değildir. Otomotiv sanayi, montaj hattı kavramını kullanan yatırımcıların, et paketleme işinden esinlenmesiyle başlamıştır.

Peki ya daha modern icatlar: Jet Motoru? Bilgisayar? Radar? Mikro işlemci? Biraz kafamız karıştı değil mi? Artık Cyrus Hall McCormick veya Alexander Graham Bell gibi mucitler bulunmuyor. Halbuki onlar da, kendilerinden önceki çalışmalara bağlıydılar. Belki de, uzmanlık gerektiren teknolojik başarılarla ulaşmak için yararlanılan ekip çalışmasının karmaşıklığını yeni yeni fark etmeye başlıyo-

ruz. Belki de, bahsettiğimiz bu buluşlar öylesine yeni ki tarihçiler, kamuya tanıtacakları tek bir mucit bulmakta güçlük çekiyorlar.

İcatın, bugünkü konumu için ne söylenebilir? İcatlar sona mı erdi? Yoksa, hâlâ varlar mı? Amerika Birleşik Devletleri için ne demeli? Bu konuyla ilgili bazı istatistikler bulunuyor. 1980'de, A.B.D.'de 66,200 patent verildi. Bu rakam 1988'de, 84,272 oldu. Bariz bir artış olduğu kesin ama, 1988'deki patentlerin % 47'si yabancı kişi ve şirketlere verildi. Yabancılar verilen patent oranı, 1963'de % 19, 1980'de % 37, 1986'da ise % 45'ti. Yüzde sıralamasında Japonlar, en üstte yer alıyor (Tabloya bakınız). Bu durum, Amerika Birleşik Devletleri açısından sorun oluşturuyor mu? İlle de sorun olması gerekmiyor. Amerika Birleşik Devletleri'nde kişilere ve kuruluşlara verilen patentlerin kesin sayısı, 1980'de 37,500 iken 1988'de 47,700 olmuş. A.B.D., icat konusundaki üstünlüğünü açıkça kaybediyor; ama bu durum, A.B.D.'de icadın yok olmaya başladığını değil, dünyanın başka yerlerinde yaratıcılığın arttığını gösteriyor.

**1988 yılında yabancı
kişi ve şirketlere veri-
len A.B.D. patentleri**

Ülke	A.B.D. patentleri sayısı	Toplam A.B.D. patentleri içinde yüzdesi
Japonya	16,984	20.2
Batı Almanya	7,501	8.9
Fransa	2,79	23.3
İngiltere	2,758	3.3
Kanada	1,642	1.9
İsviçre	1,298	1.5
İtalya	1,172	1.4
Hollanda	899	1.1
İsveç	891	1.1
Tayvan	536	0.6
Diğerleri	3,231	3.8
Yabancılar toplamı	39,702	47.1
Toplam	84,272	100.0

Kaynak: C &EN, Mart 27, 1989

A.B.D. patentlerinin % 17'si kişilere verildi. Hükümet, patentlerin % 1'ini alırken, kuruluşlar, patentlerin geri kalan % 82'sini aldı. Bireylere verilen patentler, 1980'de toplam sayının % 20'sini, 1970'lerde % 21'ini ve 1960'larda da % 23'ünü oluştuyordu. Bu durum, tarihteki büyük başarıların genellikle kendi başlarına çalışan mucitlere ait olduğunu yansıtıyor. Geçmiş yıllarda, "Ulusal Mucitler Konseyi" adlı ilginç bir topluluğun eğitim danışmanlığını yapmışım. Bu topluluk, Ticaret Bakanlığı'nın danışmanlığını üstlenmişti. Özellikle de patent verme konusunda çalışmalar yapıyordu. Konsey, Chester Carlson (kserografi), John Bardeen (transistör), William McClean (güdümlü füze), J. Presper Eckart (bilgisayar), Charles Stark Draper (füze veya uzay kapsüllerinin güdümlenmesi) ve Jack Rabinow (özyarlamalı saat ve sayısız birçok başka alet) gibi 24 tanınmış mucitten oluşuyordu. Topluluk, zamanının çoğunu, kendi başlarına çalışan mucitlerin durumlarını tartışarak geçiriyor ve mucitlerin teşvik edilmesi veya desteklenmesiyle ilgili olarak yasalarda yapılabilecek muhtemel değişiklikleri araştırıyordu. Kesinlikle yaratıcı olan bu topluluk bile yapabileceğinden fazlasını düşünemedi. İyi ya da kötü, kendi başlarına veya bir iki yardımcıyla çalışmayı deneyen mucitler, giderek daha kötü koşullar içerisine giriyorlar. Bunun bir nedeni, patent başvurusunun ve alınan patenti muhafaza etmenin, karışık ve yüksek bedelli bir süreç olmasından kaynaklanıyor. İkinci olarak da teknolojinin karmaşıklaşması, yeni kavramlarla ilgili deneyler yapılması için gerekli olan parçaların ve ortamların üretilmesini, daha fazla sermayeye ve çok sayıda disipline duyulan ihtiyacı ön plana çıkarıyor. Bu nedenle de, icatların büyük bir bölümü, örgütlenmiş bir bağlamda (özellikle de araştırma ve geliştirme başlığı altında) şekilsel olarak yapılıyor. Belirli sanayi gurupları (hava taşıtı, güdümlü füzeler, elektrikli cihazlar, makine, kimya ve ulaşım sanayileri), çeşitli fonlardan destek alıyorlar; ama Araştırma-Geliştirme'nin büyük bir kısmı, sanayi dışında gerçekleştiriliyor (Yan ve arka sayfadaki tablolara bakın).

İcadın kaynağı, yalnızca kendi başlarına çalışan mucitler ile formal araştırma ve geliştirme çalışmaları olmayabilir. Bunlardan başka, tasarım, üretim ve diğer işlemlerle bağlantılı olarak üretilen parlak fikirler de icatlara katkıda bulunabilir. Tarihe baktığımızda, tasarımı yapan kişinin, hemen her zaman yaratıcı olmasının beklendiğini görürüz. Neden mi?

Çünkü kuruluşlar, konumlarını güçlendirecek fikirler için patent almanın ne tür yararlar sağlayacağını iyi bilirler. Kuruluşlar hem kendilerine ait ürünlerin rakip firmalarca kullanılmasını önlemek hem de ürünlerini satmak veya ürünlerinin lisansını vermek gibi olanaklardan yararlanmak isterler. İyi ama bu, bir mühendis için ne ifade eder?

Kâr amacı güden bir kuruluşta çalışan kişi, birşey icat ederse, genellikle bu kişinin adı, icat eden kişi olarak patentin üzerinde yer alır. Ama, mülkiyet de dahil olmak üzere patentin bütün hakları, kuruluşu ait olur. Sektörle ilgili olmayan durumlarda ise kuruluşlar, icadı yapan görevli/mucide patent haklarının tümünü verme gibi bir politika izlerler. Örneğin, otomotiv sektöründe çalışan ve trenlerin şase ve makine aksamalarının geliştirilmesinden sorumlu olan bir mühendis, bir oyuncak icat ettiğinde, çalıştığı kuruluş, bu oyuncakın patentini bütün haklarıyla birlikte mühendise verir. Bazı kuruluşlar, icadı yapan kişiye (bir yeri işletmek için mülk sahibine verilen hisse gibi) kârdan yüzde verebilirler. Bu tür uygulamalara, özellikle oyuncak sanayinde sıkça rastlanır. Bilim kuruluşları ise, mesela benim çalışmakta olduğum kuruluş gibi, icadı yapan kişiye bütün patent haklarını vererek, yapılan işin bir vakıf veya hükümet gibi para desteği sağlayan bir mercii adına yapıldığını garanti altına almaya çalışırlar. Böylece, herhangi bir sözleşmeye bağlı olarak hak talep edilmesinin önüne geçerler.

<i>Bazı sanayilerde Araştırma ve Geliştirmeye ayrılmış toplam fonlar (özel ve kamusal) 1980 ve 1986 yıllarında, milyon dolar olarak</i>	Sanayi	1980	1986
	Uçak ve füzeler	9,199	16,240
	Elektrik teçhizatı	9,175	18,030
	Makineler	5,901	10,696
	Kimyasal ve alışım ürünler	4,636	9,021
	Motorlu taşıtlar	4,956	(mevcut değil)
	Profesyonel ve bilimsel araçlar	3,029	5,421
	Petrol rafinesi	1,522	(mevcut değil)
	Diğerleri	6,059	(mevcut değil)
	Toplam	44,506	80,629

Kaynak: Amerika Birleşik Devletleri
İstatistik Özeti, 1990, sf. 587

**1987 yılında Araştırma
ve Geliştirmede çalışan
bilim adamı ve
mühendis sayısı**

Sayı	Sektör (bin kişi olarak)
Sanayi	594.8
Üniversite ve yüksek okullar	119.1
Bilim adamları ve mühendisler	87.9
Mezun öğrenciler	31.2
Federal hükümet	62.3
Kâr amacı gütmeyen diğer kuruluşlar	30.0
Toplam	806.2

Kaynak: Amerika Birleşik Devletleri
İstatistik Özeti, 1990, sf. 588

Stanford Üniversitesi, patent alınmasıyla ilgili ilginç, teşvik edici ve başarılı bir program uyguluyor. Bir görevli veya bir öğrenci birşey icat edecek olursa, bu icat üniversite tarafından örgütlenen bir çalışma grubuna sunuluyor. Grup, buluşun kâr getirip getirmeyeceğini belirleme amaçlı bir ön-çalışma yapıyor. Eğer kâr sağlayıcı potansiyeli olduğuna karar verilirse, üniversite, buluşun patentinin alınmasına izin veriyor. Karın üçte biri, icatı yapan kişiye ait oluyor. Diğer üçte biri, icatı yapan kişinin bağlı bulunduğu akademik birime veriliyor. Kârın kalanını da, üniversite alıyor. İnsanların durmaksızın fikir ürettiği, ama bu fikirleri kâra dönüştürmek için gerekli hukuksal ve ticari işlerle uğraşmadığı bir kurumda, bu tür programların bulunması oldukça mantıklı. Patent başvurusu, araştırma yapan kişiye ödenen ücretten daha fazla masraf gerektirir. Bir buluşa patent alınması, avukat ücreti de dahil olmak üzere çeşitli masraflar içerir. Halbuki patent, sadece buluşun hukuksal olarak korunması için verilmiş bir ruhsattır. Ama başka kişilerin, patenti alınan bir buluştan esinlenmeleri ya da kopya çekmeleri önlenemez. Eğer bir kişi, patent almak için başvuruda bulunuyorsa bu kişinin, gerekli olduğu durumlarda, yasa önünde hakkını korumayı istemesi gerekir. Yasa önünde hak aramak ise kişinin, zamanını ve enerjisini harcamasına neden olur. Bir de avukatlarla ve mahkemelerle uğraşma zorunluluğu düşünülecek olursa, çoğu kişi, patent almaktan kolayca vazgeçecektir. Patent sahipleriyle sözleşme yapmak da oldukça karışık bir iştir. Bu tür işlere bu

laşmak istemeyen mucitler için, kendi başlarına çabalayarak fikirlerinden birşeyler kazanmaktansa, yıpranmaksızın, kârın üçte birini almak tercih edilecek bir durum olsa gerek.

3. Bölümde tartıştığımız gibi, başarılı buluşlar, bir ihtiyacı karşılamak ve teknik açıdan uygulanabilir olmak zorundadır. Kör alfabesi hız-ölçeri veya yer çekimine aykırı makineler bize fazla şey kazandırmaz. Eğer buluş, herhangi bir şekilde, şöhet, para veya itibar yoluyla kâr amacı güdüyorsa, fikrin oldukça iyi biçimde üretilmesi ve başarılı biçimde pazarlanması, birincil koşuldur. Peki ya bu fikrin üretimi nasıl gerçekleşir? Özgün bir fikrin üretilmesinde etkinliğe giren zihinsel süreçler için ne söyleyebiliriz?

Zihinsel süreçler hakkında en iyi bilgiyi, kendi başınıza birşey icat ederek öğrenebilirsiniz. Bugüne kadar böyle birşey yapmadıysanız, hemen işe koyulmanızı öneririm. Sonuçta, bir uçak motoru veya bir entegre devre icat etmeniz gerekmiyor. Ulaşabileceğiniz teknoloji yardımıyla çözüleceğine inandığınız birkaç sorun bulun yeter. Hemen herkes, makine kabilinden herhangi bir cihaz, bir zımbırtı düşünüp tasarlayabilir. Buluşları başarı kazanan mucitler, genellikle aşağıdaki koşulların gerekli olduğuna inanırlar:

1- Probleme ve benzer problemlerin çözümlerine karşı fazlasıyla duyarlı olmak: Tanıdığım başarılı mucitler, çoğunlukla soruna karşı duyarlı kişilerdir. Ellerindeki teknolojiyle üstesinden gelinebilecek, hayata ilişkin küçük güçlükleri veya sıkıntıları hemen fark ederler. Ayrıca, etraflarında ne olup bittiği hakkında da yeterince bilgi sahibidirler. Sözelimi, mekanik aletler icat eden kişiler, hangi aletlerin, cihazların ve ilkelerin mevcut olduğunu iyi bilirler. “Alıcı aletler” icat eden kişilerse, tespit etmek istedikleri fiziksel olgular ve piyasada bulunan diğer alıcılar hakkında fazlasıyla bilgi sahibidirler. Profesyonel mucitler, yeni fikirlerin aranması sürecine girmedikçe, boşu boşuna birşey icat etmezler.

2- Birisinin ilgilendiği bir fikre ilişkin alternatif çözümlerin aranması: Mucitler, bilgi, zaman, teşvik ve motivasyon gibi öğelere uygun koşullar altında çeşitli fikirlerin üretilmesinde, doğrudan zihinsel kabiliyete güvenirlir. Birşey icat etmek, bulmaca çözmeye benzer. Kişinin kendisini, gelenekten, klişeleşmiş düşüncelerden ve geç-

mişten uzak tutması gerekir. Birçok mucit, fikir üretmede, kendi kişisel yöntemlerine sahiptir.

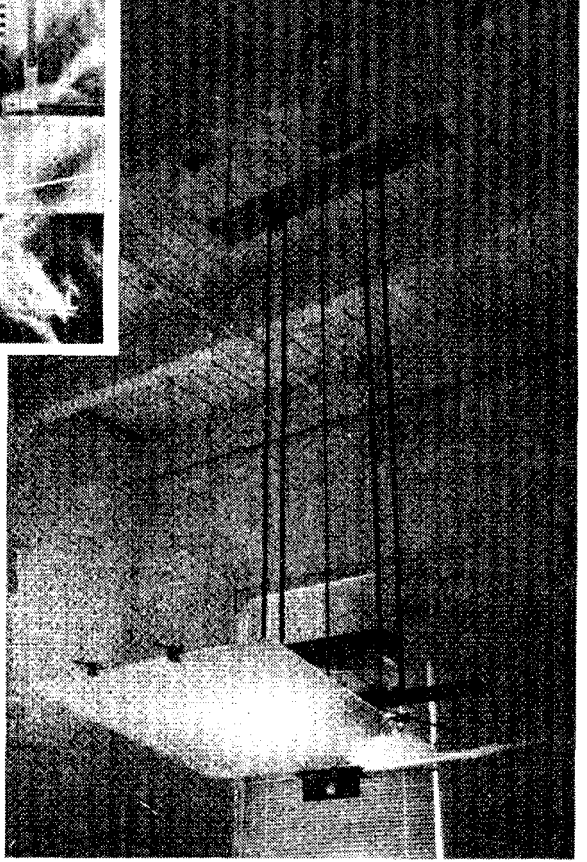
3- *Eleştirilen fikirleri uygulamaya geçirmek için kendine güvenme:* Bireyler, yeni düşüncelerden hoşlanırlar. Toplumlar içinse bunu söylemek çok zor. Yeni bir düşünceye yönelik tepkiler, çoğunlukla eleştirel olma eğilimindedir. Başarılı mucitlerin de, yeni bir düşünceyi anlaması ve bu düşünceyle ilgilenmesi zorunludur. Kişi, kendi kendinin zalim bir eleştirmeni de olabilir. Örneğin, bir fikir bu kadar iyiyse, neden bir başkasının bunu daha önce düşünmediğini merak etmek oldukça normaldir.

4- *Bir fikri inanılır bir biçime dönüştürmek için bazı kaynaklar gereklidir (zaman, para, başka insanlar):* İcat süreci, genellikle, modellerin ve prototiplerin imal edilmesini ve yeni ilkelerin denenmesini gerektirir. Bunun için de zaman, para ve insan faktörlerine ihtiyaç duyulur.

5- *İletişim ve satış kabiliyeti:* Dünya, yeni yaklaşımları sabırsızlıkla beklemediği içindir ki belli bir yaklaşımın bir ihtiyacı karşıladığının ve ekonomik olarak üretilebileceğinin kanıtlanması, icatı yapan kişiye düşer.

Şimdi de tasarımdan bahsedelim. Tasarım, icadın kendisine ihtiyaç duyabilir; ama bütün icatların tasarlanması gerekir. Tasarım, bir ürünün en ekonomik biçimde imal edilebileceği noktaya kadar bu ürünün tanımlanmasını içerir. Bu, mühendisliğin merkezinde yer alan önemli bir iştir ve mühendislerin büyük bir bölümü, tasarım sürecine katılır. Tasarım, geniş bir bilgi ve beceri yelpazesine ihtiyaç duyar. Gerekli olan bilgi ve becerinin bir kısmı tekniktir; ama çoğu, birikime bağlıdır.

Tasarımın başlıca öğeleri, sorun çözme, uzmanlaşma ve kendine güvendir. Tasarımın önemli bir bölümü, sanatla içiçedir. Tasarımı yapan kişinin, teknoloji uzmanlarından destek alması gerekir. Ama boş, beyaz kağıt üzerine hangi çizginin ilk olarak çizileceğini belirleyen hiçbir bilimsel teknik yoktur. Tasarıma katkıda bulunan bilim, ciddi bir değişiklik gösterir. Sözgelimi, entegre bir devrenin tasarımı, büyük ölçüde kuramsal anlayışa bağlıdır ve bilgisayar yardımı olmaksızın üstesinden gelinebilir. Diğer taraftan, mekanik bir aletin tasarımı, ilkesel olarak, tasarımı yapan kişinin kişisel deneyimine bağlıdır ve gerekli olduğu du-



Drigo Design tarafından tasarlanmış tavandan sarkan bir avizenin el yapımı prototipi. Kullanılan malzemeler, kum püskürtme yöntemiyle temizlenerek tavllanmış cam levhalar, denge sağlama amacıyla kullanılan kurşun ağırlıklar, yeniden şekillendirilebilen kordonlar, halojen lambalar, 30 fit uzunluğunda motor-siklet zinciri içeriyor. Yandaki resimde gördüğünüz model ise şirketin tasarımcılarından John Hopkins'e ait.

rumlarda, elle çizilebilir (Yan sayfadaki şekle bakınız). Buna karşın tasarım, bütün durumlarda değer yargısına ve gelişkin bir estetik anlayışa ihtiyaç duymaktadır. Üst düzey bir yaratıcılık ve fiziksel dünya hakkında köklü bir pratik bilgi, tasarımın besleyici kaynaklarını oluşturur.

Tasarımın bazı yönleri, analitik veya bilimsel olmadığı için ünlü mühendislik okullarında tasarım öğretilmesi uygun değildir. Mühendislik okulları, matematik ve bilim öğretme konusunda yetkin olabilir belki; ama değer yargısı, estetik, yaratıcılık ve fiziksel dünyaya karşı duyarlı olmanın, mühendislik okullarında öğretilmesi o kadar kolay değildir. Mühendislik okullarında bulunan çoğu profesör, tasarımın bilimle çok fazla içiçe olmasını ister. Gerçekten de, mühendislik alanında tasarımı daha analitik bir temele oturtmaya yönelik dönemsel hareketlere rastlanmaktadır. Bahsetmeye bile gerek yok belki ama profesörlerimiz, tasarımın birikime ilişkin yönlerinde çuvallarlar. Tasarım, uygulamada, mühendislik eğitiminde olduğundan çok daha fazla eleştirel ve prestijli bir etkinliktir.

İcatta olduğu gibi, tasarımda da konu hakkında bir düşünce edinmenin en iyi yolu, birşey tasarlamaktır. Şu sıralar, teknoloji, bilim ve matematiğin doğası üzerine hazırlanan 1 yıllık bir kollektif eğitim programı kapsamında çeşitli dersler veriyorum. Programa eğitimci olarak katılan diğer öğretmenlerse, bir matematikçi ve bir fizikçi. Derslerin içeriği, temel eğitim alanı mühendislik veya bilim olmayan öğrencilere yönelik olarak hazırlandı. Öğrenciler, zeki olmasına zekiler, ama genel olarak, matematiğe, bilime ve mühendisliğe karşı sınırlı yeteneğe sahip olduklarını düşünüyorlar. Neyse ki kişisel kavrayışları, bütünüyle doğru değil. Okullarından, kitaplardan ve hayat deneyimlerinden edindikleri, onları bahsi geçen konular hakkında bilgili kılıyor. Zaten asıl eğitim de budur, yazık ki bunu farkedemiyorlar.

Programın ilk iki kısmı boyunca sınıf, teknoloji hakkında çok şey öğrendi. Öğrenciler, mühendislik alanında yapılan işlerde el becerilerini geliştirmeye çalıştılar. Programın son kısmında, konuyu bir bütün olarak görebilmeleri için, öğrencileri gruplara böldüm ve onlardan birşey tasarlamalarını istedim.

Tasarımlar kağıt üstündeydi; ama sadece ürünü tanımlamaları yeterli değildi. Bunun yanı sıra, her bir parçanın da, ürünün yapılabi-

leceği veya satılabileceği biçimde, yeterli detay içermesi gerekiyordu. Bu uygulamayı en son yaptığımda, öğrencilerin, istekleri doğrultusunda seçecekleri bir tüketici kitlesini hedef alarak elektrikle çalışan bir taşıt tasarlamalarını istemiştim.

İlk başta paniğe kapıldılar. “Bunu nasıl yapacağımızı bilmiyoruz” dediler. Bense, “Hayır, biliyorsunuz” yanıtını verdim. Genellikle olduğu gibi, en çılgın düşlerinin ötesine geçtiler. Yaşanan heyecanı arttırmak için, tasarımlardan birisini çalışır hale bile getirdik. Hâlâ çok iyi çalışıyor. Bir önceki sayfada, bir grubun sadık bilgisayarlarından yararlanarak yaptıkları çizimleri görüyorsunuz. Arka sayfadaysa, çalışır hale getirdiğimiz tasarımın resmini görüyorsunuz. Bu projenin gerçekleştirilmesinde öğrencilerin, aşağıdaki zihinsel başarıları göstermeleri gerekmişti:

1- İş dünyasında söylendiği gibi “tüketiciye yakın olmaya” çalıştılar. Yaşlı ve sakat insanlar için küçük elektrikli bir taşıt tasarlamaya karar vermek birşeydir. Bu taşıtın en iyi şekilde nasıl yapılacağı konusunda gerekli bilgi ve kavrayışa sahip olmaksa başka birşeydir. Başarılı tasarımcılar, ürünlerini kullanacak insanları tanımlayabilmelidirler. İnsanlar tarafından sadece dolaylı biçimlerde kullanılacak ürünler tasarlandığında bile (insansız çalışan uzay gemisi gibi), bu ürünleri imal ya da monte eden kişiler ile kaynakların dağıtımı konusunda karar veren kişilerin hesaba katılması gerekir.

2- Sorunla ilişkili fiziksel dünya hakkında daha fazla şey öğrenmeye çalıştılar: Sözelimi, bisikletleri, golf arabalarını, çim kesme makinelerini ve diğer benzeri makineleri inceleyerek, küçük taşıtlar hakkında çok şey öğrenebilirsiniz. Sınıfımdaki öğrencilerin çoğu, bisikletlerini ellerine alıp şöyle bir incelememişlerdi bile. Bu nedenle de, gidonun iki parçaya ayrılmasına rağmen, nasıl olup da aynı eksen üzerinde dönmeyi başardığını anlayamıyorlardı. Tahmin edeceğiniz gibi, başlangıçta çoğu parça, hatalı monte edildi. Ama daha sonra, parçaları doğru birleştirmeyi başardılar.

Mühendislikte, kalite anlayışı esastır ve bu da, ürünleri tanımayla bağlantılıdır. Mühendisliğin her alanında olmaşa da bazı alanlarında, belirli ürünler hakkında yeterince bilgi sahibiyse, ciddi bir teknik eğitime gerek duymaksızın nitelikli bir tasarım ortaya çı-

karmanız mümkündür. Amcam, genç yaşta bir makine atölyesinde çalışmaya başlamış, zamanla ustabaşı olmuş, daha sonra da yöneticiliğe yükselmişti. Mühendislik eğitimi almamasına karşın, makinelerden iyi anlardı ve sürekli olarak bilgisini artırmaya çalışırdı. Emekli olduktan sonra da, olağanüstü makineler tasarladı ve bunları, evinin garajında çalışır hale getirdi. Sonunda ortaya çıkan makineler, içerdikleri işlevler ve ustalık açısından mükemmeldiler.

Hatırladıklarımın biri, çok hızlı bir şekilde limonlu küçük turtalar yapan bir makineydi. Makine, alüminyum kağıtlardan tepsi yapıyordu. Hamuru yoğururken, bir yandan da turtanın içine konulacak malzemeyi karıştırıyordu. Daha sonra, tepsinin üzerine turtaları yerleştiriyor ve içlerini dolduruyordu. Pişirdikten sonra da turtaların üzerine çırpılmış krema koyuyordu. Metali işleyebilen, turta hamuru yapan, limonlu iç malzeme hazırlayan, pişiren, krema çırpın, bütün bunları büyük bir hızla yapan ve üstelik Sağlık Bakanlığı'nın temizlik koşullarına harfiyen uyan bir makine tasarlamak, asla benim harcam değil. Amcam, bir seferinde de, nerdeyse bir pirinç tanesi büyüklüğünde bir pistonla çalışan bir buhar makinesi yapmıştı. Sanırım, bunu yapmaya çalışmayı da göze alamazdım.

3- Bilmedikleri şeyleri nasıl bulacaklarını öğrendiler: Bu iş, kütüphaneleri taramayı ve diğer insanlarla konuşmayı gerektiriyordu. Mühendislerin kullandığı bilgilerin çoğu, ürün kataloglarında, el kitaplarında ve diğer insanların beyinlerinde bulunur. Bir bilyeli yatak satın almak istediğimde, bir katalog alır ve istediğim koşullara uygun kaç model bulunduğuna bakarım. Katalog bulamazsam, bir yatak şirketine telefon ederim. Onlar da büyük bir nezaket göstererek, bana yardım etmesi için satış ve uygulama mühendislerini gönderir. Belki bazılarına tembellik gibi görünecek ama hayatta öyle bir rahatlık seviyesine ulaştım ki, birşey öğrenmek istediğimde, yaptığım ilk şey, bu bilgiye sahip birini aramak oluyor. Sanırım bu, birşey öğrenmek için kütüphaneye başvurmaktan çok daha hızlı bir yol. Ayrıca, insanlarla konuşmayı kütüphaneye gitmekten daha çok seviyorum. Öğrenciler, bu süreç boyunca, tasarım yapan kişilerin sadece bildikleri şeylere bağlı kalmadıklarını, ayrıca yeni şeyler bulmaya çalıştıklarını öğrendiler.

4- *Belli ölçüde “kuramdan” faydalandılar:* Mühendislik kuramını iyi bilen tasarımcılar, daha becerikli olur; çünkü tasarımı, malzeme seçimini, parçaların büyüklüklerine göre ayarlanmasını ve işlevden en iyi biçimde yararlanılmasını gerektirir.

Tasarım grubumdaki öğrenciler, istedikleri performansı karşılayacak bir motorun ne kadar güçlü olması gerektiğini ve gerekli akü kapasitesini öğrenmek zorundaydılar. Ayrıca, yükü kaldırabilecek iskelet kalınlığını da tahmin etmeleri gerekiyordu. Böyle durumlarda matematik temeldir. Öğrenciler, kuramdan faydalanacak ölçüde matematik bildiklerini görünce hayrete düştüler.

5- *Karışık geometrilerle ve karmaşıklıklarla uğraştılar:* Bilgisayar, çizim ve model gibi destekler gerekliydi. Bunlara ek olarak, seçeneklerin incelenmesi ve kesin sonucun hesaplanması gibi zorunluluklar da, ürünün ilk önce akılda şekillendirilmesini gerektiriyordu.

6- *İletişim:* Tasarım boyunca öğrencilerin, kendi aralarında görüş alış verişinde bulunmaları için yeterli değildi. Çalışmaları sırasında elde ettikleri sonuçları karşılaştırmaları da gerekiyordu: Bunun için, grafik ve üç boyutlu şekillerin yanı sıra terimler ve sayısal ilişkiler hakkında da bilgi sahibi olmaları zorunluydu. Kendilerini iyi ifade edebilen tasarımcılar, ürünlerin yönlendirilmesinde fazlasıyla etkili olurlar.

Jet İtki Laboratuvarı'na girdiğim yıllarda, bizden önce uzay gemileriyle ilgili yapılmış çalışmalar yoktu. Buck Rogers ve bilim kurgu dergilerine kapak resmi yapan kişiler ise, yardımcı olmaktan çok yanıltıcıydılar. Uzay gemilerinin gövdelerinin kırmızı ve burunlarının da siyah olması gerektiğini ve kanatlarının bulunmasının zorunlu olmadığını anlamamız, epey zaman aldı. Bu laboratuvarda yapılan ilk uzay gemileri, çeşitli teknik alanların temsilcilerinden oluşan bir grup tarafından tasarlanmıştı. Ekibin üyelerince sunulan fiziki koşullar ve düşünceler, olağanüstü yetenekli bir tasarımcı tarafından birleştirildi. Bu tasarımcı, eski moda bir çizim masasında çalışıyordu. Örneğin, haberleşme mühendisi, daima Dünya'ya dönük olacak, 304,8 cm çapında parabolik bir anten istediğinde tasarımcı, bir süre düşündükten sonra, geliştirmekte olduğumuz uzay gemisi konfigürasyonunun üzerine bir anten şekli çizmeye başladılar. Derken, anten birdenbire ortaya çıkardı. Proje ve sistem mühendisleri, çizim masasının etrafına toplanırlar ve bizim yetenekli tasa-



Öğrencilerin tasarladığı, “çalışan” bir elektrikli taşıt.

rımcıya “İyi olmuş. Senin bu anten, Venüs’e yaklaştığında güneş enerjisi toplayıcı kanatları gölgede bırakacak...” diye takılırlardı. Tasarımcı, çeşitli uzmanların verdiği bilgileri en uygun biçimde biraraya getirene kadar, işini defalarca yaptı. Ortaya çıkardığı çalışmayla, uzay gemisinin fiziksel biçimini belirlemiş oldu. Bu uzay gemileri ilk oldukları için de, uzay gemisi yapımına oldukça önemli bir katkıda bulundular. Benzer şeylerin yaşandığı birçok tasarım gurubuyla çalıştım. Kendisini iyi ifade edebilen bir tasarımcı, mühendislik sürecini belirleyebilir; çünkü tasarım sırasında kurama oturtulamayan pekçok karar verilmektedir.

Eğer vaktiniz ve ilginiz varsa, birşey tasarlamanızı öneririm. Basit birşey olsun. Başkalarından öğrenebileceğiniz herşeyi öğrenin. Tasarlayacağınız şey için size yeni fikirler verecek ve detayları anlamanızı sağlayacak benzer şeyleri arayın. Size uygun gelen herhangi bir araçla çalışabilirsiniz (kağıt tabii, ama model de olmalı).

Profesyonel bir tasarım süreci, tasarlanacak ürünün istenilen özelliklerinin belirtimi, kaynakların ve çalışma programının düzenlenmesi ve istenilen ürün için gerekli iş gücünün belirlenmesiyle başlar. Böyle olmasının nedenini, kitabın son bölümünde ele alınacak değerlendirmelerle açıklayacağız. İşin ve malzemenin belirtilmesi, ürünün istenilen özelliklerinin tanımlanması anlamına gelir. Teknik açıdan uygulanabilirlik ise, pazar ve diğer unsurlar üzerinde düşünmeyi gerektirir. Bununla be-

raber tasarım, yazılı veya çizili bir çalışma gerektirmeyecek kadar gayri resmi bir süreç de olabilir ("Hey Jim, bu aptal motorun bu kadar ısınmasını engelleyecek bir yol bulabilir misin?"). Ama, bu işlerin bazen fazlasıyla karışık olabileceğini bilmeniz gerekir. Hatta bu konuda, şemalar içeren küçük bir kitap hazırlamanız bile gerekebilir. Ayrıntılı çözümlerlerin ve deneylerin de işin içinde olduğunu sakın unutmayın. Örneğin, bir otomobilin yolcu bölmesinin boyutuyla ilgili değerlerin belirtim işini düşünün. Bu, çok özel bir iş olmanın ötesinde, yılların birikimini de gerektirir ve ayrıca, insan anatomisi ve sinir sistemiyle ilgili yoğun bir çalışma yapılmasını zorunlu kılar. Yeni öneriler kapsamında yapılacak değişiklikler ise, bu önerilerin kabul edilebilir olduğunu gösterecek bir çalışma yapılmasını gerektirir. Yeni bir uçağın ayrıntılarının belirtiminde ise, motorlar arasındaki fiziksel ara yüzey ve diğer manivela teçhizatları gibi özelliklerin gözönüne alınması gerekir. Ayrıca, Federal Havacılık Kuruluşu'nun (FAA) öngördüğü yapı ve güvenlik koşulları şu öğelerin değerlendirilmesini öngörür: Hava taşımacılığının özellikleri, tasarlanacak uçağın performansı, mevcut bakım koşullarının düzeyi.

Tasarım

spesifikasyonlarında

yer alabilecek bazı

değerlendirmeler

ağırlık

hız, ivme

kontrol (yanıt süresi, transfer fonksiyonu, girdi-çıkı oranları)

maliyet

direnç

dinamik davranış

kimyasal parametreler (saflık, çürüme, pH)

yüzey cilası

elektromanyetik parametreler (ışınan gücün watt'ı, voltaj, akım, rezistans, manyetik alanın gücü)

sıcaklığa ait özellikler (ısı, sıcaklık kapasitesi, yayılma oranı)

güvenilirlik

kullanım süresi

fiziksel boyutlar

fiziksel tolerans sınırları

malzemenin tanımı ve özellikleri

insanlarla uyumluluğu ölçen parametreler

emniyet

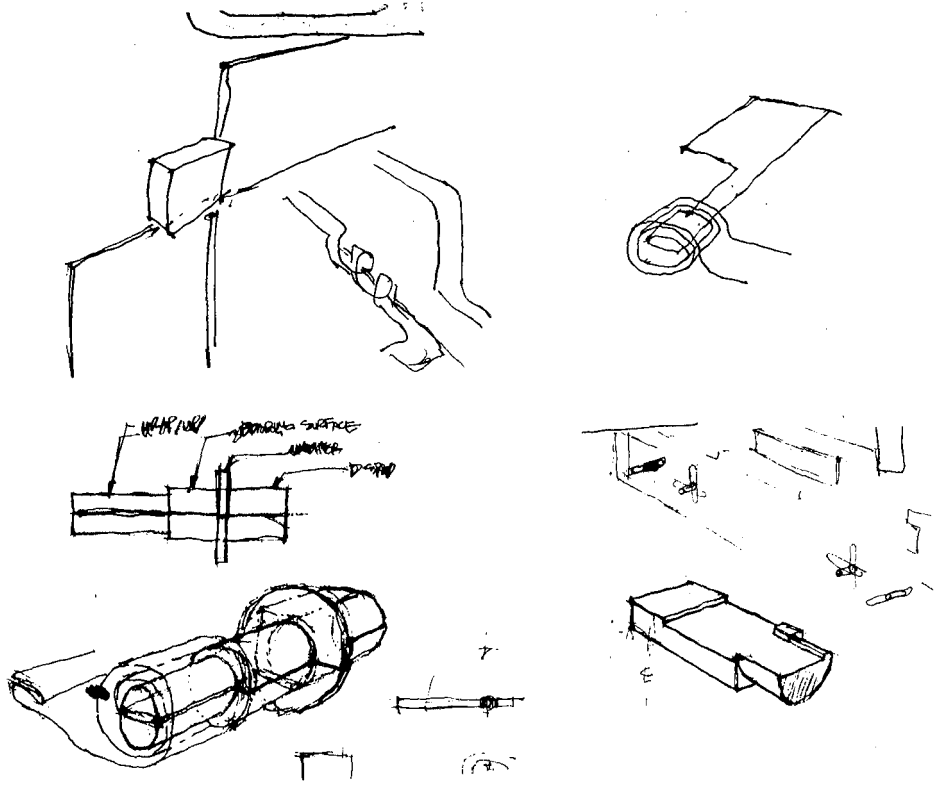
ortam koşulları

Belirtim sürecindeki bu özelliklerin hepsi de, eşdeğer bir öneme sahip değildir kuşkusuz (yan sayfadaki listeye bakın). Öncelik sıralamasında, kimi düzenlemeler yapılabilir. Bu düzenleme işlemi, bazen “değiş- tokuş” etme olarak adlandırılır ve tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır.

Belirtim işleminden sonra tasarım, kavram geliştirme aşamasına girer. Bu aşama, bazen “ön tasarım” olarak adlandırılır ve bir veya birkaç kavramın araştırılmasını içerir. Kavramların araştırılması, bir tür karşılaştırmaların yapılabileceği noktaya kadar sürdürülür. Bu süreç kapsamında hesaplamalar, deneyler, bilgisayar simülasyonları, çizimler, modeller ve çeşitli görevliler yer alır. Sözelimi, kimya mühendisliği süreci bir kimya laboratuvarında başlayabilir ve geniş çaplı üretim parametreleri oluşturma amacıyla bir pilot fabrikada sürdürülebilir, ve bir fabrikanın kurulmasıyla son bulabilir. Bilgisayar yazılım tasarımı, en son olarak şifrenin disk üzerine kopyalanmasından önce, bilgisayarda yapılabilir. Ya da, taşıyıcının yeni bir parçasını tasarlamak, çok sayıda model yapılmasını gerektirebilir. Burada amaçlanan da, farklı biçimlerin, renklerin ve dokuların görsel işleyişlerinin denenmesidir. Deneme amacıyla üretilen bu modeller, gerçek boyutlarda olup, sadece doğru ölçümlere ulaşabilmek için kullanılırlar. Hızlılık tasarımında mühendisin rolü, görelilik farklılıklarını gösterir.

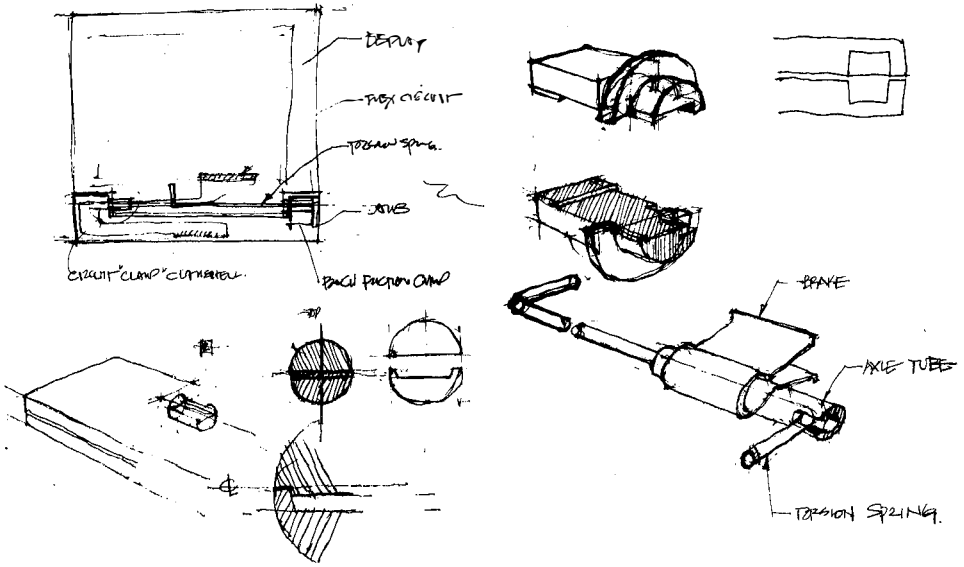
Donanım tasarımlarında ise, profesyonel “masabaşı” tasarımcısı olarak çalışan kişiler yer alabilir. Bu terim, aslında bir tarih hatasıdır; çünkü günümüzde çoğu tasarımcı, bilgisayar destekli tasarım sistemleriyle (CAD) çalışmaktadır. Bu sistemlerde de grafikler kullanılır; ama “kaleminden” alınan bilgi, daha sonra çizim yapmak üzere bilgisayarda depolanmıştır. Hayli otomatikleşmiş olan imalat sektöründe, tasarım bilgisinin, aleti yapan makineye doğrudan yüklenmesi mümkündür. Tasarım bilgisinin, doğrudan kullanılabileceği birçok yol vardır. Sözelimi, elektronik montaj için baskılı devre panosu imal edilirken, gerçek boyutlarda bir şekil yapılır. Bu şekil, fotoğrafçılık ve asitle yakarak resim kalıbı çıkarmayı gerektiren bir işlemin başlangıç noktasını oluşturur (Bkz. 8. Bölüm).

Mühendis ve “teknik ressam” olan masabaşı tasarımcıları, her durumda, tasarım planını oluşturmak için görsel şekillerden yarar-



Dennis Boyle'ün kapak ekranlı bilgisayar için yaptığı ön tasarım tasarımları.

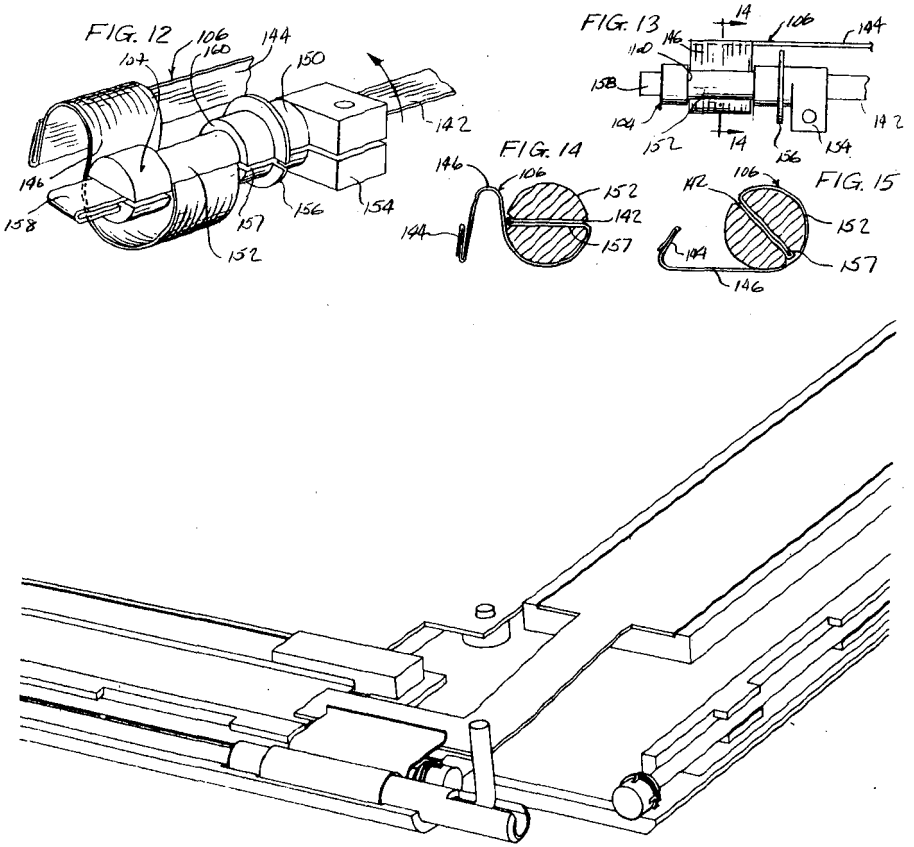
lanan uzmanlardır. Teknik ressam, kesinlikle modası geçmiş bir terimdir. Çünkü bu kişiler artık ne çizim yapıyor ne de çoğu erkeklerden oluşuyor. Plan, tasarımı eksiksiz biçimde gösteren bir çizimdir. Bütün parçalar, sonuçta görünecekleri biçimde çizilirler ve parçanın imal edilmesi için gerekli olan ayrıntılı bilgiler içermezler. Ama her bir parçanın şekli ve parçaların nasıl birleştirileceği gösterilir. Ön tasarım, üstteki ve yandaki şekillerden de anlaşılacağı gibi, genellikle kaba taslak biçimde başlar. Bu çizimler, David Kelly Tasarım Bürosunda çalışan Dennis Boyle adlı tasarımcıya ait. Boyle, portatif bir bilgisayar üzerinde çalışıyordu. Bu bilgisayar, diğer özelliklerinin yanı sıra, iç yüzeyinde ekran bulunan bir kapağa sahip olacaktı.



Boyle'un tasarım taslakları.

Bu öncelikle, kapağın açılmasını ve istenilen herhangi bir konumda kalmasını sağlayan bir mekanizmayı gerektiriyordu. Aynı zamanda, kapağın bilgisayarın ana gövdesine bağlanması için yaklaşık 30 tane iletkenin geçeceği bir bölmeye ihtiyaç duyuyordu. Çoğu ürün tasarımcısı gibi Boyle da, fikirlerini bir deftere kalemle çizerek işe başlamış. Bazı ürün tasarımcıları, doğrudan Bilgisayar Destekli Tasarım Sistemleri kullanıyor. Ne var ki bilgisayar tarafından kısıtlanmak istemeyen çoğu kişi, işe hâlâ kalemle kaba taslak çizimler yaparak başlamayı tercih ediyor. Boyle, hazırlık aşamasında, elektrikli iletkenlerle ilgili çeşitli çizimler yapmış.

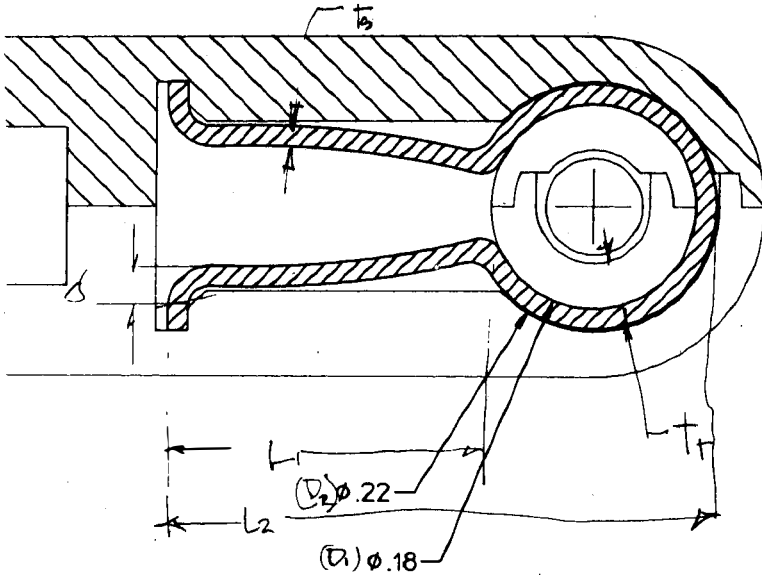
Bu iletkenlerin, kapağın milyonlarca kez açılıp kapanmasına karşı dayanıklı olmaları gerekiyordu. Boyle, ilk önce, katlanıp açılacak esnek bir basılı iletken kullanmayı düşünmüş. Daha sonra, bu kavramı ve donanımını ayrıntılı biçimde geliştirerek, baskılı iletkeni gelecek "kovanlama" üzerinde çalışmış (yandaki şekle bakınız). Üst şekil, mekanizmanın eksiksiz taslağını gösteriyor. Ayrıca, burma yayının en iyi



Boyle'un tasarım çizimleri.

biçimde geliştirilmiş şeklini ve salınımı durduran bir sürtme frenini de açıkça görebilirsiniz. Bu burma yayı, kapağı öylesine dengeliyor ki, kapak istenilen konumda durabiliyor. Üstteki şekil ise patent izni verilen çizimi gösteriyor. Bu çizim, mekanizmanın bitmiş halini ve bazı detayların perspektiften görünümünü içeriyor.

Çoğu kişi, mühendislerin çizim masalarında oturup, mavi kopya (*blueprint*) olarak adlandırılan genel çizimle uğraştığını düşünür. Oysa mavi kopya, bir işlem olarak, yıllardır mühendislikte kullanılmamaktadır. Mühendislerin çoğu, çizim masalarının yanına bile yaklaşmaz ve tasarıma, kaba taslak çizimlerle başlarlar. Boyle'nin tas-



$t_f = .040$
 $t_c = .020 (?)$
 RBE. MAT. HARDENED STEEL
 SPRUE MAT. BECU

Boyle'un sürtünme fren yayını gösteren ayrıntılı çizimi.

lakları, tasarıma detaylı bilgi aktaracak çizimlerin ilk kavramsallaştırma aşamasında, düşünme sürecine yardımcı olma amacıyla çizilen kaba taslak şekillerden yola çıkılarak, işin hangi aşamalardan geçtiğini gösteriyor.

Belirtim işlemi gibi hazırlık tasarımı süreci de gayri resmi olabilir. (Patronuma, bu aptal motoru nasıl soğutacağımı söylemek zorunda değilim; yalnızca gidip işi hallederim). Buna karşın (uçak veya otomobiller gibi) büyük ve pahalı sistemler için genel tasarım değerlendirmeleri düzenli olarak sürdürülür.

Tasarım bir uzmanlar kuruluna sunulur ve kurul tarafından incelenir. Daha sonra kurul, çalışmanın bir sonraki aşamasına geçilmesi- ne izin verir veya tasarım çizim masasına geri gönderir. Yalnızca kesin şekil, resmî olarak onaylandıktan sonra, tasarımın ikinci aşamasına, yani ayrıntılı tasarıma (bazen ayrıntı tasarımı da denir) geçilir.

Mikro devreler veya bilgisayar yazılımı gibi ürünlerin tasarımında, ön tasarım ve ayrıntılı tasarım aşamaları, birarada yürütülür. Çünkü teknik uygulanabilirlik, ayrıntılara fazlasıyla bağlıdır ve bilgisayar, her ikisinin de üstesinden gelebilme kapasitesine sahiptir. Gerçekten de, ön tasarım ve ayrıntılı tasarım, genellikle birbirlerinden ayrı olarak tanımlanıp, farklı insanlar tarafından yapılsalar da, birbirleriyle ilişkili işlevler içerirler. Eğer ön tasarımda çalışan kişiler, sadece kendi işleriyle uğraşıp, ancak bunları bitirdikten sonra yeni bir projeye başarlarsa, çeşitli sorunlar ortaya çıkabilir.

Ürün, ayrıntılı tasarımda tasarımı yapan kişinin verdiği bilgilerle, imal edilebilecek düzeyde eksiksiz olarak tanımlanır.

Mesela donanım tasarımındaki ayrıntılı tasarım aşaması, bir dizi çizimin üretilmesiyle sonuçlanır. Birinci çizim, taslak olabilir. Boyle'un 117. sayfadaki çiziminde sürtünme fren yayı, tasarımın kesin şekli görülebilecek kadar ayrıntılı bir biçimde gösteriliyor. Hatta birkaç uzunluk ve kullanılacak malzeme de belirtilmiş. Bir sonraki ise daha kapsamlı ve genel bir aşama olan ve parçanın imal edilmesini olanaklı kılan ayrıntılı üretim çizimidir.

Her parça için bir çizim veya bir grup çizim yapılır. Eğer parça karmaşıksa veya imal edilmesi için çeşitli işlemler gerekiyorsa, tek bir parça için birden fazla çizim yapılabilir. Ayrıca, parçaların imal edilmesi için özel araçlar, aletler ve hatta makineler gerekli olabilir. Böyle durumlarda, söz konusu gerekli aletlerin tanımlanması için de çizim yapılacaktır.

Ayrıntılı çizim, bir parçanın yapılması için gerekli bütün bilgileri içerir. Ayrıntılı çizimde, malzeme ve bu malzemenin nasıl kullanılacağı tanımlanır. Ayrıntılı çizimin, her zaman gerçek boyutlarda ve ölçülerde olması zorunlu değilse de, parçanın fiziksel şeklinin eksiksiz olarak gösterilmesi gerekir. Çizim, aynı zamanda, parçanın geometrisini tanımlayan boyutları ve boyutlarla ilgili tolerans değerlerini de içerir. Parçanın kendi şeklinin olduğu gibi boyutlarının da, imal işlemine uygun biçimde çizilmesi gerekir. Kare deliklerle uğraşmak, yuvarlak deliklerle uğraşmak kadar eğlenceli değildir. Uygulamaya geçmeden önce, hesaplamalarla uğraşmak ve parçanın boyutlarını kesinleştirmek de pek eğlenceli değildir.

Tolerans değerlerinin saptanması, ayrıntılı donanım tasarımının önemli aşamalarından birini oluşturur. Tolerans değeri, asla tam anlamıyla kesin olmayabilir. Bu değer, parçayı imal edecek kişiye, boyutlarda ne kadar fazlalık bırakılabileceğini gösterir. Parçayı imal eden kişi, tolerans değerlerine bağlı olmalıdır. Aksi takdirde parça, uygun olmayacaktır. Tolerans değerleriyle ifade edilen azami hata payı ne kadar küçük olursa, parçanın imal edilmesi de o kadar ucuza malolur. Bununla beraber çoğu parça, diğer parçalarla ve fiziksel ortamla etkileşim içindedir. Ve eğer hata payları, aşırı derecede yüksek tayin edilirse parça, işlevini gerektiği gibi yerine getiremeyecektir. Boyutların ve tolerans değerlerinin eksiksiz seçimi, imalat sürecinin en iyi biçimde kavranmasını gerektirir. 8. Bölümde bu konu hakkında daha fazla şey söyleyeceğiz. Ayrıntılı tasarım, herkesin anlayacağı biçimde standartlaştırılmıştır. Parçalar, değişik açılardan gösterilir (üstten, önden, sağdan, soldan, v.b.) ve farklı açılardan çizilen bu görüntüler, birbirleriyle, özel bir biçimde ilişkilendirilir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde, üstten görünüş, önden görünüşün üstünde yer alır ve sağ taraftan görünüş sağda yer alır. Bu tayin etme biçimi öğrenilirse, çizimin anlaşılması kolaylaşacak ve parçaya ait üç boyutluluk hissi, mükemmel biçimde yansıtılacaktır. Çizimle ilgili karmaşıklığın büyük bir bölümü, boyutlardan ve tolerans değerlerinden kaynaklanır. Aynı zamanda, boyutlar ve tolerans değerleri de, imalat sürecine uygun olarak standartlaştırılmış biçimde yapılırlar. Bu nedenle, tasarımcının, bu süreç hakkında yeterli bilgiye sahip olması gerekir.

Çizim, bunlara ek olarak, ölçüleri, açıklayıcı notları, kesin düzeltmeleri ve değere ilişkin diğer bilgileri içerir. Bütün bunlar, parçayı imal edecek ve test edecek kişi için gereklidir. Ayrıca, ileri bir tarihte çizimin kullanılması durumunda gerekli olabilecek bilgilere de yer verilmesi zorunludur. Her çizimin, en azından bir sıra numarası olmalıdır. Çünkü çizimin daha sonra bulunması gerekebilir ve sıra numaraları bunu kolaylaştırır. Tasarım süresince olduğu kadar ürünün imalatından sonraki bir tarihte de çizimin yeniden gözden geçirilmesi gerekebilir. Sıra numarasının yanı sıra, parçaların ve tasarımı yapan kişilerin isimleri de belirtilmelidir. Çizimle ilgili değişikliklerin, değişikliğin tarihinin ve çizimin kimin tarafından

yapıldığının kaydedilmesi de şarttır. Çizimi üstlenen kuruluşla ilgili bu ve diğer bilgiler, kütüklerde saklanmaktadır. Kullanılan bir diğer çizim biçimi de, montaj çizimidir. Montaj çizimleri, parçaların, ürünün son halini oluşturacak biçimde nasıl monte edileceğini gösterir. Montaj sırasında yine bazı özel alet ve edavatlara ihtiyaç duyulabilir. Aynen parçaların ayrıntılı tasarımının imalat bilgisine ihtiyaç duyması gibi, montaj çizimi ve montaj aletleri de, montaj süreciyle ilgili bilgileri gerektirmektedir. Parçaların montajını kabaca veya imkansız şekillerde gösteren bir çizim, zaman ve para kaybına neden olur. Dükkandan aldıkları çim kesme makinesi veya üç tekerlekli bisiklet gibi bir aleti monte etmeye çalışan birçok kişi, iyi bir montaj çiziminin ne denli önemli olduğunu farketmiştir.

Mühendis, imalat ve montaj için gerekli bilgileri nasıl edinmektedir? Ürünler basit ve kişi sayısı az olduğunda, gerekli bilgi, genellikle tasarımcıların akıllarında bulunur. Buna karşın, karmaşık ürünler üreten daha büyük kuruluşlarda tasarım, çoğunlukla, aralarında imalat sürecinde yer alan kişilerin de bulunduğu bir ekip tarafından gerçekleştirilir. Bu ekip, en başından itibaren, yani tasarımla ilgili değerlendirmeler yapılması gerektiği andan itibaren tasarım sürecine katılacaktır.

İdeal bir tasarım ekibi, ürünün eksiksiz olarak tanımlanması için gerekli bütün konuları temsil eden kişilerden oluşur. Örneğin, elektronik bir aracın tasarlanmasında çalışan bir ekipte şu mühendisler yer alır: Çeşitli elektrik mühendisleri (dijital, donanım ve yazılım, analog ve kontrol donanımı, ve güç mühendisleri gibi), makine mühendisleri (mekanik, ısı transferi, akışkan, donanım tasarımı mühendisleri gibi), imalat ve montaj mühendisleri, endüstri mühendisleri, pazarlama gibi ilgili işlevleri temsil eden kişiler, ve ürünün çalışmasıyla ilgili son sorumluluğu üstlenen bir proje mühendisi. Sorumlu kişilerin, sadece karmaşık projelerin tasarlanması konusunda deneyim sahibi olmaları yetmez. Ayrıca, farklı disiplinlerden uzmanlarla birlikte çalışabilecek bilgiye de sahip, karizmatik liderler olmaları da gerekir; çünkü iyi tasarımcılar genellikle çok gururlu oldukları için yönetilmeleri de zordur, üstelik de bütün projeler, yıldırıcı aşamalardan geçerler. Ayrıca böyle bir ekip, ilgili disiplinler ve alanlar tarafından

desteklenecektir. Bu tür ekiplerin büyüklüğü değişkendir. Ekipler küçük (5-6 kişilik) olabileceği gibi, çok büyük de olabilir. Örneğin, büyük bir geminin veya bir rafinerinin tasarlanmasında çalışan ekibin büyük olması kaçınılmazdır. Ekip, gerekli bilgi ve hüneri kapsayacak ölçüde büyük olmalıdır. Ama küçük gruplarda sıkça rastlanan yüksek nitelikli iletişim, yaratıcılık ve motivasyon gibi özellikleri de barındırmalıdır. Garip bir durum ama tasarım ekibi, bazı sanayilerde ortaya çıkmış yeni gelişmelerdendir. Mühendislik, 1970'li yıllara değin, seri halinde sürdürülüyordu. Farklı mühendislik disiplinleri, bağımsız çalışarak tasarımın belirli aşamaları tamamlanıyordu. Daha sonra mühendislerin hepsi de, parçaların bütüne eklenmesine katkıda bulunuyorlardı. Fazlasıyla travmatik olan bu uygulamadan iyice perişan düşmüş zavallılar, “eksiksiz” tasarımı imalat gurubuna devrediyorlardı. Ve zavallılık sırası bu kez de imalatçılara geliyordu. Tasarıma yönelik bu yaklaşım, belki de organizasyon açısından elverişliydi. Ne de olsa insanların, diğer disiplinlerden gelen insanlarla iletişim kurma gücüğü çekmesi gerekmiyordu. Öte yandan bu üretimi güç ve pahalı kılıyor, ayrıca da bütünleştirilme olasılığı düşük projeler ortaya çıkıyordu. Amerika Birleşik Devletleri, tasarımı disiplinler arası bir yaklaşımla ele alan ülkelerle girdiğı rekabetten sıkıntı çekmeye başlamıştı. Ama yine de, 1970'li yıllara değin bu avantajsız durumun üstesinden gelebildi. Gelgelelim, tasarım ekibi artık mühendislik tasarımlarında standart yaklaşım oluyor. Bu benim de, hoşuma giden bir gelişme. Bana göre, çarpıcı ve önemli bir ürün üzerinde çalışan ve çeşitli disiplinlerin katılımıyla oluşturulan bir tasarım ekibinde yer almaktan daha onur verici bir iş olamaz.

“Sistem mühendisliğı” olarak bilinen alt-disiplin, karmaşık ürünlerin tasarımını üstlenmenin yanı sıra, farklı mühendislik görevlerinin ve disiplinlerin bütünleştirilmesi işlevini de yerine getirmektedir. Mühendisliğe yönelik “Sistem Yaklaşımı”, II. Dünya Savaşı sonrasında popülerleşmiştir. Bu dönemlerde, teknik birimlerin karmaşık kombinasyonlarının organize edilmesi, önemli bir sorundu. 1950'li yıllarda Hava Kuvvetleri'nde çalıştığım yıllarda uçaklar, uzay taşıtları, yakıt tankları v.b. şeyler yerine, “silah sistemleri” yapılmasına daha fazla emek harcanıyordu. Bütünün geliştirilebilmesi için, büyük

projelerde çalışan insanlar, parçaların entegrasyonu üzerinde daha fazla düşünmeye teşvik ediliyordu. O zamandan bu yana, sistem yaklaşımı, mühendisliğin ayrılmaz parçası olmuştur.

Sistem mühendisliği, nicel optimizasyondan tutun da uzlaşma konusunda yardımcı olunması amacıyla ekiplere kolaylık sağlama tekniklerinin bütünleştirilmesine kadar değişen işleri içerir. Sistem mühendisliğinin temel işlevlerine birkaç örnek verelim:

1- Çalışma programlarının hazırlanması, tahmin yürütme ve öncelik sıralaması yapma: Karmaşık bir projede, çalışma süreçlerinin düzenlenmesine ya da programlamaya, fazlasıyla dikkat edilmesi gerekir. Öyle ki, işe ayrılacak zamanın gözönünde bulundurulması birinci koşuldur. Bu konuda çeşitli teknikler vardır. Bu teknikler ise, önemli işlerin birleşik çözümlenmesine veya amaçlanan çalışma programının hazırlanmasında özel önem taşıyan işlerin sıralamasına uygun olarak bilgisayar yardımıyla bulunmuştur.

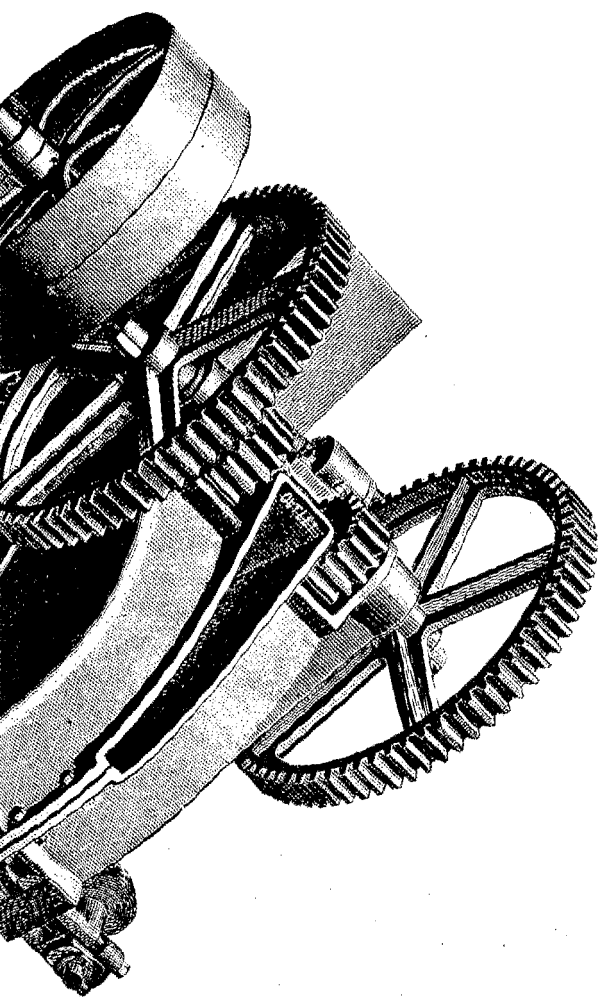
2- Ara yüzeylerin tanımlanması: Çalışma grupları, üzerinde çalıştıkları bireysel parçalara, montaj parçalarına ve alt sistemlere özel kısıtlamalar getirirler. Tipik bir örnek vereyim: Eğer bir grup, başka bir grup tarafından tasarlanan bir karosere takılmak üzere bir araba tamponu tasarlıyorsa, çalışma gruplarının hepsi de, bağlantı noktalarının kesin yerlerini belirtmek zorundadır. Çünkü iki farklı parçanın birbirine monte edilebilmesi ancak böyle mümkündür. Karmaşık projelerde ise, sisteme ait iki parça arasındaki ara yüzey, mekanik, elektronik ve kimyasal sınırlamalar içerir. Mekanik sınırlamalar, geometriyle, hareketle, ısı ve akışkan akışıyla ve dirençle bağlantılıdır. Elektronik sınırlamalar da, akım, voltaj ve sinyal özellikleriyle ilgilidir. Kimyasal sınırlamalar ise, reaksiyon ve benzeri özellikleri içerir. Ara yüzey tanımlamasına ilişkin sınırlamalar ne kadar azsa, çalışma grupları da tasarımda o kadar özgür olur. Buna karşın, sınırlamalar fazla olduğunda, çalışma grupları arasında sürdürülen iletişim ve koordinasyon yoğunlaşacak ve hata riski de artacaktır. Eğer çalışma grupları, farklı şirketlerden ve bağılantısız disiplinlerden oluşuyorsa oldukça önemli sorunlar ortaya çıkabilir. Ara yüzeylerin eksiksiz tanımlanması, her bir grubun kendi görevini değerlendirme kabiliyetine ve sahip olduğu deneyime bağlı bir sanattır.

3- Değiş-tokuş yapılması: Bir sistemin tasarlanmasında, sistemin herhangi bir parçasının en iyi şekilde kullanılması, (optimizasyonu) genellikle diğer bir parçanın en etkili biçimde kullanılmasına engel olmaktadır. Dolayısıyla sistemin, baştanbaşa bir bütün olarak en iyi şekilde kullanılacak biçimde “dengelenmesi” önemlidir. Sözgelimi, hava taşıtı tasarımıyla ilgili olarak verdiğimiz çizim örneği, sistemin parçalarını tasarlayan çeşitli gruplarca anlaşıldığı biçimiyle, optimal sistemi gösteriyordu. İtki grubunca optimize edilen hava taşıtı, oldukça büyük motorlara sahipti. Haberleşme grubu, sisteme antenler ve fiberglastan yapılan ana bölüm panelleri eklemişti. Aerodinamik grubu ise, küçük bir ara kesite ve dev kanatlara sahip bir uçak gövdesi ortaya çıkarmıştı. İşler böylece sürüp gitmişti. Yine de bu özel çalışmaların hiç biri, tam anlamıyla eksiksiz sonuçlanmadı. Sonuçların karşılaştırılması ya da “değiş-tokuş edilmesi”, genellikle parametrik olarak yapılır. Bunun anlamı, bir optimum noktanın saptanabilmesi için belirli parametrelerin varyasyonunun kullanılmasıdır. Karmaşık projelerin çoğunda, nicel düşünüş zorunludur. Ama son karar, değerlere bağlı yargılar içerir. Nitelik, risk, müşteri algısı ve çalışanların motivasyonu gibi faktörler, kararların karşılaştırılması sürecinin önemli bir bölümünü oluşturur.

4- Nicel tekniklerin uygulanması: Bu teknikler, karmaşık durumlarda optimal sonuca ulaşılması için başvurulanan matematiksel tekniklerdir. Matematikğin “yöneylem araştırması” olarak bilinen alanı, bu işle ilgilidir. Bu alan, iş idaresi okullarındaki “karar bilimleri” olarak bilinen alana benzer. Sözü ettiğimiz bu teknikler, doğrusal programlama, olasılık ve değerlere bağlı karar kuramı, plan kuramı ve bilgisayar destekli simülasyonları içerir.

5- Teknik ve teknik olmayan çeşitli disiplinlerden kişilerle iletişim kurma: Her bir uzmanlık alanı, kendi temel ilkelerine, sorunların çözümünde kendi yaklaşımına, analiz ve sentez için kendi tekniklerine ve kendi terminolojisine sahiptir. Mühendislik sürecine adım attıktan sonra çoğu kişi, öğrenciyken uzak durmayı düşündüğü disiplinlerle karşı karşıya kaldığını fark eder. Ben öğrenciyken elektrik mühendisliğinden hiç hoşlanmazdım; ama Jet İtkisi Laboratuvarında çalışırken, elektrik teçhizatının mekanik tasarımı

konusunda kaygılanan bir grubun danışmanlığını yapmak zorunda kalmıştım. Ayrıca, haberleşme antenleri ve sistem kontrolü konularında da çalışmam gerekmişti ve desibel, geri faz, ters kulak (bir anten, mikrofon v.s.'nin polar diyagramında ters yönde görülen kulak) ve sanal düzlem gibi şeylerden bahseden insanlarla birarada bulunmak zorundaydım. Daha sonraki yıllarda, sistem mühendisi olarak çalıştım ve nerdeyse bütün disiplinlerle ilgilenmek zorunda kaldım. Şimdi de mühendisliğin en önemli aracı matematiğe bir göz atalım. Bazı mühendislik öğrencilerinin edindiği izlenimin tersine mühendislik, bütünüyle matematik değildir. Buna karşın, matematik olmasaydı Romalılardan kalma deneme yanılma yönteminin ötesine geçemeyecektik.



Matematik hem teknolojimizin olağanüstü gelişmiş yapısından hem de kendisine karşı beslenen olumsuz duygulardan sorumludur. Matematikten hoşlanmayan kişiler genellikle, matematikle uğraşmamak için teknoloji hakkında birşeyler öğrenmekten kaçınırlar. Ama matematiğin mühendislikteki önemini anlamak için kişinin matematikçi olması gerekmez.

Matematik sahneye davet edilir; çünkü mühendislerden az malmeye kullanarak yıkılmayacak köprüler tasarlaması gibi şeyler ister. Sadece sezgi ve tahmine sığınarak, emniyet ve düşük maliyet arasında bir orta yol bulmaya çalışmak, tehlikeli olduğu kadar fahiş derecede de pahalıdır. Sözelimi, uçak üretiminde gerekli hesaplamalar yapılmazsa uçaklar uçmayı bile başaramazlar. Bu tür problemleri çözerken fizik yasalarından -ve aynı zamanda, bu ilişkileri ifade eden sembollerden- kaçmak imkansızdır.

Maalesef, Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşayan insanların çoğu, matematik hakkında olumsuz duygulara sahiptir. Matematiğe ilişkin ket vurma, erken çocukluk döneminde başlar. Çocuklar, matematik alanında başarılı olamayınca bir ket vurma eğilimi geliştirir-

ler. Bu ket vurma eğiliminin nedenleriye çeşitlilik gösteriyor. İnsanlar, hayatlarının erken çocukluk dönemlerinde farklı yeteneklere sahip olurlar. Örneğin, çıkarma işlemini yapma konusunda biraz yeteksiz olan bir çocuk, bir önyargı geliştirerek matematikten hoşlanmamaya başlayacaktır. Matematiğe ilişkin ket vurma, kötü eğitim veya yetersiz çalışmadan ötürü sınavlarda düşük performans göstermenin yarattığı hayal kırıklığı sonucu oluşabilir. Bu ket vurma, ebeveynlerin veya öğretmenlerin aşırı derecede yüksek beklentilerinden, olağanüstü başarılı öğrencilerle yapılan kıyaslamalardan veya matematik yeteneğini dehalara has bir tür çılgınlıkla özdeşleştiren toplumsal değerlerden ötürü ortaya çıkabilir. Nedeni ne olursa olsun, sonuçta matematiğe yönelik olumsuz yaklaşımlar gelişir ve insanları, zevkten, mesleki kabiliyetten, mühendislikle, bilime ait bir anlayış geliştirmekten yoksun bırakır.

Aritmetik diye birşeyin varolduğundan hepimizin haberi vardır. Aritmetik, ilkokulda öğretilen bir matematik biçimidir. Ne var ki çok az insan, düşünürken aritmetikten yararlanır. Mühendisler ise bunu sık sık yapar. Mesleğe başladıkları dönemlerde edindikleri bir alışkanlıktır bu; ve belki de herkesin öğrenebileceği yararlı alışkanlıklardan biridir.

Sayısal düşünmenin yararı, teknolojiyle ilgili çok büyük ve çok küçük nicelikler hakkında bir başka bakış açısı kazandırmasıdır. Bilgisayar müptelaları, 10^{-9} saniye veya pikosaniye (saniyenin milyarda ve trilyonda biri) gibi şeylerden bahsederler. Gemi tasarımcılarının konuşmalarında, binlerce ton ve milyarlarca dolar lafları geçer. Böyle sayılar, bizim gündelik hayatımızın dışındadır. Bu nedenle, bu tür sayısal değerleri, bizim için anlamlı biçimlere dönüştürmek yararlı olacaktır. Bir örnek vereyim: Rakamları alışık olduğum biçimlere indirgemedikçe ulusal borç hakkında hiçbir şey düşünemem. 2 trilyon doların üzerindeki bir ulusal borç, aklımdan uçar gider. Bir daktilo kağıdının 0,003 inç kalınlığında olduğunu biliyorum. Dolayısıyla bir banknot da aşağı yukarı aynı kalınlıkta olacaktır. Aritmetikten yararlanarak, 2,5 trilyon doların yaklaşık 7 milyar inç (17 milyar 780 milyon cm.) boyunda bir kağıt banknot yığını oluşturacağını hesaplarım. Bu neredeyse 100,000 mil'e (160,900 km) veya yeryüzünün çapının 12 katına

eşittir (yine rastlantı sonucu bildiğim kadarıyla yeryüzünün çapı, 8,000 mil veya 12,872 km'dir.) Dolayısıyla, 2,5 trilyon dolar, her birinin yüksekliği dünyanın çapı kadar olan 12 kağıt banknot yığınına eşittir. En azından bu sayıyı, kafamda canlandırabilirim.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık 250 milyon insan yaşadığına göre devlet borcunun kişi başına düşen miktarı, 10,000 dolar civarında olacaktır. Gelgelelim, 250 milyon da düşünülmesi güç bir miktardır. Stanford stadyumu, yaklaşık 80,000 kişilik bir kapasiteye sahip. Stadyumun tıka basa dolu olduğu zamanları gördüm. Yani, bu sayı bende birşeyler çağırıştırıyor. Eğer devlet borcunu sadece 80,000 kişi üstlenmiş olsaydı bu kişilerin her biri, 30,000,000 doların üzerinde borçlanacaktı. Yani, Stanford seyircileri için bile biraz aşırı bir miktar. Diyelim ki dünyada yaşayan bütün insanlar Amerika Birleşik Devletleri'nin devlet borcunu üstlendi. Bu sefer de, kişi başına düşen miktar 500 dolar olacaktır. Ama 5 milyarı (yani, dünya nüfusunu) düşünmek 250 milyonu düşünmekten daha zor.

Rakamlarla bu tür oyunlar oynamak, büyük ve küçük sayısal değerleri anlamama yardımcı oluyor. Bana öyle geliyor ki devlet borcunun büyüklüğü nedeniyle bunu, herhangi bir sayısal değerle özdeşleştirmekte güçlük çekiyorum. Kuşkusuz, bu borcun büyümeyi sürdürmesinin nedenlerinden biri de bu. Borç öylesine büyük ki ne anlama geldiğini hiç kimse anlayamıyor. 20,000 tonluk bir gemi, kavranabilir birşeydir ve hemen hemen 20,000 küçük araba ağırlığındadır (yaklaşık 140 tane 140 arabalık sıra). Ya da, tercih ederseniz, Stanford stadyumunu dolduracak insanların toplam ağırlığının üç katına eşittir.

Nicel düşünme, bazı teknik şeylerin elverişli olup olmadığını hemen gösterir. Örneğin, güneş enerjisiyle çalışan arabalar düşüncesi neredeyse herkesi cezbeder. Ama elimizde hiçbir sayısal temel yoksa bu arabaların elverişliliği hakkında konuşamayız. Neden sokaklarda güneş enerjisiyle çalışan arabalara rastlamıyoruz? Dünya yüzeyine erişen güneş enerjisi miktarı, metre karede bir kilovat civarındadır. Bir kilowatt yaklaşık 1,3 beygir gücüne eşittir. Araba büyüklüğünde (12 metrekare kadar) bir güneş ışını toplayıcı, doğrudan güneşe yöneltilecek olursa, aşağı yukarı 16 beygir gücü enerji toplar.

yacaktır. Yazık ki, dönüştürme verimlilikleri düşüktür. Sözelimi, dönüştürme verimi, fotovoltaiik piller için % 10'dur. Bu demektir ki 1,6'lık bir beygir gücü elde edilebilecektir. Uygun donanım sağlandığında bu kadar enerji bir arabayı hareket ettirebilir. Ama, 160 beygir gücündeki iç yakıılı araba motorunuzun yaptıklarını yapamaz.

Acaba güneş enerjisini toplayıp akümülatörlerde depolayabilir miyiz? Günümüzde bulunabilir en ucuz ve en yüksek kapasiteli akümülatörler, yakından tanıdığımız ve arabalarımızda hazır bulunan akümülatörlerdir; yani, kurşun asitli akülerdir. *Sears* kataloğuna baktığımda, bu tip bir akünün 90 amper saatlik enerji içediğini, ağırlığının 50 pound'un (22,65 kg) biraz altında olduğunu, bir fit kübün (0,0283 metre küp) üçte biri kadar yer kapladığını ve fiyatının 80 dolar olduğunu görürüm. Ofisimdeki anlaşılmaz görünümlü birçok kiptan birini açıp benzinin enerji içeriğine baktığımda, bir fit küp benzinin (8 galon veya 30,280 litre), bir fit küp büyüklüğündeki aküde depolanandan 25 kat daha fazla enerji içediğini ve ağırlığının aynı akünün ağırlığının üçte birine eşit olduğunu görürüm. Bu demektir ki, benzinle dolu bir depo (16 galon veya 60,400 litre), 150 akünün toplam enerjisi kadar enerji içerir. Bu 150 akünün toplam ağırlığı yaklaşık 7,500 lbs'dir (3,397.5 kg). Aşağı yukarı 2 ft x 5 ft x 10 ft (0,6096 m x 1.524 m x 3,048 m) boyutlarında bir yığın oluştururlar ve satın almaya kalktığımızda 12,000 dolar vermemiz gerekir. Bu açıdan bakıldığında benzin oldukça hoş görünüyor, değil mi!

Peki ama bu, arabalarda güneş enerjisi kullanılamayacağı anlamına mı geliyor? Eğer arabalarımızın performansının ve gidebileceği mesafenin azalmasına katlanabilirsek veya güneş elektrikli arabalar, güneş enerjisinden yararlanan eksiksiz bir sistemin parçası olurlarsa, bu soruyu 'hayır' diye yanıtlayabiliriz. *Energy Self-Reliance* şirketinin Başkanı John Reuyl, ilginç bir sistem tasarladı (A.B.D. Patent No. 4,182,290) ⁽⁴⁾. Bu sistem, fotovoltaiik paneller ve bataryalar içeren bir yapı ile benzinle çalışan küçük bir motor/jeneratörü sahip ve bir batarya aracılığıyla çalıştırılan elektrikli bir arabayı birleştiriyor. Üzerinde çalışılan konfigürasyonlardan biri şöyle: Yapı, 110 metre karelik bir panele, 61 kilowatt saatlik (kwh) bir bataryaya ve 10 kw'lık bir DC/AC çeviriciye sahip bulunuyor. Diğer taraftan, ya-

pıyla birleştirilecek arabanın tam teçhizatlı olmasına dikkat ediliyor. Bu araba, 31 kwh'lik (veya 680 kg) bataryalar, 40 hp/16 w'luk elektrikli bir sürüş motoru ve 25 hp/10 kw'lık bir motor/jeneratöre içeriyor. Böyle bir araç, 60 mil'lik (yaklaşık 100 km) bir mesafe katedebilecekti. Birçok konvansiyonel arabaya kıyasla daha büyük bir hıza sahip olacaktı. Ve maksimum hızı yasal hız sınırını aşacaktı.

Çalışma tarzlarından birinde motor/jeneratör, paneller tarafından sağlanan enerji ile yapı ve arabanın ihtiyaç duyduğu enerji arasındaki açığı tamamlamak amacıyla kullanılacaktı. Diğer bir çalışma tarzında ise sistem, elektrik şebekesine bağlanacaktı. Böylece, gün boyunca üretilen fazla elektrik, şebekeye aktarılabilir ve enerji gece boyunca geri alınabilecekti (Kamu hizmet kurumları, sistemlerine aktardığınız bütün elektriğin ücretini ödemekle yükümlüdür). Bilgisayar simülasyonu, Kaliforniya'da böyle bir sistemin, birinci tarzda çalıştırılması durumunda, her yıl yaklaşık 560 galon benzin (2119,6 lt) gerektireceğini gösterdi. Sistem için varsayılan yer, Fresno'daydı ve her gün yaklaşık 60 mil'lik bir araba yolculuğu yapılması bekleniyordu. İkinci tarzda ise kurumdan, her yıl 900 kwh civarında enerji talep edilecekti. Bu enerji ihtiyaçlarının, bir yapıyı veya bir arabayı çalıştırmak için gerekli olan enerjiden çok daha az olduğu açıktır. Ayrıca, panelin ve yapının deposunun büyüklüğünü artırarak ve otomobilin performansını düşürürerek bu ihtiyaçların daha fazla azaltılması mümkündür. Verdiğimiz bu rakamlar, elimizdeki akü ve güneş pili performanslarına göre hesaplanmıştır. Ürünlerle ilgili gelişmeler, bu rakamların değişmesini ve en verimli hesaplamalara ulaşılmasını sağlayacaktır.

Bu rakamların (ve diğer birçoklarının) hesaplanması için yapılan çalışma, matematiğin uygulanmasını yansıtır. Yani, güneş enerjisi kullanımıyla ilgili çeşitli yaklaşımların fizibilitesini araştırma amacıyla matematiğe başvurulmaktadır. Ürünün çalışır hale getirilmesi için ihtiyaç duyulan zaman ve enerji, gerekli bilgiye ulaşma amacıyla farklı yapılar ve otomobiller üretmekten çok daha ucuza malolmuştu. Güneş enerjili araba tartışması sonsuza kadar sürebilir. Ama uygulanabilir düşünceler geliştirmek istiyorsak, nicel düşünme biçimini kullanmak zorundayız.

Böyle düşünmeyi denemek ister miydiniz? Aşağıda gördüğünüz problemi geçen yılki öğrencilerime sormuştum. Yanıtı bir yerlerden bulmaya çalışmaktansa, problemi hızla akıldan çözmelerini istedim. Bir de siz deneyin. Bölümün sonunda öğrencilerden birinin verdiği yanıtı bulacaksınız.

Problem

Bildiğiniz gibi, Amerika Birleşik Devletleri'nin bazı bölgelerinde, tatlı su kıtlığı endişe verici boyutlara ulaştı. Amerika Birleşik Devletleri'nin 1980 yılında günlük tatlı su tüketimi aşağıdaki gibiydi:

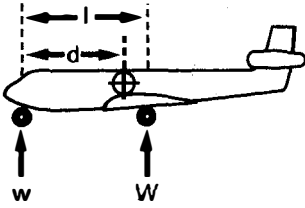
Sulama	: 150 milyar galon (567.750 milyar lt)
Kamusal su hizmetleri	: 34 milyar galon (128.690 milyar lt)
Kırsal Tüketim	: 5 milyar galon (18.925 milyar lt)
Endüstriyel ve muht.	: 45 milyar galon (170.325 milyar lt)
Elektrik hizmetleri	: 210 milyar galon (794.850 milyar lt)
Toplam	: 450 milyar galon (1703.250 milyar lt)

Amerika Birleşik Devletleri'nde tuvalet temizliği için kullanılan günlük tatlı su miktarı ne kadardır? Bu üzerinde düşünülmesi gereken bir problem midir?

Mühendisler, burada yapmakta olduğumuzdan çok daha kesin doğrulara ulaşmaya çalışırlar. Örneğin, başka gezegenleri araştırarak araçların roket ve füze rampaları için veya uçaklardaki kanat uzunluklarının ara kesitleri için kesin hesaplamalara ulaşılması zorunludur. Ama yine de, tahmini hesaplamalarla kesin sonuçlara ulaşıldığı olmaktadır.

Mühendisler, aritmetiğin yanı sıra birçok matematiksel yaklaşımdan da yararlanırlar. Sözelimi, cebir, geometri, trigonometri, ileri matematik, Boole cebiri ve istatistik bunlardan bazılarıdır. Aritmetikten hemen sonra bir çoğumuzun ilk gördüğü matematik biçimi olan cebir, olağanüstü bir güce sahiptir. Birçok insanın matematik hayatının, x , y ve z gibi genel sembollerin özel sayılarla ifade edilmeye başlandığı bir sırada sona ermesi oldukça trajiktir. Cebir, te-

Uçağın tekerlekleri üzerindeki ağırlık dağılımı.



W , arka tekerlerin üzerindeki toplam ağırlık olsun,
 w , ön tekerlerin üzerindeki ağırlık olsun,
 d , ön tekerler ile ağırlık merkezi arasındaki uzaklık olsun,
 l , ön tekerler ile arka tekerler arasındaki uzaklık olsun,

rimlerle kafanızı karıştırmadan denklemleri çözmenizi ve bütün sayılar için doğru ilişkileri bulmanızı sağlar. Öğrencilik yıllarınızda söz-lü problemlerden nefret eder miydiniz? Eğer öyleyse, cebirin bu problemleri basitleştirdiğini gözden kaçırmış olabilirsiniz.

Kalkış sırasında yolcuların mürettebat tarafından arka sıralara oturtulduğu bir uçahta bulundunuz mu? Eğer uçağın yolcu sayısı normalden azsa böyle bir önlem alınır. Çünkü ağırlık merkezi (veya tercih ederseniz yer çekimi merkezi), aerodinamiğin kendine has özelliklerinden dolayı belirli sınırlar içinde tutulmak zorundadır. Bu tür ayarlamalar genellikle yolcunun ve bagajın tahmini ağırlığına bağlı olarak alınır. Peki, bir uçağın her bir tekerlek dizisine düşen ağırlığını biliyor olsaydık, ağırlık merkezinin boylamasına yerini (düşey lokasyonunu) doğrudan hesaplayabilir miydik?

Bu soruya vereceğimiz yanıt evet olacaktır. Çünkü statik denge yasalarına göre şöyle bir durum söz konusudur: Arka tekerler üzerindeki toplam ağırlık ile arka tekerlerle ağırlık merkezi arasındaki uzaklığın çarpımı, ön tekerler üzerindeki toplam ağırlık ile ön tekerlerle ağırlık merkezi arasındaki uzaklığın çarpımına eşittir (yukardaki şekle bakınız). Basit bir cebir denklemi kurmak için bundan yararlanabiliriz: Denge ilkemizden yararlanarak şu formülü yazabiliriz:

$$wd = W(l-d)$$

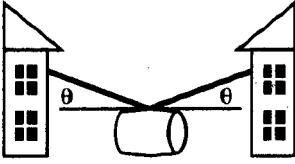
Bu formül, aynı zamanda şu şekillerde de ifade edilebilir: $d(w+W) = Wl$ veya $d = Wl/(w+W)$. Uçağımız için w , W ve l değerlerini biliyor olmamız nedeniyle bu denklem, ön tekerler ile ağırlık merkezi arasındaki uzaklığa ilişkin açıklayıcı bir ilişki kurmamızı sağlar. Ve bu

ilişki, üç tekerli iniş takımı konfigürasyonuna sahip bütün uçaklar için geçerli olacaktır.

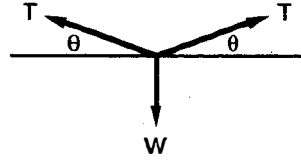
Mühendisler geometriden kaçamazlar; çünkü imalat dünyası, dik-törtgenlerden, dairelerden, silindirlere, paralel kenarlardan, konilerden ve diğer benzeri şekillerden oluşur. Birkaç yıl önce bir tasarım projesine katılmıştım. Bu projede, geniş düz bir panelin önce belirli bir konuma yerleştirilmesi, daha sonra da tamamıyla farklı bir konuma ve açığa getirilmesi gerekmişti. Eksenler, sabitlenemeyen değişken parçalar ve demir çubukların bulunduğu karmaşık bağlantılarla boğuşuyorduk ki gruptakilerden biri, lisedeki geometri derslerinden birşeyler hatırladı. Uzayda bir yerde tek basit bir aks ekseninin bulunması gerekiyordu; ve düzlemdeki şekli, bu eksenin etrafında başlangıçta bulunduğu noktadan bir diğerine döndürmek mümkündü. Böyle bir eksen nasıl bulacağımızı hatırlamak epey zamanımızı aldı. Sonunda bunu başardık ama nasıl? O kadar şanslıydık ki gruptakilerden birinin lisede okuyan ve geometri dersini yeni görmüş bir oğlu vardı!

Teknolojide üçgenlere sık rastlanır. Eğer elinizde bir takım miller, uçları delikli çubuklar varsa ve iki boyutlu yapılar oluşturmaya başlarsanız, ilginç birşeyle karşılaşsınız. İki çubuk kullanarak geometrik bir şekil ortaya çıkaramazsınız. Oysa üç çubuk, size bir üçgen kazandırır. Yani belirli bir geometrik şekle sahip bir yapı ortaya çıkar. Dört veya daha çok çubukla da, belirli bir şekli olmayan yapılar oluşturabilirsiniz. İşte bu nedendir ki basit köprülere, bina iskeletlerine veya diğer yapılara baktığınızda üçgenler görürsünüz. Trigonometri, üçgenler üzerine bir çalışma olduğu için matematiğin faydalı biçimlerinden biridir.

Geçen yıl öğrencilerimden biri, bir felaket haberiyle bana gelip mühendislik bilgimden yararlanmak istediğini söylemişti. Kaldığı yurttaki bir parti verilmişti. Alışılmadık birşey yapmış olmak için içi bira dolu küçük bir fıçıyı, karşılıklı iki bina arasında gerili bir ipe asarak havada sallandırmak istemişlerdi. Binaların birinci katlarındaki pencere çerçeveleri arasına bir halat germişlerdi. Ama fıçıyı istedikleri yüksekliğe çıkarmakta sıkıntı çekince halatı germek için bir alet kullanmışlardı. Bu, vinç benzeri küçük bir aletti ve büyük bir güç uygulanmasını olanaklı kılıyordu. Ama bütün çabaları boşa



Halattaki fiçi.



Uzaydaki fiçi.

çıkmişti; çünkü pencerelerden birinin çerçevesi duvardan sökül-müştü. Öğrencim bunun nedenini öğrenmek istiyordu.

Gelin bu problemi birlikte yeniden gözden geçirelim. Öncelikle, fiçinin halatın tam ortasında bulunduğunu varsayalım. Öyle ki bütün açılar birbirine eşit olsun (yukardaki şekle bakınız). Fiziksel denge-nin başka bir kuralı, bize şunu açıklayacaktır: Fiçinin ağırlığı, halatın üzerindeki gücün dikey bileşenlerine eşit olmak zorundadır. Halatta-ki gerilim T , yatay eksenle θ derecelik bir açıda her iki yöne de etki-de bulunuyor (çizime bakınız). Bu güç, biri dikey biri de yatay olarak etkide bulunan iki bileşene ayrılabilir. Yatay bileşenler, birbirlerine etkiyerek etkisiz hale gelirler. Fiçinin ağırlığını (w) kaldıran dikey bi-leşendir. Trigonometriden bildiğimiz üzere dikey bileşen,

$2T\sin\theta$ 'ya eşittir.

Trigonometri bilmiyorsanız, $\sin\theta$, θ 'nın sinüsünün kısaltmasıdır ve bütün θ açıları için tek bir sayıdır. Eğer θ , bir dik üçgende dar açı olursa, θ 'nın sinüsü, dar açının karşısındaki kenarın uzunluğunun hi-potenüsün uzunluğuna, veya üçgenin en uzun kenarına oranı olacaktır.

Denge kuralımızdan şu denklemi çıkarabiliriz:

$$W = 2T\sin\theta, \text{ veya } T = W/2\sin\theta$$

Eğer θ , 90 derece olsaydı, yani fiçinin asılı olduğu halat ikiye katlanmış olsaydı, halattaki gerilim fiçinin ağırlığının yarısı olacak-

tı; çünkü 90 derecenin sinüsü 1'dir. 45 derecelik bir θ açısının sinüsü de, yaklaşık 0,7'ye eşittir. Yani, bu durumda, halattaki gerilim, fiçinin ağırlığının $3/4$ 'üne eşit olacaktır. Yine de, hâlâ çözemediğimiz bir sorun var: 10 derecenin sinüsü, 0,17'dir. Dolayısıyla halattaki gerilim, fiçinin ağırlığının 3 katı olacaktır. 5 derecede fiçinin ağırlığının 6 katı; 2 derecede ise 14 katı olacaktır. Sonuçta, 0 derecenin sinüsü sıfıra eşittir. Bu da demektir ki, halatı tamamen gergin tutmaya çalışmak sınırsız bir gerilim yaratacaktır. Bu gerilim, pencere çerçevesine uygulandığı için ve içi bira dolu fiçi ağır olduğu için öğrencilerin karşılaştığı sonuç, aslında hiç de garip değil. Ne var ki bu sonuç, öğrenciler açısından pahalıya patlamıştı; çünkü pencere çerçevesinin onarım masraflarını ödemek zorunda kalmışlardı. Oysa işi yapan bir mühendis olsaydı, fiçiyi asmak için ikinci kattaki pencere çerçevelerini kullanacak ve halatın aşağı sarkmasını sağlayacaktı.

İleri matematik, mühendislerin değişken niceliklerle çalışabilmelerini olanaklı kılar. Değişkenler arasındaki ilişki bilinirse, diferansiyel hesap sayesinde değişim oranları bulunabilir. Alanlar ve hacimler de, integral hesap sayesinde hesaplanabilir. Sabit niceliklerin yanı sıra değişkenleri de içeren denklemler (yani, diferansiyel denklemler), ileri matematik yardımıyla çözülebilir. Kısacası, elastik katılar, akışkanlar, ısı, ses, elektrik ve yer çekiminin davranışları gibi değişken fiziksel olguların tahmin edilmesinde ileri matematik tartışmasız bir öneme sahiptir. Boole cebiri ise, işlem çiftleriyle ilgilidir ve kendisini bilgisayar biliminde temel kılan işlem çiftlerine ilişkin yasalar içermektedir. Dijital (sayısal) bilgisayarların temel öğeleri, iki olasılığa sahiptir. Bu nedenle, bilgisayar mantığı bu tür şeyler üzerine kurulmalıdır. Bunu yaparken gerekli olacak yasaları da, Boole cebiri içermektedir.

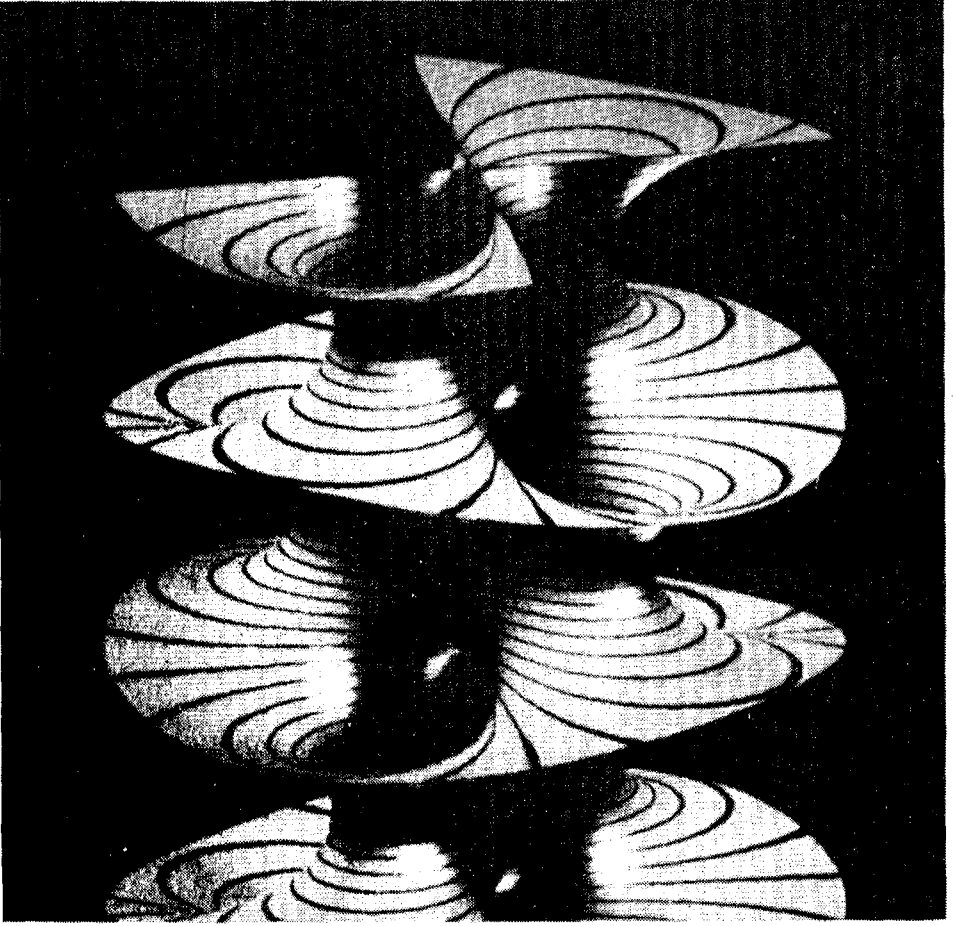
Çok fazla sayısal değerın üstesinden gelebilmek içinse, istatistik yardımı çağrılır. İmalat sürecinde, belirtilerin dışına çıkmadıklarının garanti edilmesi amacıyla ürünlerin test edilmesi gerekir. Test işlemi, ürünlerin kullanılmaz hale gelmesine neden oluyorsa (mesela yıllanmış şampanyalar veya havai fişekleri düşünün), bütün parçaların denenmesi istenmeyecektir. Bütüne genellenebilecek bir ka-

litenin saptanması için ne kadar test yapılması gerektiğini istatistik aracılığıyla öğrenebiliriz. Sözelimi, müşterilerin belirli bir tasarım özelliğini beğenip beğenmeyeceklerini saptamaya çalışıyorsak, ne kadar insan ve hangi parçalar sorularını sormamız gerekir. İşte istatistik de bu soruların yanıtını vermektedir.

Matematik buraya kadar anlattıklarımızla sınırlı değildir. Matematiğin, birçok biçimi vardır (140. sayfadaki tabloya bakınız). Mühendisler bunlardan sadece bazılarını kullanırlar. Özel bir disiplinin dışındaki kişilerin bilmediği bazı matematik biçimleri de vardır. Kısacası matematik, uzmanlığın hüküm sürdüğü bir alemdir. Yapılan bir tahmine göre, Amerikan matematik alemi, 60,000 ile 90,000 arasında değişen bir nüfusa sahiptir. Bu tahmine göre, diğer ülkelerdeki sayılar da aşağı yukarı aynıdır⁽²⁾. Bu insanlar çalışmalarını 1,600'den fazla teknik dergide yayımlayabiliyorlar. Stanislav Ulam, *Bir Matematikçinin Serüvenleri* (*Adventures of a Mathematician*) adlı otobiyografisinde, matematik literatüründe her yıl 200,000 civarında yeni kuramın yayımlandığı tahmininde bulunuyor⁽³⁾. Açıktır ki hiç kimse tek başına, bu miktarlarda yeni malzemeye ayak uyduramaz. Özellikle de milyonlarca başka şey yapması beklenen bir mühendis bunun üstesinden gelemez.

Matematiğin büyük bir bölümü ne çoğu mühendis tarafından kullanılmakta ne de anlaşılmaktadır. Genelde mühendisler, matematiğe yönelik olarak matematikçilerden farklı itkilere sahiptirler.

Matematikçiler, matematiğin sahip olduğu güç ve güzellikle büyülenirler. "Halis" matematik, insan eylemlerinin en estetik biçimlerinden biridir. Matematik, uzmanlaşmış bir alanda çalışan kişilerin değer yargılarıyla yönetilen, oldukça kuramsal bir uğraştır. Matematikçiler çoğunlukla tek başlarına çalışırlar, ve şu yollarla güdülenirler: Ortaya çıkarılan çalışmalardan haz almak; başarılarından gurur duymak; yayımlanan çalışmalar sayesinde meslektaşlarının takdirini kazanmak; kişinin çalışmalarına yönelik tepkiler; ünlü olmak; ve belki de, bir teoremin kişinin adıyla anılması için uğraşmak. Gelgelelim, mühendisler, matematikçilerin tersine, gruplar halinde çalışma eğilimindedirler. Çalışmalarını yayımlatmaya veya kendi kuruluşları dışındaki meslektaşlarına yönelik sunuşlar yap-



Bilgisayar kullanılarak çizilmiş bir periyodik minimal yüzey resmi. Bu tür yüzeyler sadece matematikçilerin değil, madde yapıları üzerinde çalışanların da ilgisini çekiyor. Modern bilgisayar grafikleri, bu yüzeylerin keşfinde, görün-tülenmesinde ve üzerlerinde yapılan çalışmalarda paha biçilmez bir değere sahip. Yukarıdaki yüzey, Michael Callahan, David Hoffman ve William Meeks tarafından keşfedilmiş. Çizimi ise, Amherst'te bulunan Massachusetts Üniversitesi bünyesindeki Geometri, Analiz, Sayı ve Grafik Topluluğu tarafından yapılmış.

maya çok fazla zaman ve emek harcarlar. Sağladıkları tatmin ise, başarılı ürünlerin üretimiyle paraleldir. Mühendislik ile matematik arasında bir ara kategori bulunur: Uygulamacı matematik. Bu alanda çalışan kişiler, uygulamacı matematikçi olarak adlandırılırlar ve 'karmaşık matematik' aracılığıyla mevcut sorunları çözmeye çalışırlar. Endüstri sektöründe bu kişilerin hizmetine yönelik büyük bir talep vardır. Bu kişiler çalışmalarını sadece meslektaşları için yayımlarlar.

Matematikçilere benzer biçimde, mühendisler de fiziksel dünyadaki ilişkileri genellemek ve 'matematiksel işlemleri' basitleştirmek için bir 'stenografi' biçimi olarak semboller kullanırlar. Anlamalı bir sembolik ilişki kurunca da, farklı durumlara ait niceliklerin, bu sembollerin yerine kullanılması mümkün olur. 1. Bölümde bir Yunan mancınının çapını hesaplamak için bir formül kullanıldığından söz etmiştik. Bu formül, mühendislerin makineler tasarlamasını olanaklı kılan ilişkilerin ilk örneklerindendi. Makinelerin bu şekilde tasarlanması sayesinde deneme ve yanılma yöntemiyle zaman harcamaya gerek kalmıyordu. Bu tür bir ilişki, doğaya ilişkin belirli bir bilginin üzerinde temellenmediği için ampirik bir ilişkidir. Mancınık örneğinde deneyim, bu ilişkinin yararlı olduğunu göstermişti. Bu ilişkiye bağlı olarak bulunan formül de, mancınık mühendisleri arasında çok popüler bir araç olmuştu. İlk mühendisler, çember, çap ve alan arasındaki bağıntılar ile üçgenlerin kenarlarının uzunlukları arasındaki bağıntılara da ihtiyaç duymuşlardı. Sonuçta mühendisler, çalışmalarında matematiksel olarak ifade edilen ilişkilere giderek daha fazla ihtiyaç duyar hale geldiler.

Örneğin Newton'un ikinci yasası, bir cisim üzerine uygulanan kuvvetin, bu cismin kendisine kütlesiyle ters orantılı bir hız kazandırdığını açıklamaktadır. Belirli bir kuvvet için kütlenin iki katına çıkarılması, hızı yarıya indirir. Belirli bir kütle için uygulanan kuvvetin iki katına çıkarılmasıysa, hızı iki katına çıkarır. Bilim adamları ve mühendisler, ikinci yasayı şöyle formüle ederler:

$$F = ma$$

**Matematiğin
Sınıflandırılması**
.....

Genel
Tarih ve biyografi

Mantık ve esaslar
Kümeler kuramı
Kombinasyonlar, grafik kuramı
Düzen, kafesler,
sıralı cebirsel yapılar
Genel matematiksel sistemler

Birleşmesiz halkalar ve cebirler
Kategori kuramı, homoloji cebiri

Grup kuramı ve genelleştirmeler
Topolojik gruplar, Lie grupları
Sayısal analiz
Bilgisayar bilimi
Uygulamalı genel matematik
Gerçek değişkenlerin fonksiyonları
Ölçüm ve integrasyon
Bir karmaşık değişkenli
fonksiyonlar
Potansiyel kuramı
Çoklu karmaşık değişkenler ve
analitik uzaylar
Özel fonksiyonlar
Basit diferansiyel denklemler
Kısmî diferansiyel denklemler
Sonlu kalanlar ve fonksiyonel
denklemler

Diziler, seriler, toplanabilirlik

Yaklaşımlar ve açılımlar
Fourier analizi
Soyut uyumlu analiz
İntegral dönüşümler, işlemsel
cebir
İntegral denklemler
Fonksiyonel analiz
Operatör kuramı
Varyasyon hesabı ve optimal
kontrol

Geometri
Dışbükey kümeler ve geometrik
eşitsizlikler Diferansiyel geometri
Genel Topoloji
Ombra Kuramı
Cebirsel sayı kuramı, cisim kuramı
polinomlar
Komütatif halkalar ve cebirler
Cebirsel geometri
Doğrusal ve çok doğrusal cebir
matriks kuramı
Birleşmeli halkalar ve cebirler
Cebirsel topoloji
Katmanlı uzaylar ve
hücre kompleksleri
Global analiz, katmanlı uzaylar analizi
Olasılık Kuramı ve rastlantısal
süreçler
İstatistik

Madde ve sistem mekaniği
Katı mekaniği
Akışkan mekaniği, akustik
Optik, elektromanyetik kuramı

Klasik termodinamik, ısı transferi
Kuantum mekaniği
İstatistiksel fizik, madde yapısı
Görecelik
Astronomi ve astrofizik
Jeofizik

Ekonomi, yöneylem araştırması,
programlama, oyunlar
Biyoloji ve davranışsal bilimler
Sistemler, kontrol
Enformasyon ve iletişim, devreler
otomat

Yaklaşık 3400 alt kategori

Kaynak
Mathematical Reviews, 1979

Newton, bütün ömrü boyunca fiziksel dünya üzerine düşünerek ve deneyler gerçekleştirerek bu yasayı bulmuştu; bazı başka ilişkilerden matematiksel olarak türetmemiştir. Bu fizik yasası, doğru kullanıldığında bize çok yararlı şeyler açıklar. Örneğin, hava direncini ve yuvarlanma sürtünmesini dikkate almayacak olursak şunu söyleyebiliriz: Bir arabayı belirli miktarda hızlandıracak kuvvetin miktarı, arabanın kütlesiyle doğrudan ilişkilidir. Peki ya, daha hafif arabalar için ne söyleyebiliriz? Uzayda bir yüke sahip olduğumuzu varsayalım. Bu yük, dünyada 1,000 pound (453 kg) ağırlığına eşit olsun. Diyelim ki yükümüz, 10 pound'luk (4.53 kg) itme kuvveti sağlayan bir roketi içeriyor olsun. Bu durumda, hızda belirli bir değişiklik sağlanması amacıyla roketi ne kadar süre ateşlememiz gerektiğini hesaplayabiliriz. Diyelim ki, katedeceğimiz uçuş mesafesini az da olsa ayarlamak amacıyla saniyede 10 ft (10,9728 km/h) hızlanmak istiyoruz. Ve görelilik etkileri yüzünden endişelenmeyelim diye yeterince yavaş gidiyoruz.

Dünyada bulunan ağırlık, bir kütlenin yerçekimi ivmesi kapsamında bir skalaya veya başka bir desteğe uyguladığı kuvvettir. Dünya yüzeyindeki ağırlığı ve yer çekimi ivmesini bildiğimiz için (32.2 ft/sec^2), uzay gemimizin kütlesinin $1000/32.2 \text{ lb-sec}^2/\text{ft}$ olduğunu söyleyebiliriz. (Burada verdiğimiz birimler bazen 'pavndal' olarak ifade edilirler. Çok anlaşılmasa da durum bu; ama Amerika Birleşik Devletleri, bu gibi şeyleri çok daha zarif biçimde değerlendiren metrik sisteme geçmeye yanaşmamaktadır). Bu nedenle, roketimizin uzay gemimize kazandıracağı ivme, roketten sağlanan kuvvetin uzay gemisinin kütlesine bölünmesine eşit olacaktır: Yani, $(10 \times 32.2)/1000 \text{ ft/sec}^2$ veya 0.322 ft/sec^2 . İvmeler genellikle dünya yüzeyindeki yer çekimi kapsamına açıklandığı için bunu, 0,01 g olarak da tanımlayabiliriz.

Ancak, hız, ivme ve zaman arasında bir ilişkiye daha ihtiyaç duyuyoruz. Eğer bir cisim ivme kazanıyorsa cismin son hızı, şu şekilde hesaplanır: Cismin ivme kazandığı süre ile ivmenin değeri çarpılır. Elde edilen sayı ile cismin başlangıçtaki hızını çarpığımızda da, cismin son hızını buluruz. Artış miktarı, ivme çarpı zamandır. Bunu, bir kitaptan öğrenmeniz veya ivmenin tanımından çıkarmanız da mümkündür. Hatta, lisedeki fizik derslerinizden hatırlamanız bile mümkün. Neyse, nihayet ev ödevimizin sonuna geldik. Artış miktarımız (10 ft/sec), ivme (0.322 ft/sec^2) ile zamanın çarpımına eşittir. Bu durumda zaman $10/0.322$ 'ye, yani 31 saniyeye eşit olur.

Bunun gibi basit görünen birçok fiziksel ilişki vardır. Bu ilişkiler, sembolik olarak ifade edildiklerinde bize ilgili nicelikleri hesaplama yollarını ve yetilerini kazandırır. Örneğin, Ohm Yasası. Bu

yasa, elektriğin akışı için bize şunu açıklar: Voltaj (gerilim), direnç olarak adlandırılan bir nicelik ile akımın çarpımına eşittir. Bu ilişki şöyle yazılabilir:

$$E = IR$$

Burada, E voltajdır (volt); I akımdır (amper); ve R de dirençtir (ohm). Araba aküsüyle (12 volt) çalışacak bir radyo tasarlıyor olduğumuzu ve devrede 0,001 amper'lik bir akım (1 miliamper) bulunmasını istediğimizi varsayalım. Bu durumda, söz konusu devrede 12,000 ohm'luk dirence ihtiyacım olacaktır. Daha karmaşık bir örnek vereyim. Diyelim ki soğuk sabahlarda radyatörün çalışması için motorun yeterince ısınmasını beklerken geçen süre sabrımı tüketiyor. Ayrıca arabamda kullanabileceğim banyo tipi bir ısıtıcı tasarlayıp bunu arabanın aküsüne bağlamayı düşünüyorum. Karşılaşacağım sonuç ne olacaktır?

Banyo ısıtıcımı incelediğimde 1000 watt'la çalıştığını görürüm. Watt bir enerji birimidir. Belirli bir cihaz için "wattage", akım ile voltajın çarpımına eşittir. 12 volt'ta 1000 watt, yaklaşık 83 amper'lik bir akım gerektirecektir. Ohm yasasına göre ısıtıcının direnci, 12/83, yani 0,15 ohm olacaktır. Ama, arabamın aküsüne baktığımda akünün toplam kapasitesinin 100 amper saat civarında olduğunu öğrenirim. Ve arabaların amper metrelerle donatıldığı zamanları hatırlayabilirsem akülerin şarj edilmelerinin birkaç amper kabilinde olduğunu anımsayabilirim. Bu yüzden de akünün şarj edilebileceğinden çok daha hızlı bir sürede boşalacağı korkusuyla, arabama bu tür bir ısıtıcı yerleştirme konusunda endişelenirim.

Bunlar gibi basit görünüşlü yasalar, sembolik biçimlerde yazıldıklarında, inanılmaz ölçüde güçlü olurlar. Mühendis, bunların ne zaman uygulanabilir olduğunu bilmek zorundadır. Sözelimi, ışık hızına yaklaşıldığında Newton yasası hiçbir işe yaramaz. Buna karşın, bu yasaların temelini oluşturan varsayımlara ilişkin bir anlayış geliştirecek olursak, fiziksel olguların davranışları hakkında çok güçlü yaklaşımlar geliştirebiliriz. Çoğu kişi için bu tür ilişkiler matematiksel görünür. Çünkü sembollerle ifade edilirler ve aslında basit fizik yasaları olmalarına karşın mühendisler tarafından matematiksel hesaplamalarda kullanılırlar.

Matematik bize olağanüstü bir dil kazandırır. Bu dil sayesinde teknolojideki çok karmaşık ve ilgili fiziksel olayları neredeyse büyülmüş bir şekilde, şık ve güçlü biçimlerde açıklayabiliriz. Bu dil aracılı-

ıyla yapılan açıklamalar şıktır; çünkü birkaç sembolle çok fazla şey söylemektedir. Aynı zamanda güçlüdür de; çünkü bize yararlı olacak birçok başka ilişki türetmemizi sağlar. Bunlardan bazıları basit görünüşlüdür. Aman görünüşe aldanayım demeyin. Mesela, termodinamiğin birinci yasasını düşünün. Bu yasa basit görünür; ama çok fazla şey açıklar. Örneğin, belirli bir hacim için şöyle bir açıklamada bulunur: Belirli bir hacmin içindeki enerji artışı, belirli bir sürede hacime giren net ısıdan, yapılan mekanik işin çıkarılmasıyla elde edilen değere eşittir. Bunu şöyle yazabiliriz:

$$Q - W = E$$

Burada Q belirli bir süre içinde hacme giren net ısıdır; W yapılan mekanik iştir; ve E de hacmin enerjisindeki artıştır. Ama bu yasanın doğru biçimde uygulanabilmesi belli ölçüde uzmanlık gerektirmektedir. Bir araba motorunun etrafına hayali bir kutu yerleştirdiğimi varsayalım. Eğer motor, durağan bir durumda bulunuyorsa (mesela, karayolu boyunca sabit hızla ilerliyorsa), kutunun hacmi içindeki enerji miktarı sabit kalacaktır. Öyle ki E ile ifade edilen değer, sıfıra eşit olacaktır. Termodinamiğin birinci yasası, bu durumda, belirli sürede hacme giren net ısının, motor tarafından yapılan işe eşit olacağını söyler. Benzinin yanmasıyla açığa çıkan ısıdan, havaya giden ısıyı çıkardığımızda sonuç, net ısıya eşittir. Bu, bize birçok şey açıklamaktadır. Bundan böyle, radyatörümüz ve soğutucu vantilatörümüzle eskisi kadar gururlanamayız. Çünkü ısı enerjisini havaya uçurarak paramızın israf olmasına neden oluyorlar. Yolculuk etmek dururken benzinimizle yeryüzünü ısıtmayı tercih etmeyiz herhalde. Bu arada, termodinamiğin ikinci yasası, bir miktar ısı kaybetmek zorunda olduğumuzu söyler. Ama bu kayıp, ne kadar az olursa o kadar iyidir. Benzinimizin ne kadar sürede tüendiğini, içindeki enerji miktarını, havaya karışan ısı miktarını ve motordan elde ettiğimiz iş miktarını bilirsek, motorumuzun verimini hesaplayabilir ve onu daha verimli çalışacak biçimde yenileyebiliriz.

Basit görünen bazı denklemler, çarpıcı düşünsel sıçramaları temsil ederler. Bir örnek verelim: Geçtiğimiz yüzyılda James Clerk Maxwell, elektrik ve manyetizma olgularını tutarlı ve bütünlüklü bir

kuramda biraraya getirdi. Bu kuram, radyo dalgalarını, ultraviyole ve kızıl-ötesi ışımaları, gözle görülebilen ışığı, X-ışınlarını ve gama ışınlarını içeren bütün elektromanyetik ışımalar ile mühendisler için önem taşıyan ilgili diğer şeyleri açıklamaktadır. Maxwell denklemleri, elektrik mühendisleri için temel bir öneme sahiptir. Bunlar, elektrik ve manyetik alanlar, akım yoğunluğu, akım taşıyan elemanlar arasındaki kuvvetler, "elektiriksel yer değıştirme" (veya elektiriksel deplasman) olarak adlandırılan bir sabit ve zaman gibi birtakım niceliklerin etkileşimlerini açıklayan denklemlerdir. Zaman dışında bu niceliklerin hepsi de mekana bağılı olarak değışmektedir. Matematiksel ilişkilerin, boşluk için vektöryel biçimde ne kadar da şık yazıldıklarına dikkat edin.

$$\text{curl } \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

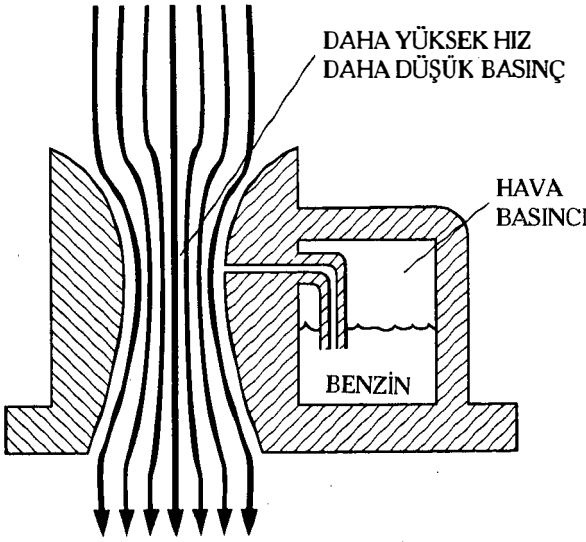
$$\text{div } \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

$$\text{curl } \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{j}$$

Burada $\mathbf{E}$ elektrik alanının vektör cinsinden ifadedesidir. $\mathbf{B}$ akım elemanları arasındaki kuvvet alanının vektör cinsinden ifadesidir. $\mathbf{H}$ manyetik alanın vektör cinsinden ifadesidir. $\mathbf{D}$ akım deplasmanının vektör cinsinden ifadesidir. $\mathbf{j}$ akım yoğunluğunun vektör cinsinden ifadesidir. t zamandır. ρ yük yoğunluğudur. Ve ϵ_0 da, serbest uzayın dielektrik geçirgenliğidir.

Matematikte uzmanlaşmadıkça, 'körl'ler, ıraksaklıklar ve diferansiyel denklemler gibi şeyler hakkında hiçbir şey öğrenemezsiniz. Bu tür sembolik gösterimleri kullanmadığınız sürece, denklemlerin ifade ettiğı nicelikler hakkında bir düşünce de geliştiremezsiniz. Ama, matematiksel işlemler öğrenilebilir. Ve uygun ilişkilendirmeler sayesinde soyut kavramlar birdenbire gerçek olurlar.

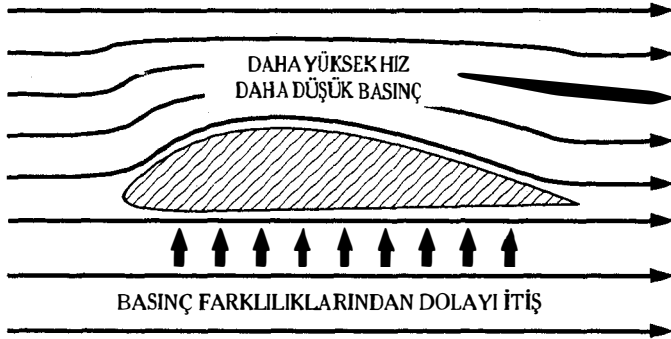


Karbüratördeki akış.

Bu denklemleri anlamaya yönlendirilmiş olsaydınız, bunu başardığınızı görecektiniz. Aslında size, bir gün gibi kısa bir sürede bu ilkeleri öğretebilirim. Ama şunu da belirtiyim: Bu denklemleri göstermemin amacı ne bunları size öğretmek ne de gözünüzü korkutmak. Sadece şunu göstermek istiyorum: Mühendislerin ilgilendiği olgulara ilişkin anlayışların büyük bir bölümü (verdiğimiz örnekte elektromanyetizm), birkaç tane sembolle mutlak biçimde açıklanabilir. Ama bu açıklama öyle bir biçimde yapılmalıdır ki cihazların tasarlanması, davranışların anlaşılması ve yeni yönelimler üzerinde düşünülmesi için matematiğin kullanılması mümkün olsun.

Ancak, Maxwellinki gibi denklemler, genellikle sadece belirli durumlarda kesin olarak çözülebilirler. Neyse ki bu sınırlı durumlar, çoğunlukla gerçeğe yakındır, ve istediğimiz yanıtlara erişmek için bu denklemleri yeterince evirip çeviren bilgisayarlar sayesinde genel durumlar için yaklaşık çözümlere ulaşabiliriz. İlişkiler daha az genellendiğinde de kesin çözümler bulunabilir.

Örneğin, Navier-Stokes denklemleri olarak bilinen bir ilişkiler kümesi, akışkan parçacıkların herhangi bir akış alanındaki ve herhangi bir zaman sürecindeki davranışlarını eksiksiz olarak açıklar.



Bir uçak kanadı üzerindeki akış.

Bunlar doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerdir ve kesin biçimde çözülemezler. Ama merak konumuz düşük hızlı durumlar veya akışkan sıvılar ise, sıkıştırılma kabiliyetini ve viskozite etkilerini gözardı edebiliriz. Bu, Navier-Stokes denklemlerini Euler denklemleri olarak bilinen çok daha basit bir denklem kümesine indirger. Sözgelimi bu ikinci denklem kümesi, tek yönlü akışlar için hız arttıkça basıncın azaldığını açıklar. Bu sonuç, otomobillerdeki karbüratörlerin neden çalıştığını ve uçakların havada nasıl kalabildiklerini mükemmel biçimde açıklamaktadır. Bir otomobil motoruna giren hava, karbüratörün “boğaz”ından veya “venturi”sinden geçer. Boğaz dar olduğu için de havanın hızı artar ve basınç, benzin içeren kabın içindeki basıncın altına düşer (145. sayfadaki şekle bakınız).

Basıncındaki bu farklılık, benzini hava akımına girmeye zorlar. Uçakların niçin havada kaldıklarına gelince... Uçak kanadının üstünde bulunan hava, kanadın yüzey alanına bağlı olarak, aynı sürede kanadın altındaki havadan daha fazla yol alır. Bu demektir ki göreceli olarak daha hızlı yol alıyordur ve hız arttıkça basınç da azalıyordur

(yandaki şekle bakınız). Basıncıdaki bu farklılık, uçağın kanadını yukarıya doğru iter. (Yani havada kalmamızı olanaklı kılacak yöne doğru.) Örnek verdiğimiz diğer ilişkiler gibi bu denklemlerin de, sadece birşeylerin nasıl çalıştığını açıklamakla kalmazlar. Bunun yanında, bu şeylerin ne kadar “çok” çalışacaklarını nicel olarak hesaplamamızı da mümkün kılarlar.

Matematik neden fiziksel dünyayı yansıtıyor gibidir? Maxwell denklemleri niçin fiziksel elektromanyetik olguları açıklamak zorundadır? Her bir sayının kendinden önce gelen iki sayının toplamına eşit olduğu (1, 2, 3, 5, 8, 13 ...) Fibonacci dizisi niçin çam kozalaklarının ve ay çiçeklerinin düzenine karşılık gelmek zorundadır? Toplama ve çıkarma niçin koyunlarımızın hesabını tutmamızı olanaklı kılmak zorundadır? Bu soruların yanıtını hiç kimse bilmiyor. Düşünürler, bunların nedenlerini yıllardır merak ediyorlar; çünkü böyle olması için hiçbir neden yoktur. Bu konuda ileri sürülen bir görüş, matematiksel ilişkilerin bir şekilde evrenin özüne yerleştirildiklerini iddia ediyor. Yani, “orada bir yerde varlar” ve zamanla keşfedilmeyi bekliyorlar. Matematik evrenden türetildiği için de doğal davranışı tahmin etmeye çalışıyor olması şaşılacak bir durum değil. Öte yandan, başka bir düşünce ekolünün iddiasına göre, mevcut matematik sistemine duyduğumuz saygı öylesine fazla ki deneyimlerimizi bile bu sisteme uydurmaya çalışıyoruz. Sanırım, birçok felsefi sav için söz konusu olduğu gibi, her iki yakada da kimi doğruluklar bulunuyor. Hangi durumda olursa olsun, sonuçta hiçbir pratik değere sahip olmadığı varsayılan matematiksel ilişkilerin bile, çoğu kereler, mühendisliğin gerçek dünyasında uygulanabilir oldukları görülüyor. 2. Bölümde CT tarama tartışmasında bahsi geçen Radon Teoremi, bunun en iyi örneklerinden biridir.

Onaltıncı ve onyedinci yüzyılların büyük düşünsel devrimleri boyunca matematiğin fiziksel gerçekliği tahmin etme eğilimi arttı ve matematik, hem bilimle hem de mühendislikle sıkı sıkıya ilişkilendirildi. Bu yakınlaşmadan önce insanlar, tahminleri ele almış, ürünleri imal etmiş ve daha sonra, kullanışlı hale gelene değin bu ürünler üzerinde değişiklikler yapmışlardı. Genelde ulaşılan sonuç fazlasıyla uzmanlaşmış oluyordu. Sözgelimi, yelkenli ahşap gemiler öylesine güzel tasar-

lanmışlardı ki yerlerini 300 yıl boyunca değişmeden koruyabildiler. Tasarımları, önemli ölçüde deneyim içeriyordu. Yapımlarında temel alınan ilkeler ise uzman gemi yapımcılarının akıllarında bulunuyordu⁽⁴⁾. Örneğin, balta ve kürek gibi bilindik nesneler, çok iyi tasarlanmışlardır. Bazen tasarım öğrencilerinin burnunu sürtmek için kullanılan yöntemlerden biri de, öğrencileri daha iyi bir balta veya kürek sapı tasarımıyla görevlendirmektir. Bu görev, tamamiyle işlevsel bir modelin üretimini gerektirir. Diğer bir deyişle, projenin tamamı, geleneksel bir balta veya kürek palasına işlevsel bir sapın eklenmesine yönelik olur. Bunun birçok kereler yapıldığını gördüm. Bu tür sunuşları seyretmek hoşuma gider; çünkü birçok insan, o ana kadar bu aletlerin ne kadar ustaca yapılmış olduğunu farketmemiştir. Buna karşın deneme ve yanılma, gökdelenlerin, denizaltıların ve ilaç fabrikalarının tasarımında kabul edilemez bir yöntemdir. Hem ekonomik olması açısından hem de güvenlik nedenleriyle, herhangi birşeyin yapımına başlamadan önce bu şeyi “aklınızda” inşa etme yeteneğine sahip olmamız gerekir. Bunun için matematiğin avantajlarından yararlanabiliriz. Yani, Newton Yasaları, Termodinamik Yasaları, Maxwell denklemleri ve kimyasal reaksiyonlar gibi temel fizik ilkelerini kullanarak yeni ilişkiler türetebiliriz. Bu yolla türeteceğimiz ilişkiler, yalnızca farklı niceliklerin birbirleriyle etkileşim biçimlerini anlamamızı sağlamaz. Yanı sıra, bize neler olup bittiği hakkında giderek gelişen bir anlayış kazandırır.

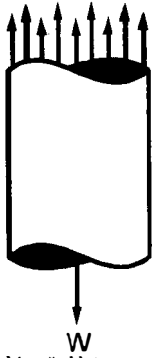
Varsayın ki bu kitabı okuyan kişilerden kendi ağırlığını kaldırabilecek en küçük çaplı çelik telin hangisi olduğunu bana en başarılı şekilde söyleyebilecek kişiye bir milyon dolar vermeyi teklif ettim. Tek engel ise şu: Yarışmacılar önerdikleri telle 5,000 ft (1524 m) yükseklikte bulunan bir helikopterden kendilerini sallandıracaklar. Diğer bir deyişle, telin ağırlığınızı çekeceğinden emin olmak zorundasınız. Ama kazanabilmek için, bu telin ağırlığınızı çekebilecek en ince tel olması da gerekiyor. Mühendisler, emniyet faktörü olarak gücün yüke olan oranına başvururlar. Olabildiğince küçük ama 1'den büyük bir emniyet faktörü istiyorsunuz. Bu önemli mi? Kesinlikle evet. Uçak ve uzay gemisi sanayinde çalışan mühendisler genellikle 1,25'lik emniyet faktörleriyle çalışırlar. Peki ya sizin tahmininiz nedir?

Eğer mühendislik veya fizik bilimi eğitimseniz yapacağınız ilk şey, hesaplamaya başlamak olacaktır. Ama böyle bir eğitim görmediyseniz, işe deneyimlerinizi düşünüp işinize yarayacak örnekler aramaya başlayabilirdiniz. Ya da tahmin yürütürdünüz. Mühendislik eğitiminden geçmemiş pek çok kişiye bu problemi sordum. Tahminleri “bir saç teli kalınlığından” “bir inç”e (2,540 cm) kadar değişiyordu. Bu Lear jetleri yapmak için fazlasıyla geniş bir aralık; hatta arka bahçenize bir güverte inşa etmek için bile fazlasıyla geniş!

Daha iyisini nasıl yapabiliydik? Haydi gelin neler olup bittiği üzerinde biraz düşünelim. Bir telin ne kadar yük kaldırabileceğini hangi nicelikler belirler? Hiç kuşkusuz malzeme. Ya başka? Ara kesit alanına ne dersiniz? Bu alan ne kadar büyük olursa, tel de o kadar fazla yük çeker diye düşünebiliriz. Bu gerçekten de doğrudur. Teldeki yük bölü ara kesit alanı, telin birim alanına etkiyen kuvvet olarak adlandırılan değeri verir. Ayrıca, deneyimlerin de gösterdiği üzere bu kuvvet, bütün tel boyunca şaşırtıcı biçimde sabittir. Ayrıca, çeşitli malzemelerle yapacağımız deneylerle, her bir malzemenin kırılmaksızın kaldırabileceği kuvveti bulacağımızı umabiliriz. Bu daha önce yapılmıştır ve sonuçta elde edilen değerler, malzemenin kırılma mukavemeti veya hata kuvveti olarak adlandırılmıştır. Ama bu nicelikler mutlak değildir; çünkü aynı malzemenin farklı grupları, belli belirsiz de olsa ayrı özelliklere sahiptir. Gelgelelim mühendislerce kullanılabilecek ölçüde yaklaşık değerlerdir.

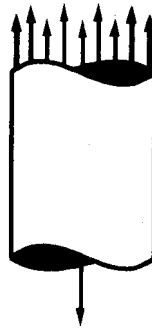
Çeşitli çeliklerin kırılma mukavemetleri, alanın her bir inç karesi için 60,000 pound’dan 200,000 pound’a kadar değişiklik gösterir. Kullanmakta olduğumuz çelik telin, 100,000 psi’lik bir kırılma mukavemetine sahip olduğunu varsayalım. (Bunu imalatçımıza sorarak veya bir parçasını kendi başımıza test ederek doğrulamış olalım). Telin üstündeki küçük bir kesiti inceleyerek ilgili nicelikler arasında bir ilişki türetebilir, ve denge olarak da bilinen bir ilkeye başvurabiliriz. Biliyoruz ki bizim örneğimizde, eğer helikopter havada mükemmel biçimde sabit duruyorsa (şimdilik titreşimi göz önünde bulundurmuyoruz), telin küçük kesiti ivme kazanmıyordur ve aslında sabittir.

Birim alana etkiyen kuvvet= s



Hiçbir ağırlık taşımayan tel parçası

Birim alana etkiyen kuvvet= s



Ağırlığa sahip tel parçası

Bu durumun gerçekleşmesi halinde, telin üzerinde yukarıya doğru etkiye bulunan kuvvetler, aşağı doğru etkiye bulunan kuvvetlerle aynı olmak zorundadır (şekle bakınız). Aksi takdirde, tel parçası üzerinde net bir kuvvet söz konusu olacaktı ve Bay Newton, tel parçasının ivme kazandığında ısrar edecekti. Telin ağırlığının bizim ağırlığımızdan çok daha az olduğunu ve bu nedenle de bunu göz önünde bulundurmamız gerekmediğini varsayabiliriz. Denge ilişkisi bize şunu söylemektedir: $sA = W$, ya da $s = W/A$, ya da $s = W/\pi r^2$. Burada s = birim alana etkiyen kuvvet = yük/alan; A = alan; W = bizim ağırlığımız. 100,000 psi'lik bir kırılma mukavemeti ve 200 lbs'lik (101,6 kg) bir yük (benim ağırlığım) için söz konusu ilişki bize şunu açıklayacaktır: Bizim örneğimiz için telin çapının 0,05 veya 1/16 inç'in (0,127 cm) biraz altında olması gerekir.

Gerçekten de gidip bu çapta bir telle kendimi havada sallandıracak mıydım? Tabii ki hayır. Her şeyden önce, teldeki herhangi bir kusur veya varsayımlarımdaki bir hata, benim düşmeme neden olacaktı. İkinci olarak, helikopterin sabit bir platform sayılıp sayılamayacağı ve bağlantıların teli nasıl zayıflatacağı konusunda düşünmem gerekecekti. Kesinlikle bir emniyet faktörü isteyecektim. Emniyet faktörünün ne kadar büyük olacağı üzerinde karar verilmesi gere-

ken birşeydi; çünkü bu, parama, hayatıma v.s. ne kadar değer verdiğime bağlı olacaktı. Bununla beraber, eğer bağlantıyı tasarlayabilseydim, hava koşullarına ve helikopterin pilotuna güvenseseydim ve imalatçı telin kırılma mukavemetinin 100,000 psi olduğu konusuna beni inandırabilseydi, çapı 1/8 inç olan bir tel ile kendimi havada sallandırmaktan bahsedebilirdim. Çünkü bu durumda dik kesit alanı yaklaşık dört kat daha büyük olacaktı.

Ayrıca, kuruntulu davranabilir ve risklerimiz hakkında daha fazla şey de öğrenebilirdik. Örneğin, telin ağırlığını göz önünde bulundururken konusunda haklı bulunabilir miydik? Gelin, telin uzunluğunu 1 inç olarak alalım (yandaki şekle bakınız). İlişkimiz şimdi şu hale bürünecektir:

$$s = (W + \pi r^2 \rho \ell) / A$$

(Burada ρ telin birim hacme düşen kütlesidir. Çelik için $\rho = 0.283 \text{ lbs/in}^3$). Varsayalım ki telimizin uzunluğu da 1/4 mil. Bu durumda çapın 0,052 inç olması gerekirdi. Çapta başlangıçtakinden daha fazla bir değişiklik olmadı. Muhtemelen, telin ağırlığını göz önünde bulunduramamakta tamamen haklıydık.

Eğer telin üzerinde asılı olmasaydım ($W = 0$), kendi ağırlığıyla kırılmadan önce telin ne kadar uzun olması gerekecekti? Bu farklı bir problemidir. Şayet diyagramın neye benzeyeceğini düşünebilirsiniz bunu anlarsınız. İlişki, yukarıda gördüğünüzle aynı olacaktı ama W 'nin sıfıra eşit olması dışında. Yani, basitçe şöyle olacaktı:

$$s = \rho \ell$$

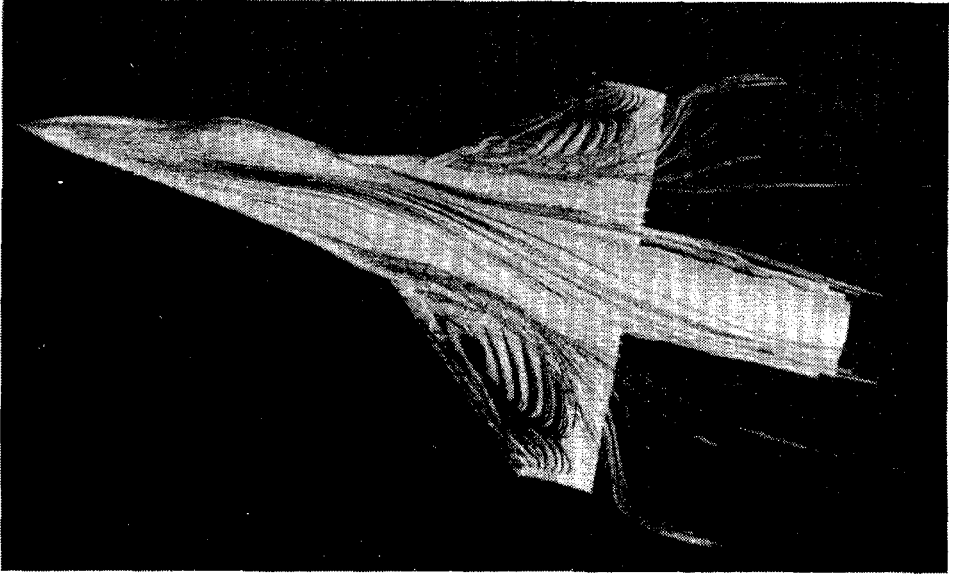
Yanıt yaklaşık 29,000 ft'tir (73,660 km).

Üzerlerine kuvvet etkiyen bütün elemanlar için geçerli olan basit ilişkimizin ($s = W/A$), bizim çeşitli hesaplamalar yapabilmemizi mümkün kıldığını gördük. Birim alana etkiyen kabul edilebilir kuvvetin ve yükün değerini bilirsek, elemanın dik kesitini hesaplayabiliriz. Birim alana etkiyen kabul edilebilir kuvvetin ve dik kesitin değerini bilirsek, bu sefer de kabul edilebilir yükü saptayabiliriz. Elbette

bunlar görüldüğü kadar basit değildir. Kuvvet konsantrasyonu olarak adlandırılan çentikler, delikler ve diğer kesilmeler gibi başka bozukluklar da söz konusu olabilir. Bunlar, birim alana etkiyen gerçek kuvvetin, dik kesit alanının yardımıyla tahmin edilen kuvvetten daha yüksek çıkmasına neden olurlar. Homojen olmayan malzemeler, mesela betonarme, kabul edilebilir farklı kuvvet düzeylerine sahip bileşenlerden oluşurlar.

Ama formülümüz kötü değildir ve ayrıca küçük elemanların sıkıştırma hataları için de kullanılabilir. (Büyük elemanlar, geometri-lerinin ve katılıklarının bir işlevi olan ve “eğilme” olarak adlandırılan bir değişkenlik yüzünden başarısızlığa uğrarlar). Bazı malzemeler, örneğin çelik, gerilimde ve sıkıştırmada, temel olarak, birim alana etkiyen aynı mukavemetsizlik kuvvetine sahiptir. Diğerleri ise, örneğin tahta ve beton, çok farklı değerlere sahiptir. Yapısal elemanlar ise bükülme, makaslama gerilmesi ve burulma gibi başka şekillerde bozulmalar gösterirler. Ne var ki, mantıksal ve fizik ilkeleriyle birleşen matematik, bütün bunları çözümleme kapasitesine sahip ilişkiler türetilmesini olanaklı kılar.

Matematik ve mühendislik arasındaki ortak zemini değerlendirirken son bir soru daha sorabiliriz: Elektronik dijital bilgisayarlar bu iki alan üzerinde ne tür etkilere sahiptir? “Halis” matematikçilerin çoğu, çalışmalarında bilgisayarları sadece çevresel olarak kullanırlar; çünkü ispatların ve kesin çözümlerin arayışındadırlar. Ama diğer matematikçiler, günümüzde bilgisayarlardan geniş biçimde yararlanıyorlar ve şunu iddia ediyorlar: Eğer bir bilgisayar algoritması, yeterince güçlü bir kanıt üretebilirse bu, bir ispat olarak kabul edilebilir. 1976’da Appel ve Haken, dört renk problemi olarak da adlandırılan bir problemi bilgisayar yardımıyla ispatladıklarını iddia ederek dikkat çekmişlerdi. Yüzlerce yıldan fazla bir süredir bir haritayı, düz bir yüzey veya bir küre üzerinde, ortak sınıra sahip iki ülkeden hiçbirini aynı renk olmayacak biçimde renklendirebilmek için sadece dört rengin yeterli olduğu varsayılmıştı. Bu konuda yapılan denemelerin çokluğuna rağmen hiçbir matematikçi bunu kanıtlamayı başaramamıştı. Appel ve Haken, olası bütün durumları incelemek için bilgisayardan yararlandılar. Bilgisayar programı ve son çıktı dergilerde yayımlandı;



Bilgisayarla üretilmiş olan ve tanecik yollarını gösteren aeronotik şekil.

ama ara aşamalar, kağıt üzerinde gösterilemeyecek denli çoktu. Peki bu yeterli bir ispat mıydı? Matematikçiler arasında görüş ayrılıkları bulunuyor. Bazı matematikçiler bunun kesinlikle “haklı” bir ispat olduğu görüşünde birleşiyor. Diğerleri ise bu çalışmanın yeterli bir ispat olarak değerlendiremeyeceğini belirtiyor.

Artık hesaplamaların çoğu bilgisayarla yapılıyor. Özellikle de mühendislik söz konusu olduğunda, yani bir yaklaşımın felsefi dayanaklılığı, yararlı bir yanıtta daha az önemli olduğu bir durumda, bu iş tamamıyla bilgisayarın üzerine kalıyor.

Eğer mühendislere, bilgisayarların matematik üzerinde ne tür bir etki yarattığını soracak olursanız, bunun yenilikçi bir etki olduğunu söyleceklerdir. Bilgisayar, sadece sıkıcı ve yorucu işleri kolaylaştırarak mühendisleri ağır bir yükün altından kurtarmakla kalmadı. Fizik yasalarının ve kuramın çok daha mükemmel kullanımlarını da olanaklı hale getirdi. Büyük bilgisayarların hızları, ilişkilerin çözümünde tekrarlanabilir olası yaklaşımları mümkün kılar ve gözlem-

lenmiş gerçeğin simülasyonlarının oluşturulmasını sağlar. Aynı zamanda bu simülasyonların, hem tahmin etme amacıyla hem de mevcut mekanizmalara ve bunların etkileşimlerine ilişkin daha iyi bir anlayış geliştirilmesi amacıyla çalıştırılmasına olanak tanır. Bilgisayar, problem çözmeye ilişkin grafik ve tamamen analitik yaklaşımlar arasında hızlı ve oldukça doğru etkileşimleri de mümkün kılmaktadır. Yukarıda gördüğünüz grafik, bilgisayarla üretilmiştir ve belirli uçuş özellikleri kümesi için uzay mekiğinin olası bir şekli üzerinde taneciklerin yollarını göstermektedir. Yollar, aerodinamik kuramı üzerinde oluşturuldu ve hesaplamalar da bir Cray 2 bilgisayarında yapıldı. Bu tür yaklaşımlar, uçuş tüneline bir model test etmekten çok daha ucuza maloluyor ve deneyde elde edilemeyecek kesinlikte sonuçlar alınmasını mümkün kılıyor. Ama bilgisayar, insana bağımlı kalmayı sürdürüyor. Program ve giriş malzemesiyle beslenmesi gerekiyor ve sonuçlar da sadece bunların bir fonksiyonu oluyor. Hesaplamayı bilgisayar yapıyor; ama temel kavramlar kişide saklı kalıyor. Karmaşık geometriler, birkaç denklemin eş zamanlı olarak çözülmesini gerektirir. Örneğin, büyük yapısal çözümleme bilgisayar programları, 50,000 bağımsızlık derecesi veya denklemle başa çıkabilir. Problemi çözmesi için bilgisayara yeterli verinin verilmesi amacıyla birçok varsayıma ihtiyaç duyulur. Programlar, bu bölümde tartıştığımız basit doğrusal ilişki biçimleri üzerinde oluşturulur. Bununla beraber, yapının bütün parçaları doğrusal bir biçimde hareket etmeyebilir. Doğrusal olmama hallerinin üstesinden gelmek mümkündür; ama daha sonra bunların nerelerde gerçekleştiğinin tahmin edilmesi ve programa doğru ilişkilerin yüklenmesi gerekmektedir. Yeterli veri sağlandığında bilgisayar, bütün bu denklemleri çözecek ve yüklere, kuvvetlere veya düğümlere karşılık gelen diğer yanıtlara ilişkin bir bilgi haritası çıkaracaktır. Ama bu, sadece programın bağımlı olduğu ve varsayımların programa aktardığı modeller kadar iyi olabilir.

Bilgisayarın kompleks çözümlemelerin üstesinden gelebilme yetisi, karmaşık sistemlerin tasarımında ilginç bir etkiye sahip olmuştur. Örneğin, Jet İtke Laboratuvarında, uzay gemileri özgün biçimde tasarlanıyorlar, ve roketli taşıtların yaklaşık hareketlerini yansıtan

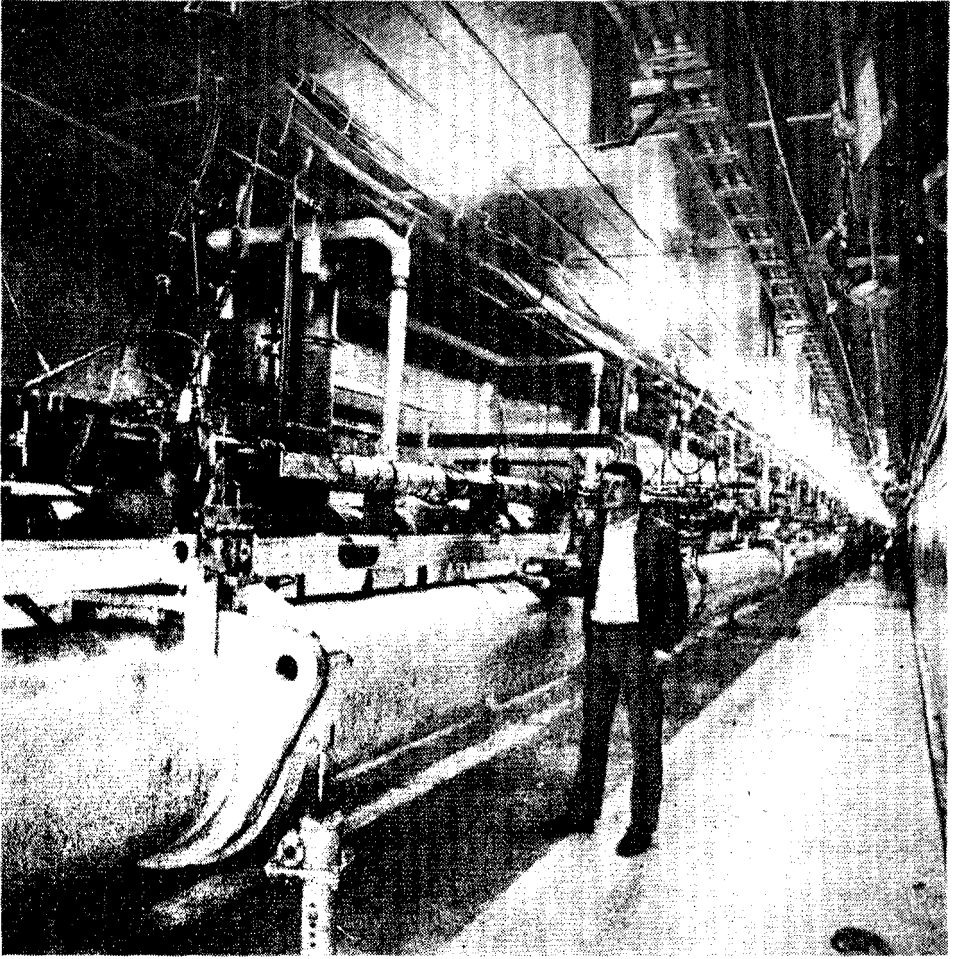
idealleştirilmiş bir girdi aracılığıyla geliştiriliyorlardı. İlk yapısal analiz programları, çok daha az bağımsızlık dereceleri kullanıyordu (1,000 civarında). Bu nedenle de, programa yüklenecek girdinin birleştirilmesi çok daha basitti ve hesaplamalar daha basit bilgisayarlarla yapılabilirdi. Bugünse bir uzay gemisinin ve bir birim olarak roket destekli taşıtın analizi bile mümkündür. Problem daha fazla karmaşıktır ve buna bağlı olarak analizin maliyeti de daha yüksektir. Ayrıca analiz, çok daha fazla sayıda parçanın etkileşimini değerlendirmektedir. Sonucun çok daha kesin bir çözümleme olduğu tartışma götürmez. Ama bazı mühendisler, geliştirme sırasında alt sistemlerde değişiklikler yapılmasının artık çok güçleştiğini iddia etmektedirler. Bunun nedeni ise, çok pahalı bir yöntemin tekrar tekrar yapılıyor olması ve sayıları giderek artan diğer alt sistemlerin değiştirilme zorunluluğudur. Dolayısıyla, analitik uzmanlaşma ve özel bir sistem tasarımının optimizasyonu, kuşkuyla yer vermeyecek biçimde artmaktadır. Ayrıca, tasarım değişikliklerindeki esneklik de buna bağlı olarak azalmaktadır. Yani, sistemler giderek daha da optimum olurken, birey olarak mühendisin daha dikkatli olması gerekmektedir.

132. sayfadaki probleme öğrencilerden birinin verdiği yanıt:

Bir tuvalet rezervuarı yaklaşık, beş galon (18,925 lt) su içerir. Büyük bir olasılıkla, insanlar ortalama olarak günde beş sefer sifonu kullanırlar. Ve ülkede 250,000,000 kişi yaşadığı için bu işe bir günde harcanan su miktarı $5 \times 5 \times 250,000,000$ olacaktır. Yani, tuvalet temizliği için bir günde 6 1/4 milyar galon su (23,656 milyar lt) harcanmaktadır. Kısacası, bu oldukça önemli bir sorundur.

Bilim, araştırma ve mühendislik, bölünmez bir bütünün (ya da bir süremin) parçalarıdır. Bilim aracılığıyla elde edilen anlayış, genellikle teknolojik gelişmeye temel oluşturur. Ama modern bilim, henüz teknoloji olmaksızın hareket edebileceği bir noktaya ulaşamamıştır. Daha iyi anlayışlara ulaşılmasına yönelik dikkatli ve gayretli bir kovalamaca olan araştırma ise hem bilimin hem de mühendisliğin mihenk taşıdır. Dolayısıyla araştırmanın, davranışla ilgili bütün alanlar için vazgeçilemez olduğunu söylemek bile gereksiz. Mühendislik araştırması ve bilimsel araştırma, sık sık kesişir. Gerçekten de, bize tanıdık gelen “Araştırma ve Geliştirme” başlığı bilimden ürün geliştirmeye kadar hemen herşeyi kapsamaktadır.

Bilim ve mühendislik arasındaki çizgi, matematik ve mühendislik arasındaki çizgiden daha incedir. Bilim ve mühendislik arasındaki ilişkiyi tartışmak belki daha kolay olacak. Ne de olsa bilim, matematik gibi olumsuz duygular çağrıştırmıyor. “Matematik fobisi” hakkında çok şey söylenmiştir. Oysa “bilim fobisi”nden bahsedildiğini duymamış bile olabilirsiniz. Gelgelelim, insanların çoğunun, bilimin doğasını veya bilimle teknoloji arasındaki ilişkiyi anlayıp anlamadığı



Gelişkin bir teknolojiye bağlı, güçlü bir bilimsel alet olan Stanford Doğrusal Hızlandırıcısının ana hüzmeye tübü. Bu alet, 100 milyar elektron volt içeren çarpışmalar sağlamak için 50 milyar voltluk bir enerjiyle elektronları ve pozitronları eş zamanlı olarak hızlandırma kapasitesine sahip (Oysa bir elfeneri, elektronları, birkaç elektron-voltla hızlandırır). 1966 yılında kurulduklarında 114,000,000 dolara malolan hızlandırıcı ve ilgili laboratuvarlar, günün şartlarına göre birçok kereler yenilenip değiştirildiler ve fizik alanında Nobel Ödülü kazandıran iki buluşa katkıda bulundular.

açık değil. Çoğu kişi, iki terimi birbirine bulaştırmaktan hoşnut görünüyor. Ya da, “teknoloji bilimin uygulamasıdır” gibi sözler söylerek, teknoloji ile bilim arasındaki ilişkiyi bulanıklaştırmaktan zevk alıyor. Bu hatalı anlayışlar, benim gibi insanları sinirlendiriyor. Biz mühendisler, bilimin parlak birşey üretmesini bekleyip, bunu uygulamaya geçiren kişiler olarak düşünölmek istemiyoruz. Bilim ve mühendislik, bir bütünün parçaları olarak görölselerdi iyi olurdu. Yazık ki, bilim ve mühendislik, eğitim kurumlarında, sanayide, fon ve öncelik konularında karar veren hükümet yetkililerinin beyinlerinde ve halkın çoğunluğunun düşüncesinde birbirinden ayrılmıştır. Bundan ötürü, ikisi arasındaki etkileşimin ayrıntılı biçimde değeriendirilmesi gerekir.

Bilim ve mühendislik arasındaki ilişki, ürüne göre değışiklik gösterir. Birçok teknolojik aktivitede bilimin ya önemsiz bir payı vardır ya da hiç yoktur (Ev inşasında veya çivi, zımba teli, cant kapağı üretiminde olduğı gibi). Oysa, plastik üretiminde veya bir su arıtma tesisinin tasarımında bilim, fazlasıyla işin içindedir. Bilim, genetik mühendisliğı gibi alanlarda teknolojiye öncölük eder; ama yine de, ikisi arasındaki etkileşim, nazik ve karmaşıktır. Bilim ve mühendislik arasındaki ilişki, günümüz teknolojisinin doğası hakkında bize epey şey söyleyecektir.

Öncelikle belirtmek gerekir ki insanlar, birçok farklı şeyi tanımak için “bilim” kelimesine başvurduğı için bazı karışıklıklar ortaya çıkıyor. Her şeyden önce bilimsel bilgi bulunuyor. Bu bilgi, bilimsel yasaların, kuramların ve hipotezlerin şekline bürünüyor.

Bilimsel bir yasa, doğruluğı deneyle kanıtlanabilen ve tahmin yürötmeyi olanaklı kılan bir ilişkidir. Newton’un hareket yasaları, bilimsel yasalara iyi bir örnektir. Yaşadığımız ortamda (ışık hızından daha düşük hızlar ve maddenin özünden büyük ve galaksilerden küçük nesneler anlaşılacak biçimde) Newton’un yasaları, fiziksel hareketi ve fiziksel hareketle güçler arasındaki ilişkiyi tahmin etmektedir. Yasalar kusursuz değildir; diğeri bir deyişle, yasaların geçerli olabilmeleri için gerçekliğe ilişkin basitleştirici varsayımlar üretmemiz gerekir. Her ne kadar böyle olsa da, mühendisler tarafından oldukça başarılı biçimde kullanılacak kadar güvenilirlerdir.

Bilimsel kuramlar biraz narindir. Yasalara benzer biçimde kuramlar da, yapılan gözlemlerden anlam çıkarma çabaları sırasında geliştirilirler. Ancak çeşitli nedenler yüzünden, deneyle doğrulama, oldukça güç ve hatta imkansızdır. Bu nedenle kuramlar, fiziksel yasalarla aynı konuma sahip değildirler. Örneğin Robert Boyle (1627-1691), belirli bir sıcaklıkta herhangi bir gazdaki basıncın, yoğunluğuyla doğru orantılı ama hacmiyle ters orantılı olduğunu bulmuştur.⁽⁴⁾ Daha sonra, J.A.C. Charles (1746-1823), tamamlayıcı ilişkiyi geliştirmiştir. Bu ilişkiye göre, belirli bir hacimde sıcaklık artarken basınç da artmaktadır. Bugün, bu yasaları Boyle ve Charles yasaları olarak biliyoruz. Bu yasalar, deneyle kesin bir biçimde kanıtlanabilirler. Bir kazanın niçin patladığını veya bir motordan nasıl daha fazla güç elde edilebileceğini öğrenmeye çalışan bir mühendis için bu yasalar kesinlikle çok yararlıdır. Peki ama bu yasalar, doğruluklarını neye borçludurlar?

1738'de, Daniel Bernoulli şu gerçeğin farkına varmıştı: Eğer bir gaz, hareket halindeki moleküllerden oluşuyorsa, moleküller, içinde bulundukları kazanın duvarlarına çarparak basınç oluşmasına neden olurlar. James Joule (1818-1889) ve R.J.E. Clausius (1822-1888) tarafından geliştirilmiş olan 'gazların kinetik kuramı', Boyle ve Charles yasalarını inandırıcı biçimde açıklamaktadır: Yoğunluk arttığında, belirli bir alana daha fazla sayıda molekül çarpar; ve daha yüksek sıcaklıkta moleküllerin her biri, alana daha güçlü çarpacaktır. Bu kuram, geliştirildiği yıllarda, temel bir düşünce yapısı oluşturmuştu; çünkü molekülleri hesaplama veya hareketlerini ölçme yolları henüz bilinmiyordu. Bugün ise, o kadar çok bilimsel kuramla uyum içinde ki bu nedenle onu, nerdeyse "gerçek" olarak kabul ediyoruz. Yine de hâlâ bir kuram, yeni bir kuram tarafından değiştirilecek olursa fazla şaşırmayacağız. Sıcaklık arttırıldığında gazın sabit hacmine ait basıncın azalacağını açıklayan yeni bir kuramın geliştirilmesi de mümkün sonuçta. Gerçek olduğunu bildiğimiz veya buna fazlasıyla inandığımız ama deneyle kanıtlanamamış ve kanıtlanamayacak diğer şeyler düşünüldüğünde, kuramlar akla yatkın görünüyorlar. Bu kuramlar, verileri ayrıntılı olarak bilen birçok bilim adamınca destekleniyor. Kozmoloji, jeoloji, astronomi ve evrimci bi-

yoloji gibi bazı bilim alanları, sadece kuramlar üzerinde temelleniyor, çünkü bu alanlarda deney yapılması, tamamiyle imkansız. Hipotezler, henüz kuram konumuna erişemediler. Hâlâ tahminler ve fikirler olarak kabul ediliyorlar. Henüz ne uzun dönemli gözlemler ne de deneyler kapsamında yapılan titiz analizlere konu oldular. Bilim üzerine yazılmış ders kitaplarında, kuramlar başrolü üstlenirken, hipotezler nadiren sahneye buyur ediliyor.

Bazı kuramlar ve hipotezler, kanıtlanmamış olmalarına rağmen mühendislere büyük faydalar sağlarlar. Örneğin madde bilimi, maddelerin özelliklerinin geniş ve faydalı bir alanda değiştirilmesini olanaklı kılan birçok kuram içerir. Evrenin oluşumunu açıklayan büyük patlama (bing bang) kuramı veya Darwin'in doğal seleksiyona bağlı evrim kuramı gibi diğer önemli bilimsel kuramlar, bilim adamları gibi mühendisleri de cezbeder. Ama gündelik işlerinde mühendislere çok fazla faydaları dokunmaz.

"Bilim" sözcüğü, ayrıca, bilimsel süreci veya bilimde kullanılan problem çözme yaklaşımını tanımlamak için de kullanılır. Sözü geçen bu sürecin doğası, düşünürler arasında ciddi bir tartışma konusudur; aynen, bilimsel bilginin doğasının tartışma konusu olması gibi. Ama durum, kesinlikle şöyledir: Bilim adamları özel bir biçimde düşünme eğilimindedirler. Yapılan diğer tanımların yanı sıra bilim, bir uzlaşma arayışı olarak bilinir. Bu nedenle bilim adamları, ölçüm yapmaktan ve niceliğe bağlı olarak çalışmaktan zevk alırlar. Nedeni ise açık. Nitel bilginin tersine, nicel bilgiyle karşılaştırma ve kıyaslama yapılması daha kolaydır. Bilim adamları, nesnelerin doğası hakkında fikir üretirler; ve buna bağlı olarak, hem kendi düşüncelerini doğrulamaya hem de diğer bilim adamlarının iddialarını çürütmeye çalışırlar. Matematik diline de sıkı sıkıya bağlıdırlar. Bilimsel verilerin kullanılmasında ise kesin bir etik anlayışları vardır. Örneğin, veriyi kimse yanılsamaz. Bilimsel sürecin büyük bir kısmı, mühendislerin sorun çözme biçimine benzer. Bu, hiç de şaşırtıcı değil; çünkü mühendislik eğitimi, bilime ayrıcalıklı bir önem vermektedir. Söz ettiğimiz bu bilgi ve süreç kapsamındaki örtüşmeden ötürü, bilim ve mühendisliği ilişkilendirmeye yönelik basit çabalar, kuşkuya yer vermeksizin başlarına çeşitli sorunlar çıkarırlar. Gelin, tarihten bi-

raz daha bahsedelim ve bilimle mühendislik arasındaki ilişkiyi, çağlar boyunca yeniden gözden geçirelim.

Tarih boyunca insanlar, büyük bir olasılıkla, dünyalarını sürekli gözlemiş, ona bir anlam vermeye çalışmışlardır. Ancak amaçları, hemen her zaman pragmatik olmuştur. Av alanlarını değiştirmek, ürün yetiştirmek, çocuklarının görgü kurallarına göre davranmasını sağlamak istemişlerdir. Doğal dünyayı açıklayış biçimleri de, yakın geçmişe kadar, doğa-üstü inançlara bağlı olmuştur. Batı'da modern bilime benzerlik gösteren bir tarzda dünyayı açıklamaya çalışan ilk kişiler, bildiğimiz kadarıyla, Yunanlı düşünürlerdir.

Ancak onlar, öncelikle doğal dünyayı anlamaya çalışmanın düşünsel boyutlarıyla ilgilenen düşünürlerdir. Aralarında en çok etki sahibi olanı ise Platon'dur. Platon, fiziksel dünyada her zaman görülemeyen bir kuramsal mükemmellik düzeyinin varlığına inanıyordu. Düşünüş biçimi, doğa felsefesini uzun bir süre etkisi altına aldı. Bazı açılardan etkisini hâlâ korumaktadır: Örneğin, bilim adamlarının güzelliğe ve sadeliğe duydukları inanç açısından. İlk Yunanlı düşünürler, her nasılsa, hipotezler konusunda kuşkucu davranıyorlardı. Mantığa ise aşıktılar. Doğaya ilişkin bilginin, evrensel kabul edilen "gerçekler" aracılığıyla mantıksal biçimde belirlenebileceğini düşünüyorlardı. Doğa felsefesine yönelik bu yaklaşımın, en güçlü sözcüsü Aristoteles'tir. Öyle ki, düşünceleri, iki bin yıl boyunca geçerliliğini korumuştur. Yunanlı düşünürler, tümdengelim anlayışından çok fazla etkilenmişlerdi. Neden mi? Sözelimi, önermeler doğruysa ("Bütün insanlar ölümlüdür.", "Sokrates, bir insandır."), yanıt doğru olacaktı ("Öyleyse Sokrates, ölümlüdür."). Yunanlı düşünürlere göre gerçek doğa yasaları, buna benzer biçimde tartışma götürmeyen önermelerden hareketle çıkarılabilir. Kısacası Yunanlı düşünürler, bilim adamları için ulaşılamaz bir ideali göklere çıkarmışlardır.

Tümdengelimle duyulan bu güven, çağlar boyunca, birçok insan tarafından onaylanmıştır. O günlerden bugünlere değin önemini koruyan bir anlayış ise şu olmuştur: Bilim, karşı çıkılamayan gerçeklere kusursuz bir mantık uygulayarak sonsuz hakikatleri oluşturan bir eylemdir. Yetiştirdiğim en iyi öğrencilerden bazıları, bilimin "hakikatlerinin" sabit biçimde geliştirildiğini ve bu yolla mutlak kılındığını

anladıklarında, şaşkına döndüler. Bu durum hiç de şaşırtıcı değil çünkü bilim, uzun yıllar boyunca, toplumumuz için imanın şartlarından biri gibi oldu. Bilim adamları ise, hayatın genetik programının deşifre edilmesi, evrenin özünün ve yapısının açıklanması, madde ve enerjinin temel parçacıklarının keşfedilmesi yönündeki çalışmalarıyla, itibar gördüler. Öğretmenler, öğrencilerinin tümdengelim yöntemiyle “temellerden” ilişkiler çıkarsamalarından hoşlanırlar. Onlara göre bu çıkarım, yapı taşlarının hepsinin bilindiğini kanıtlar. Yazık ki, gerçekte işler böyle yürümez. Bir önermeden, istenilen sonuca yönelik kusursuz bir mantıksal iddiayı nasıl oluşturacağımızı, her zaman bilemeyiz. Daha da kötüsü, çoğu zaman bütün önermelerin ne oldukları konusunda da bir fikrimiz yoktur. Hatta, bunları öğrenmeye bile çalışmayız.

Yunanlılar, tümdengelimle bir sonuca ulaşamadıkları zaman, tümevarımı kullanırlardı. Tümevarım, herhangi bir anlayışa ulaşmanın akla uygun bir diğer biçimiydi. Buna karşın tümevarım, aslında argümanın daha zayıf bir biçimidir. Diğer bir deyişle, tümevarıma göre, bir önermenin doğruluğunun kabul edilmesi mantık dışı değildir (“Bugüne kadar gördüğüm bütün kargalar, siyahtı.”). Fakat, sonucun doğruluğunun (“Bütün kargalar siyahtır.”), yadsınması da mümkündür. Sonucun gücü, önermelerin güçlü oluşuna bağlıdır (Seçilen örneklemin çokluğuna, gözlemin dikkatli yapılıp yapılmamasına, v.b.). Ama asla tamamıyla çürütülemeyecek sonuçlar elde edilmez. Burada bile, bilim tarihi alanında sorunlarla içiçeyiz. Temel “doğru” önermelerin yanlışlığı kanıtlandı: “Yeryüzü, Güneş sisteminin merkezidir.” “Dört temel öge, toprak, hava, ateş ve sudur.” Ayrıca, daha önce de belirttiğimiz gibi, henüz yeterli düzeyde önermeye de sahip değiliz. Bilim, tutarsızlıkları veya tahminleri açıklamaya yönelik çabalardan çıkarılan hipotezlere gereksinim duyar. Tümevarımın bilim açısından işe yarayabilmesi için, düşünsel bir argümana ihtiyaç duyulur. Bunun yanı sıra, deneysel veya gözleme ilişkin doğrulama da gerekmektedir. Ama ne tümdengelim ne de tümevarım yeterlidir. Bu yüzden, bilim adamlarının varsayımla, belirsizlikle, olasılıkla, gözlemlerle ve deneylerle etkin biçimde ilgilenmeleri zorunludur.

Bilime yönelik Aristotelesçi yaklaşım, Francis Bacon'a (1561-1626) değin sorgulanmamıştır. Bacon, ilk gerçek bilim düşünürlerinden biridir. Aristoteles gibi Bacon da, bilimin ilerleyebilmesi için, doğruluğu kabul edilmiş gözlemlerden ilişkiler türetilmesinde mantığın kullanılması gerektiğine inanmıştır. Ancak Bacon, bilimsel sonuçların doğruluklarının sınanmasında deneyin önemli olduğuna dikkat çekmiştir. Bacon, Bilimsel Devrim olarak adlandırılan bir çağın başlarında yaşamıştı. Bu dönemde nicel ve mekanik evren anlayışı, Aristoteles'in mükemmel olarak yasalaştırılan evreni ve Platon'un mistik kavramlarıyla yer değiştiriyordu. Ama Bacon, çağın başlarında yaşadığı için Galileo, Boyle, Newton ve diğerlerinin kavramsal yetenekleriyle ortaya çıkan anlayışın gelişimine tanık olamadı. Buna karşın, bilimsel incelemenin yönsemelerini kesin olarak biliyordu.

Bilimsel Devrim boyunca bilim, ilk kez teknolojiyle yakınlaşmaya başlamıştı. Newton ve Boyle gibi kişilerin ürettiği bilgiler, teknolojide kullanıldı. Buna bağlı olarak, bilim adamları ve teknolojiyle ilgilenen kişilerin kullandığı süreçler, yakınlaşmaya başladı. Bilim adamları ellerini toza buladı ve ilk mühendisler, fenomenleri anlamaya çalışma konusunda yönetime daha çok bağlı kalmaya başladılar. Bilim adamları da mühendisler de, kavramsallaştırmaya, mantıksal argümana ve deneye sıkı sıkıya bağlandılar. Örneğin, 4. Bölümde kısaca bahsettiğimiz gibi, buhar makinesinin geliştirilmesinde, Savery'nin bulduğu pompa ve Newcomen'in tasarladığı makine, Torricelli, von Guericke ve Huygens gibi kişilerin daha önceden boşluk ve hava pompaları üzerine yaptıkları çalışmalara çok şey borçluydu. Kuşkusuz bu kişiler, bilim adamı olarak bilinirler. Öte yandan, çalışmaları, insanları hayrete düşüren teknolojik olguları açıklama amacını güdüyordu (Örneğin, "vakum" pompalarının, suyu 32 fit yukarı çıkarmadaki başarısızlığını açıklamaya çalışmışlardı). Newcomen, demir tüccarı, ortağı Calley ise bir boru tesisatçısıydı. Bu nedenle, yaptıkları makine, ilk bilimin ve mekanik yaratıcılığın bir karışımı olmuştur.

James Watt, Newcomen'in makinesine çok fazla miktarda enerji kaybı olduğunu fark etti. Buharı yoğunlaştırması için silindire götü-

rülen su, aynı zamanda, silindiri soğutuyordu. Daha sonra buharın silindiri yeniden ısıtması gerekiyordu. Watt, bilimsel bir yöntemle bu sorunun üstesinden gelmeyi başardı. Çeşitli olasılıkları sınayarak, farklı bir yoğunlaştırıcı kullanmaya karar verdi. Geliştirdiği kavramla ilgili yaptığı deneyler, yıllarca sürdü. Fikrini yeterince geliştirdiğine karar verince de uygulamaya geçti. Newcomen, makinesini altı yıl süren bir çalışmadan sonra yapmıştı (1709-1715). Oysa Watt, dış yoğunlaştırmayla çalışan makinesini yapmak için, onyediyıl boyunca uğraştı (1767-1784). Watt, bu süre boyunca, makinenin iki taraflı çalışmasını mümkün kıldı (buharın pistonu hem alttan hem üstten baskı yapması) ve genleşerek işleme anlayışını geliştirdi (pistonun ilk çarpışında, buharın silindire girmesinin önlenmesi). Watt'ın geliştirdiği bu anlayışlar, makinenin verimini artırmıştı. Watt, "bilimsel yöntemi" Newcomen'dan daha iyi kullanmıştı. Belki de, buhar makinesinin geliştirilmesinde Watt'a daha fazla önem verilmesinin nedeni, kendi çağdaşlarıyla kıyaslandığında Watt'ın düşüncü biçiminin, modern mühendislerle daha yakın olmasıdır. Buhar makinesinde atılan bir sonraki adım ise, yüksek basıncın kullanılmasıdır. Yüksek basınçlı ilk buhar makinesi, 1798 yılında Richard Trevithick tarafından yapılmıştı. Trevithick, bir yıl sonra, başarılı bir buharlı lokomotif yapmıştı. Buna karşın, belli ölçüde, eski makinecilik yaklaşımlarına yönelmişti. Trevithick, yeni bir makine icat etmişti; ama fiziksel olguları ayrıntılı biçimde anlamaya çalışmamıştı.

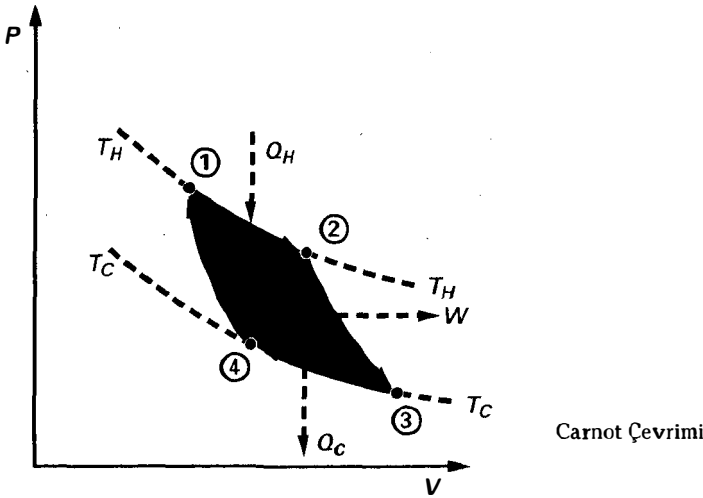
Termodinamiğin babası ve gerçek bir bilim adamı olan Sadi Carnot da, yüksek basınçlı buhar makinesi üzerine çalışmaktaydı. Sonuçta, bu makinenin işleyiş biçimini ayrıntısıyla kavradı. Sonuçta da Carnot çevrimini buldu. (arka sayfadaki şekle bakınız) Carnot çevrimi, hallerin kuramsal değişimidir ve bir ısı makinesindeki verimliliğin sınırını tanımlar. Carnot, termodinamik verimlilik kavramını formüle etmiştir. Şeklin dikey eksenini, bir gazdaki basıncı gösteriyor. Amacımız doğrultusunda, bu gazın bir silindir içinde bulunduğunu varsayıyoruz. Yatay eksen ise, silindirin hacmini gösterir. Carnot çevrimi, bir idealleştirmedir. Çevrimin ilk aşamasında (1. ve 2. çizgi boyunca) gaz, bir ısı kaynağı ile temas geçirilir. Gaz, genleşirken ısı kaynağı sabit bir sıcaklıkta tutulur. Gaz, ısıyı emer ve pistonu iter.

Çevrimin bir sonraki aşamasında (2. ve 3. çizgi boyunca), silindir yalıtılır ve gaz genleşmeye devam eder; dışarıdan ısı almaksızın veya içeriden ısı kaybetmeksizin işlevini yerine getirir. Üçüncü aşamada (3. ve 4. çizgi boyunca), gaz soğuk bir depo ile temasa geçirilir. Sabit sıcaklıkta tutulan bu soğuk depoyla temasa geçen gaz, büzülmeğe başlar. Gazın ısı kaybederek büzülmesi sonucu, piston ilk baştaki konumuna doğru ilerler. Son aşamada (4. ve 1. çizgi boyunca) silindir yeniden yalıtılır ve piston, ısı almaksızın veya kaybetmeksizin aşağıya doğru hareket ederek çevrimini tamamlar. Bu çizgiler arasında kalan alan (şekilde koyu renkli olarak gösterilen alan), çevrim boyunca pistonca yapılan net işi göstermektedir.

Bu çevrim, gerçek makinelerle yerine getirilemeyen süreçlere gereksinim duyar. Isı kaynakları ve depolar, sabit sıcaklıkta tutulamazlar ve kusursuz bir yalıtım her zaman başarılabilir. Ayrıca, sürtünme süresince enerji kaybı söz konusudur. Buna karşın Carnot çevrimi, ısı makinelerinin doğasını kapsamlı biçimde anlamamızı sağlar. Carnot çevrimi, verimlilikle ilgili mümkün olabilecek en iyi modeldir ve bir ideali temsil etmektedir. Mühendislerce hem bir hedef olarak kullanılır hem de gerçek makinelerin en uygun şekle getirilmesinde karşılaştırmalar yapılması amacıyla yararlanılır. Carnot çevrimi bize ısı makineleri hakkında, bilmemiz gereken basit gerçekleri açıklar. Carnot çevriminin verimliliği, yapılan işin, gerekli ısıya bölünmesiyle bulunur. Bu, termodinamiğin ilk yasasından ve gazların hallerini tanımlayan bazı basit ilişkilerden de türetilir. Sonuç ise şöyledir:

$$W/Q = 1 - T_c/T_h$$

W, her bir çevrimde yapılan iştir; Q, gaza verilen net sıcaklıktır; T_c soğuk su deposunun mutlak sıcaklığıdır; T_h ısı kaynağının mutlak sıcaklığıdır. Modern bir merkezi elektrik santralini ele alacak olursak, en yüksek sıcaklığın, makine tarafından 800 Fahrenheit civarında sınırlandırıldığını görürüz. Bu sıcaklık, Kelvin ölçeğinde 1,260 dereceye eşittir. Kelvin ölçeği, bir mutlak sıcaklık ölçeğidir. (Bu ölçekte sıfır derece, mutlak sıfırı gösterir ve bütün moleküler hareketlerin durduğu varsayılan kuramsal sıcaklıktır).



Bu tür santraller genellikle, soğuk su deposu olarak, bir okyanusu veya bir nehri kullanırlar. T_C , yaklaşık olarak 70° Fahrenheit veya 530° C'dir. Bu demektir ki, bir ısı çevriminden elde edilebilecek en yüksek verim olan Carnot verimi, % 60 olacaktır. Yani, böyle bir santral, kullandığı yakıttaki enerjinin en az % 40'ını okyanusa veya nehre akıtacaktır. Aslında, bu tür santrallerin verimi, % 40'ı aşmaz. Teknik konulardan anlamayan kişiler şu soruyu sıkça sorarlar: Isıyı elektriğe dönüştürmek yerine neden okyanusa atıyorlar? Termodinamik, bu soruyu, buna mecbur olunduğu şeklinde yanıtlar. Soğuk su deposu bulunmaksızın bir ısı makinesinin çalıştırılması olanaksızdır. Elektrik santralleri, büyük miktarlarda ısıyı bir soğuk su deposuna aktarmak zorunda oldukları için de okyanusların ve nehirlerin yanında kurulurlar.

Termodinamik bilimi, buhar makinesinden yüz yıl sonra bulunmuştur. Termodinamiğin ortaya koyduğu anlayış sayesinde mühendisler, buhar gücünü modern elektrik santrallerinde veya gemilerin itki sistemlerinde görülen ölçülere ve verimlilik düzeylerine ulaştırmışlardır. Elektrik santrallerini geliştiren modern mühendisler, bilimsel bilgiyi almış ve bu bilgiyi genişletebilmek için bilimsel yöntemlerden faydalanmışlardır. Fakat bu arada, bilim adamları da boş

durmamış ve tekil taneciklerin hareketleri gibi temel konularda oldukça uzmanlaşmışlardır. Mühendisler, makroskobik (iri-ölçekli) yaklaşımlara başvurarak mikroskobik (mini-ölçekli) davranışları incelemekten kaçınırlar. Örneğin, belirli bir kütleyle (“kara kutu” olarak bilinir) ‘giren-çıkanları’ ele alarak makul yanıtlar elde ederler. Buna karşın, kütlelerin içinde ne olup bittiğini anlamaya çalışmazlar. Öte yandan, bir fizikçi ise, içerde neler olup bittiğini bilmek isteyecektir.

Bilim adamları ve mühendislerin yaklaşımları arasındaki farklılık, “büyüleyici” entropi kavramında açıkça görülebilir. Entropi, düzensizliğin ölçümüdür. Herhangi bir sistemin entropisi, bir sayıyla saptanabilir. Sayı büyüdükçe, yapılan iş için harcanan enerji azalacaktır. İdeal bir süreçte, yani sürtünmeye, dengesiz ısı transferine veya benzeri şeylere bağlı olarak hiçbir enerji kaybının olmadığı durumlarda, çok az miktarda ısıнын eklenmesiyle birlikte bu sayının nicel değişimi, dQ/T 'dir. dQ , eklenen ısıнын miktarını gösterir. T ise, bu sıradaki mutlak sıcaklıktır. 167. sayfadaki şekilde, 2. ve 3. çizgiler ile 4. ve 1. çizgiler, izoentropik (sabit-entropi) süreçlerdir. 1. ve 2. çizgilerle tanımlanan süreçte entropideki artış, 3. ve 4. çizgilerle tanımlanan süreçteki entropinin azalmasına eşittir. Öyle ki çevrim, başladığı noktadaki entropi değerine geri döner. Bu, entropinin artmadığı, kusursuz, kayıpsız ve ideal bir çevrimin başka bir tanımlanma biçimidir. Gerçek bir sistemde ise sürtünmeden, dengesiz ısı transferinden ve diğer kayıplardan ötürü entropi artar. Eğer elimde, yalıtılmış gerçek bir sistem bulunuyorsa ve bu sistem, bir sıcak su deposu, bir soğuk su deposu ve gerekli işlevi yerine getirecek bir ısı makinesi içeriyorsa; sonuçta her iki su deposu da aynı sıcaklığa ulaşacaktır ve makine çalışmayı kesecektir. Böylece, sistemin entropisinin artmasından ötürü, çalışma için gerekli olan enerji elde edilemeyecektir.

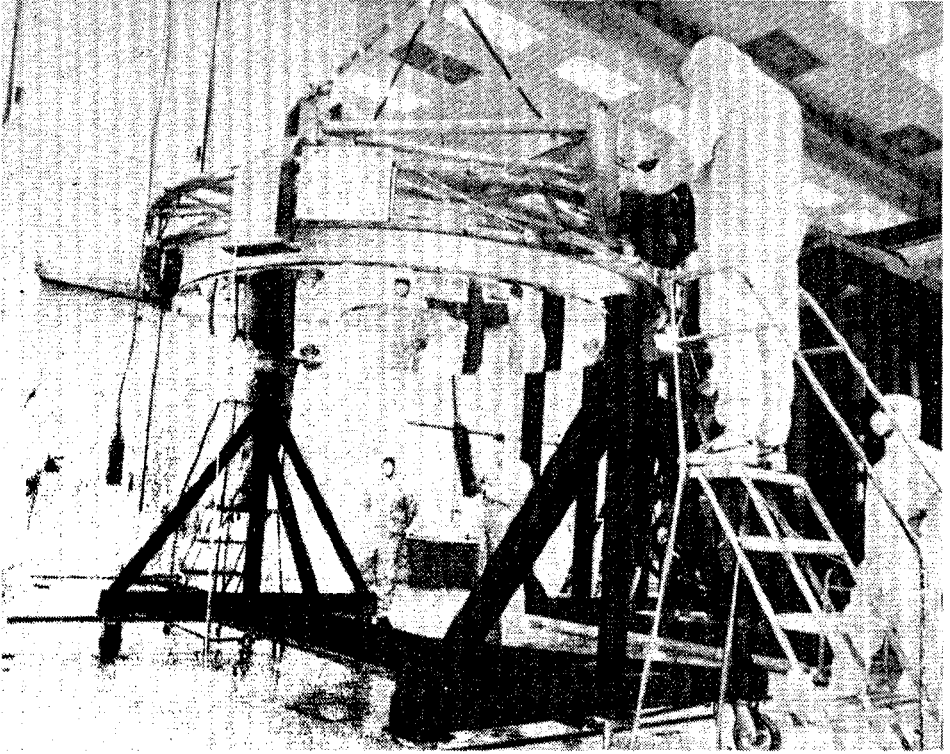
Termodinamiğin ikinci yasası, yalıtılmış bir sistemde entropi değişiminin, daima sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olması gerektiğini belirtir (Gerçek bir sistem için entropi değişiminin, sıfırdan büyük olması zorunludur). Bu yasa, bize daimi hareket gibi şeylerin imkansızlığını açıklar. Sözelimi, ayakkabımı yere düşürdüğümde, termo-

dinamiğin birinci yasası, ayakkabıdaki kinetik enerjinin emilmesine bağlı olarak ayakkabının ve yerin ne kadar ısınacağını açıklar. Bununla beraber, sıcaklıklar çarpışma öncesi hallerine dönerken, ayakkabının, soğuduktan sonra, niye havaya sıçramadığı konusunda birşey söylemez. İşte bu konudaki gerekli açıklamaları, ikinci yasa yapar. Termodinamiğin ikinci yasası, elektrik santralının, ısıyı neden okyanusa veya nehre aktarması gerektiğini de açıklar. İkinci yasa ve entropi kavramı, ısı makinelerinin tasarımında ve geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bu tür uygulamalarda sık sık kullanılan akışkanların farklı hallerini tanımlamak için entropi değer tabloları hazırlanmıştır.

Fizikçiler, entropiyi farklı bir biçimde ele alırlar. Entropiyi, oluşmakta olan bir halin göreceli olasılığının ölçümü olarak tanımlarlar. Bir sistem, olasılığı düşük bir görünüm durumundan olasılığı daha güçlü olan bir görünüm durumuna yönelirken, olasılıktaki artış, entropideki artışa eşit olur. Entropiye ilişkin bu görüş, mikroskobiktir ve taneciklerin olası hareketleriyle ilgilidir. Entropi S , nicel olarak, olasılığın doğal logaritması ile doğru orantılıdır. Orantı çarpanı ise, “Boltzmann sabiti” olarak bilinen bir sayıdır. Boltzmann’ın mezar taşına kazınan ilişkinin formülü ise şöyledir: $S = k \ln P$.

Fizikçiler ve mühendisler, belirli bir haldeki mükemmel bir gazın entropisi konusunda fikir birliğindedirler. Buna karşın, bilim adamları, taneciklerin statik davranışlarını incelerken mühendisler bütünün davranışını incelemektedir. Bir fizikçi, sıcak bir nesneden soğuk bir nesneye ısı akışı olma olasılığının çok yüksek olduğunu söyleyecektir. Bununla beraber fizikçiye göre, ilkesel olarak tersinin gerçekleşme olasılığı azdır; ama yine de, böyle bir olasılık ihtimal dahilindedir. Gerçek süreçlere çok fazla sayıda taneciğin katıldığı düşünülürse, bu olasılığın çok çok az olduğu anlaşılır. Gerçekten de, bu olasılığın gerçekleşmesi durumunda fizikçiler hayrete düşeceklerdir. Öte yandan, mühendisler, bu tür birşeyin gerçekleşme olasılığının sıfır olduğunu söylemeyi tercih ederler.

Entropi kavramını termodinamik ve istatistiksel mekaniğin dışında tanımlama çabalarına da sık rastlanır. Sözelimi bazı öğrenciler, bazen, entropinin arttığı gerekçesiyle, odalarının sürekli dağınık



Mühendisler, “arındırılmış bir odada” Hubble Uzay Teleskobunun üretim aşamasında ana aynayı yerleştirirlerken. Yer denemelerinde aynanın yansıtabilirliğinin tahmin edilenden de yüksek olduğu belirlendi. Pasifik Okyanusu, ST aynasının yüzeyindeki örtü kadar düz olsaydı, meydana gelebilecek en büyük dalga 25,4 mm’nin binde biri yüksekliğinde olacaktı. Ama, aynanın yanlış çevre çizgisine yerleştirildiği ancak teleskop uzay gemisiyle birlikte uzaya fırlatıldıktan sonra anlaşıldı. Tasarım aşamasında yapılan bir hata, bu çok gelişkin ve oldukça pahalıya mal olmuş bilimsel aracın kullanımını engellemiş oldu. Bu konuyu 7. bölümde tartışacağız.

olduğuna inanırlar. İlginçtir ama, büyük kuruluşların bürokrasiye neden bulaştırılıyor olduklarını açıklamak için bile, entropi kavramına başvurulduğuna çok sık rastladım. Aslında, bu tür işlere yönelenler, kavramı yeterince anlamamış olan kişiler. Bu kişiler, özellikle de, sistemin dikkatli biçimde tanımlanmasının ne kadar önemli olduğunun farkına varmıyorlar. Bu nedenle, bilimsel ve teknik kavramlar hatalı biçimde kullanılmış oluyor. Ama olsun hiç değılse, bu kör yaklaşımların sağladığı bir fayda var: Anlaşılması zor bilimsel ve teknik kavramların, toplumumuz üzerinde hayli mistik bir etkiye sahip olduğu gerçeğini gözler önüne seriyorlar.

Birçok mühendis, fizikçilerin mikroskobik düzeydeki anlayışına sahip değıldir. İtiraf etmek gerekirse, mühendisler, bilim adamlarının bir adım gerisindedir. Ama, çoğı bilim adamı da temel olguları daha iyi anlama merakıyla yanıp tutuşmadıkça bir motor yapmayı bile tam olarak beceremez. Yine aynı noktaya döndük. Modern makinelerin gelişiminde, mühendislik ve bilim arasındaki sınırın çizilmesi zordur.

Bilim adamlarının çoğı, birçok mühendisin ihtiyaç duymadığı bir anlayış düzeyine ulaşmaya çalışır. Kısacası, mühendisler, temel olgulara ilişkin çok az bilgiyle, verimli bir iş ortaya koyarlar. Bilim adamı olmayan bir kişinin, ne denli üretken olabileceğini anlamak istiyorsanız, yarış arabalarının motorlarını yenileyen birisini bulun. Bu makine ustaları, Sadi Carnot hakkında tek birşey bilmeksizin, teknolojik harikalar yaratırlar.

Bilimin doğası hakkındaki kronolojik tartışmamıza geri dönelim. Ondokuzuncu yüzyıl başlarında William Whewell (1794-1866), bilimsel problemlerin çözümü için bir model önermişti. Bugün bu yöntemi, “hipotetik tümdengelim yöntemi” olarak biliyoruz. Whewell’in önerdiği bu model, bilimin, tartışma götürmez gerçekler yerine hipotezler üzerine temellendiğini kabul ediyordu. Hipotezler, önce mantık çerçevesinde tartışılır. Daha sonra, doğrulukları veya yanlışlıkları deney yoluyla kanıtlanır. Felsefe, nihayet, modern bilimi keşfediyordu. Whelwell’den bu yana birçok düşünür, bilimsel süreci tanımlamaya çalışmıştır. Bu düşünürlerin çoğı, genel olarak pragmatik olmuşlardır. Bilimin anlaşılmasına yönelik çabalarda en etkili

isim, kuşkusuz Karl Popper'dir. Popper'e göre bilim, hipotezlerin test edilme süreciydi. Bir hipotezin sağlamlığı, ne kadar çeşitli biçimde test edildiğine bağlıydı; ama doğruluğu, asla tam olarak kanıtlanamazdı. Diğer bir deyişle, bilim yapılan hataların aranmasıydı. Ne kadar fazla yanlış açığa çıkarılırsa, bilim de o kadar sağlıklı olacaktı. Popper'in bilim adamı imajı ise şöyleydi: İnceleyen, hipotezler üreten ve onları çürütene kadar deney yapan kişi.

Thomas Kuhn, *Bilimsel Devrimlerin Yapısı* (*The Structure of the Scientific Revolutions*) adlı ünlü kitabında, Popper'e karşı çıktı ve bilime ilişkin daha somut bir açıklama getirdi⁽²⁾. Kuhn, bilimin yeni yönelimler içinde olduğunu iddia ediyordu; çünkü oluşturulmuş kuramlar, yeni incelemeleri ele alma konusunda giderek artan güçlükler yaşıyordu. Öte yandan çoğu bilim adamı, bu güçlükleri ört bas eden yeni kuramlara karşı çıkıyor. Bu bilim adamları, yeni kuramları çürütmektense, hakimiyetlerini koruyan kuramları saflaştırmayı ve genişletmeyi tercih ediyorlar. "Normal" bilim adamlarının, hakimiyetlerini koruyan kuramlarda, yeterince menfaati bulunuyor. Bu nedenle de, büyük bir alanı kapsayan yeni yönelimlere karşı çıkıyorlar. Eldeki kanıtların çoğu, birçok bilim adamının bu şekilde davrandığını açıkça gösteriyor. Bunun iyi bir örneği, yeryüzü konusunda çalışan bilim adamlarının, yerküre tabakasının değişmesini sağlayan süreçler kuramına (kıtaların yer değiştirmesi) yıllarca karşı çıkmaları. Kanıtlar karşı çıkılamaz hale gelene değin bu kuram kabul edilmedi. Bugün ise bir doktrin.

Kuhn'ın bilim görüşünden daha uç bir görüş ise, kendisini Daüst olarak tanıtan Paul Feyerabend'e ait. Feyerabend'in felsefesi, "ne olsa gider" diye tanımlanıyor bazen. Feyerabend, bilimin rasyonel olmadığını; düşünürlerin, bilimde belirli örnekçeler bulmaktan hoşlandığını; ama, bilim adamlarının, böylesine büyük bir mantıktan habersiz olduğunu iddia ediyor. Elbette herhangi bir kişi, bilimde irrasyonel veya mantıksız davranışa ilişkin birçok unsur bulabilir. Hatta mühendislikte daha büyük örnekler de gösterilebilir. Deney yapmaya ve kayıt tutmaya ilişkin geniş ilkeler bulunduğu doğrudur. Ya da bilim adamları, "iyi" bilim ve "kötü" bilim gibi ayrımlar yapıyor olabilirler. Kendi düşünceleriyle karar verdikleri kriterleri ta-

nımlıyor da olabilirler. Ama, uygulama üzerinde yoğunlaşan bilim adamları, düşünürlerin yaptığı gibi bilimsel süreç hakkında derin düşüncelere dalmazlar. Aynen mühendisler gibi, sadece yapılması gerekeni yaparlar.

Büyük Bilim, Küçük Bilim (Big Science, Little Science) adlı bir kitapta, Derek de Solla Price, ilk kez, bilimin üstel olarak büyüdüğünü gösterdi.⁽³⁾ De Solla Price, bilim adamlarının sayısı, bilime ayrılan kaynaklar, dergi ve makale sayısı ve bunun gibi göstergeleri inceledi. Vardığı sonuç ise şöyleydi: Bilimin büyüme hızı, diğer insan etkinliklerinin büyüme hızıyla karşılaştırıldığında oldukça yüksekti. Bir örnek verelim. 1665 yılında yayınlanan her bir makale için, 1765 yılında 100 makale, 1865 yılında 10,000 makale, 1965 yılında ise 1,000,000 makale yayınlanmıştı. Yani, her yüzyılda 100 katlık bir artış görülüyor. Bizim gibi nicel düşünen kişiler, bu tür patlamalar gösteren bir büyümenin sonsuza kadar sürmeyeceğine inanırlar. Gerçekten de, bu büyüme daha şimdiden mum gibi erimeye başladı. Buna karşın, bilimin büyüklüğü, görünüşü, etkisi ve aslında doğası, çok kısa bir süre içinde inanılmaz ölçüde değişti. Aynısı, teknoloji için de geçerli. İçinde bulunduğumuz yüzyıldan önce bilim, Darwin, Lavoisier, Boyle, Volta gibi büyük bireyler tarafından yönetiliyordu. Bugün ise hükümet, vakıf veya özel fonların desteği altında dev projeler ve laboratuvarlar tarafından yönetiliyor. Bunun en iyi örnekleri de, “süper-collider” önerisi ve insan “genomu” projesi. Fizik ve tıp gibi alanlarda tek yazarın imzasını taşıyan makale, artık ortadan kalkmış bir tür. Deneyisel fizikle ilgili bir yayının altında düzinelerce yazarın ismi yer alabiliyor. Bu, ortak amaçtan kişisel katkıları ayıklamanın imkansızlığını yansıtıyor olsa gerek. Teknoloji gibi bilim de, büyük kuruluşlarca idare ediliyor. Bu kuruluşlar da, fon sağlayan kuruluşları sürekli memnun etme amacıyla bulguları bir an önce sunmaya ve kaynakları ele geçirmeye çalışıyorlar. Stewart Richards, *Bilim Felsefesi ve Sosyolojisi (Philosophy and Sociology of Science)* adlı kitabında, bütün bilim adamlarının ancak % 10'unun geleneksel anlamda bireysel olarak çalıştığı tahmininde bulunuyor.⁽⁴⁾

Başka bir değişiklik de, bilimin sanayi sektörüne daha fazla yöneliyor olması. Ondokuzuncu yüzyılın son yarısı, ilk olarak Alman-

ya'da, daha sonra da Amerika Birleşik Devletleri'nde araştırma kuruluşlarının büyük bir şirketin bünyesinde kuruluşuna tanık oldu. Günümüzde, "Bell Laboratuvarları" gibi kurumları ve IBM, Exxon ve Monsanto gibi şirketlerin büyük araştırma çalışmalarını gözü kapalı kabul ediyoruz. Sanayi alanında, teknoloji ve bilim arasındaki sınır giderek kayboluyor. Temel araştırmayı yapanlar, "halis" bilim adamlarıdır. Bu kişiler, kendi alanlarına sadıktır. Yayınlarından ötürü ödüllendirilerek takdir edilmeyi isterler ve çalışmalarının uzun dönemli sonuçları olacağına inanırlar. Sanayi alanında, "halis" teknolojistlere de rastlanır. Bu kişilerse, ekonomik ürünlerin üretilmesi konusıyla ilgilenirler. Kitap, makale gibi şeyler yayınlamak veya saygınlık kazanmak pek umurlarında değildir. Uğraştıkları temel iş, geliştirmedir. Bilim adamları ve teknolojistlerin arasında, temel araştırmacılar yer alır. Temel araştırmacılar, şirket planlarıyla ilgili alanlarda çalışırlar. Uygulama araştırmacıları ise, belirli tarz üretimi yönelik bilimsel inceleme yaparlar.

Bu ayırım, biyo-medikal mühendisliğe bağlı sanayilerde açıkça görülebilir. Örneğin, antikor bir molekülde amino asit dizisinin incelenmesi, temel araştırma olarak adlandırılacaktır. Bu bilginin, çeşitli hastalıklara tepki gösteren antikorlar arasında bir sınıflandırma yapılması amacıyla kullanılması, uygulamalı araştırma olarak görülecektir. Belirli hastalıklar için antikorların sentezlenmesine ilişkin bir teknik bulunması ve bu antikorların verimliliğinden denenmesi, geliştirme olarak bilinecektir. Bunu izleyen aşama ise, hastalıklarla mücadele edecek ilaçların tasarımı ve üretimi olacaktır.⁽⁵⁾

Araştırma-Geliştirme, şirket işlerinin (tasarım, üretim ve temel işlemler gibi) diğer boyutlarından ayrı biçimde tanımlanabilen bir eylem olarak görülür. Araştırma ve Geliştirme, genellikle şu anki ürünlerden çok gelecekteki yönelimlere katkıda bulunur. Farklı beklentilere yanıt verilmesi istendiği için de farklı bir biçimde yönetilir. Araştırma-Geliştirmenin diğer birimlerden ayrılması, kuruluş açısından kimi kolaylıklar sağlar. Böylece yeni şeyler öğrenmeye harcanan emeğin yüzdesi, kolayca saptanacak ve inceleme, deney yapma, kuramlaştırma, makale yayınlama gibi işlere ayrılan emeğin denetlenmesi mümkün olacaktır.

Mühendislik okulları, sanayi alanında mühendislik ve bilimin içiçe geçtiğini kabul ederler ve ders programlarını buna göre hazırlarlar. Mühendislik eğitimi, oldukça kuramsaldır; yani, matematik ve bilim ağırlıklıdır. Bunun nedeni, kısmen de olsa, profesörlük hayatının cazibesine kapılan ve ders programı hazırlayan insanların doğal ilgi alanlarına bağlıdır. Ayrıca mühendisler, çalışma alanlarının uygulamalı yönlerini çalışma sürecinde öğrenebilirler. Buna karşın, matematiğin ve bilimin çalışma sürecinde öğrenilme olasılığı düşüktür. Mühendislik öğrencisinin yaptığı işlerle, çalışan bir mühendisin yaptığı işler arasında çok az benzerlik bulunur. Bunun içindir ki mühendislik eğitimi, bazen öğrenciler üzerinde ters etkiler yaratır. Mükemmel mühendisler olabilecek bazı öğrencilerin cesareti kırılırken, bazı öğrenciler de gereksiz yere cesaretlendirilir. Mühendislik okullarında başarılı olma, problem kümeleri üzerinde çalışma ve doğru yanıtları bulma kabiliyetine bağlıdır. Mühendislikte ise, asla doğru yanıtlar olmadığı gibi problem kümeleri de düşünüldüğü kadar az değildir.

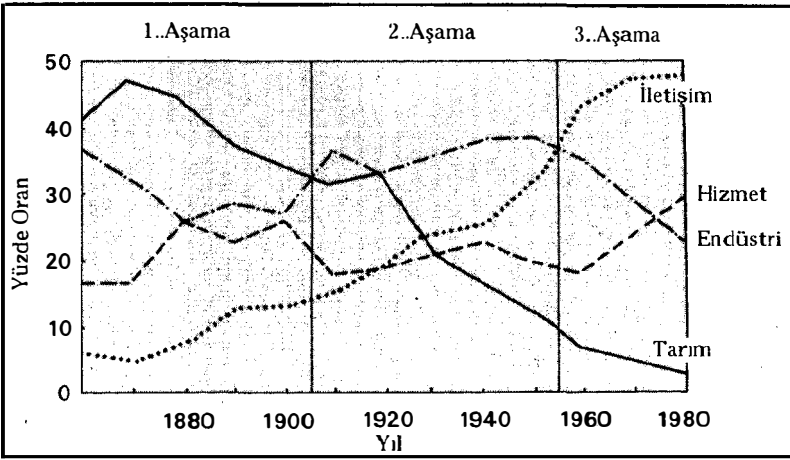
Entegre devreler ve genetik mühendisliğinden biraz daha bahsedip, bu bölümü kapatalım. Entegre devreler ve genetik mühendisliği, bilim ve mühendislik hakkındaki görüşlerimizi değiştiren yeni gelişmelerdir. Her iki durumda da, bizleri şaşırtan ve teknoloji ile yeni sanayilerin bütününde ortaya çıkan yeni yönlerin kapıları, yeni bilimsel kavrayışlarla aralanmıştır. Entegre devrelerde maddelerin doğasına ilişkin yeni anlayış bunu başarırken, genetik mühendisliğinde canlı sistemlerin doğası hakkındaki yeni düşünüş biçimleri, bu aralanmayı olası kılmıştır.

1947'de transistörün bulunması, maddedeki elektron davranışlarına, özellikle de yarı-iletkenlerin davranışlarına ilişkin yeni bilimsel anlayışa bağlıydı. Transistörün işler hale getirilmesi içinse, teknolojiye ihtiyaç duyulmuştu. Yani, yarı iletken malzemeleri, kusursuz güç kaynaklarını ve ölçüm aletlerini büyük bir özenle kontrol ederek imal etme kabiliyetine ihtiyaç duyulmuştu. 1947'den bu yana, yarı-iletken aletlerin niteliklerinde önemli gelişmelere tanık olduk. 1958'de bulunan entegre devre, tek bir çip üzerinde hem aktif (transistör) hem de pasif (resistör) birçok elektronik devre elema-

nı içerir. Bu entegrasyonun avantajları şunlardır: (1) devre elemanları, tek bir süreçte eş zamanlı olarak imal edilebildiği için üretim maliyeti düşüktür; (2) ebadın küçük olması, daha az güç kullanımını ve daha hızlı bir cevap süratini mümkün kılar; (bir trasmisyon sisteminin, herhangi bir frekanstaki çıkış seviyesinin giriş seviyesine oranı.) (3) fiziksel kütlelerin küçüklüğüne ve süreç kontrolünün genişliğine bağlı olarak, sağlamlık ve güvenilirlik artmıştır. Entegre devrenin bulunmasından sonra, her bir çip için kullanılan elektronik devre elemanı sayısı, üssel olarak büyümüştür. Buna karşın, her bir devre elemanının boyutu üssel olarak küçülmüştür.⁽⁶⁾ Günümüzde, bir milyon civarında devre elemanı içeren entegre devrelere rastlanmaktadır. Bununla beraber, bu değişim hız kaybediyor. Nedeni ise açık. Metrenin milyonda biri küçüklüğünde bir devre elemanının imal edilmesi, çeşitli sorunlar içeriyor. Fakat bu durum, elektronik sanayinde şaşırtıcı değişikliklere yol açtı. Ön bellekteki her bir 'byte'ın bedeli, 1970 yılında yaklaşık bir 'cent' civarındaydı. Bugün ise, bir 'cent'in binde biri fiyatına imal edilebiliyor.⁽⁷⁾

Fabrika satışları, 1963'te 10 milyon dolarlık entegre devre satıldığını gösteriyordu. Bugün ise bu rakam, 10 milyar dolara yükselmiştir. Elektronik ile ilgili genel fabrika satışları ise, aynı dönem içerisinde, 10 milyar dolardan, 200 milyar dolara yükseldi.⁽⁸⁾ Teknolojideki bu gelişme, hayatımız üzerinde önemli etkilere sahip olan enformasyon çağına temel teşkil etmiştir. Son yıllarda enformasyon ve hizmet sektörlerindeki görece artış ve buna bağlı olarak sanayi ve tarım sektörlerindeki düşüş, kısmen de olsa, entegre devre teknolojisi içinde yaşanan gelişmelerin sonucudur (yandaki şekle bakınız).⁽⁹⁾

Genetik maddelerin incelenmesinde yapabildiklerimiz de, 1953'den bu yana büyük değişiklik göstermiştir. 1953'te James Watson ve Francis Crick, DNA'nın yapısını keşfetmişti.⁽¹⁰⁾ Ne var ki, teknoloji onların keşfine de bulaşmıştı. Gerçi yapısal modellerini, tel ve küçük metal parçaları gibi düşük teknoloji malzemelerle kurmayı başarmışlardı; ama modelin düzenlenmesi, büyük ölçüde, Maurice Wilkins ve Rosalind Franklin'in X-ışını difraktometresi (X-ışını spektrumunu elde etmeye yarayan bir alet) verilerine dayanıyordu. Bilim adamları, 1970'li yılların başlarında, DNA'nın özel segment-



1880'den 1980'e değin iş gücünde gerçekleşen değışiklikler.

lerini nasıl yalıtacaklarını ve nasıl yeniden birleştireceklerini öğrendiler. Bu, dev bir ticari potansiyelin kapılarını açtı. Artık, bakteri gibi canlı organizmaları değıştirmek mümkün olacaktı. Böylece, insanların taleplerine karşılık verecek, insülin ve insan büyümesini olanaklı kılan hormonlar gibi ürünlerin üretimi kolaylaşacaktı. Ayrıca, insanların genetik yapısını değıştirmek de mümkün olacaktı. Bunun potansiyeli öylesine inanılmazdı ki, bu araştırmanın risklerini tartışma amacıyla Şubat 1975'te Kaliforniya, Asilomar'da bir konferans düzenlendi. Ulusal Bilim Akademisi, bu konferanstan iki yıl sonra başka bir toplantı düzenledi. Bu toplantıda, genetik mühendisliğin teknikleri ve yeniden birleştirilmiş DNA'nın uygulanması (genleri bölme) konularında çeşitli görüşler tartışıldı. Bu tartışmalar hâlâ sürüyor; ama makul tekniklerin uygulanmasına çoktan başlandı.

Bugün Amerika Birleşik Devletleri'nde 200'den fazla şirket, genetik mühendisliği işine soyunmuş durumda. Bu konudaki bilgi ve uzmanlık düzeyi, son yirmi yılda inanılmaz ölçüde arttı. Genetik olarak değıştirilen mikro organizmalar, interferonların (yani, hücrelerde üretilen ve organizmayı virüslere karşı koruyan proteinlerin), nöropeptidlerin, kan pıhtılaştırıcı ve anti-şok etki yaratıcı

maddelerin, aşıların, antibiyotiklerin ve hastalığa karşı diğer silahların üretiminde kullanılıyorlar. Gıda, temel kimya ve enerji sanayilerinde inanılmaz gelişmelerin gerçekleşmesi bekleniyor. Çürümeye karşı dayanıklı sebzelerin üretimi, araştırma aşamasında sürdürülüyor. Gelecekte kullanacağımız yakıtlar, genetik olarak değiştirilmiş tahılları büyük bir mutlulukla çiğneyen bakterilerin genetik olarak değiştirilmesiyle üretilirse sakın şaşırmayın!

Bu dönemde elde edilen bilgiler, monoklonal antikorlar olarak bilinen proteinlerin üretimine ve kullanımına yol açtı. Bunlar, DNA'nın yeniden birleştirilme teknikleriyle değil, antikor üreten akyuvarları içeren bir tümör hücresinin eritilmesiyle üretiliyor. Bu 'clone'lar, sonsuza kadar yaşıyorlar ve kimyasal olarak birbirine benzeyen antikorlar üretiyorlar ('clone', özel bir müamele ile nüvesi faal duruma getirilmiş hücrelerden meydana gelen ve birbirine benzeyen canlılar grubudur). Bu nedenle, geniş araştırmalarda ve teşhise ilişkin deneylerde kullanılıyorlar. Hiç şüphesiz bu 'clone'lar, tedavi yöntemlerinde yeni uygulamalar bulunmasına yardımcı olmayı sürdürecekler.

'Yeniden birleştirilen DNA' teknolojisinin tartışmalı uygulamalarına, genelde insan hastalıklarının tedavi edilmesinde rastlanıyor. Doktorlar, kemik iliğinin DNA yapısını değiştirme yetisine sahipler. Bu sayede, yeterli sayıda sağlıklı akyuvar hücresi üretilebiliyor. Ayrıca, genetik mühendisliği sayesinde önüne geçilebilecek veya tedavi edilebilecek birçok hastalık bulunuyor. Genetik mühendisliği, bireylerin özelliklerinin ve hatta yumurtalık tohumu türlerinin geniş ölçüde değiştirilebilmesi olanağını da sağlıyor. Bu durum, gelecek nesilleri etkileyecek bir sonucu gözler önüne seriyor. Felsefi ve etik sorunlar listesinin hayli kabarık olduğu açık. Bu sorunlar, sürekliliğini koruyan tartışmalarla ve düzenlemelerle sonuçlanıyor. Yine de, gidişatın iyi olduğu yönündeki inanış güçlü.

Aynen entegre devrelerde olduğu gibi, genetik mühendisliğinde de bilim ve teknoloji arasında bir ortak-yaşam yaşıyor: Bilim, sanayiye besliyor. Teknoloji de bilimi besliyor.



Bilim adamı mı mühendis mi?

Yukarıdaki fotoğraf, Stanford Üniversitesinde bulunan Beckman Merkezi'ndeki bir laboratuvarıda çekildi. Burası, tıp eğitimi veren çeşitli okullardaki biyo-kimyasal araştırmaları destekleme amacıyla oluşturulmuş bir kuruluş. Ne dersiniz, fotoğraftaki kişiler, bilim adamı mı yoksa mühendis mi? Bu insanlar, muhtemelen, bilim adamı. Çünkü kuruluştaki yapılan araştırmaların büyük çoğunluğu, bilim başlığı altında toplanıyor. Ama, kullanılan cihazlara dikkat edin. Bu teknolojik aletler, oldukça gelişmiştir. Bu sayede, araştırmayı yapan kişinin çalışma hızını ve yaptığı işlemlerin kesinliğini büyük ölçüde artırıyorlar. Sözgelimi, laboratuvarıda protein dizicileri kullanılıyor. Bu aletler, bir proteini hareketsiz kılarak, proteinden amino asiti çıkarmaya ve amino asitin analiz edilmesini sağ-

lıyorlar. Proteinler, olağanüstü karmaşık moleküllerdir. Ama bu aletler, proteinlerin bütün yapısını tanımlayabilirler. Bir mikrogram proteine ait küçük parçaların analizini yapabilme kabiliyetine sahiptirler. Laboratuvarında örneklerin saflık derecesini ölçmek için de çeşitli aletler kullanılıyor. Bu aletler, gramın milyarda biri kadar küçük bir miktarın analizini yapıyorlar. Ayrıca, bir örnekteki her bir amino asitin göreceli miktarını saptamak ve 'peptide'leri sentezlemek için de kullanılıyorlar. Dizici, 100 amino asit uzunluğunda protein molekülleri oluşturabiliyor. Böylece, deneyi yapan kişinin sadece istenilen yapının örneğini çıkarması yeterli oluyor. Dizici, daha sonra, molekülleri kullanılabilir boyutlarda (mesela, yüzlerce miligram) biraraya getiriyor.

Laboratuvar, DNA'yı çözümleyen ve sentezleyen aygıtlara da sahip. DNA, oldukça uzun bir moleküldür ve 'tymine', 'adenine', 'cytosine' ve 'guanine' bazlarından oluşur. Ayrıca, oldukça değişken bir dizide düzenlenmiştir. Analizi yapan makine, 24 saat içinde, 10 farklı DNA örneği alıp bir dizideki 500 bazın analizini yapabilir. Yani bu, sekiz saat içinde 5,000 adet baz tipinin ve lokasyonunun büyük bir hassasiyetle tanımlanması demektir. Dizici ise, tek seferde, her biri 70 baz uzunluğunda 4 farklı DNA grubu inşa edebilir ve her bir baz için 6 dakikalık bir hızla çalışır. Bu, elle yapılması durumunda harcanacak zamanla kıyaslandığında gerçekten de olağanüstü bir hızdır.

Labarotuvarda yararlanılan diğer bir olağanüstü teknoloji de, floresanla aktifleştirilmiş hücre sınıflandırıcısıdır (veya kısaca, "FACS"). Bu makinenin işleyişi, bir sıvının küçük bir kanal aracılığıyla titreşim bulunan bir bölmeye geçmesini gerektiriyor. Bu bölme öyle tasarlanmış ki sıvı, her biri bir hücre içeren (veya içermeyen) damlacıklara dönüşüyor. Bu damlacıklar, daha sonra lazer ile aydınlatılıyorlar ve detektörlerden oluşan bir düzenek, hücrelerin boy-ları ve dağılımıyla ilgili bilgiyi ayrıştırıyor. Floresan (veya flüorışıl) antikörler aracılığıyla hücrelerin seçilmesi sayesinde çeşitli hücreleri tanımlamak ve sayılarını hesaplamak mümkün oluyor. Bu hücreler, yüklü anotlar kullanılarak, çeşitli depolara aktarılıyorlar. Bu aletlerin hepsi de, bilgisayar yardımıyla çalışıyor ve gerekli kim-

yasal işlemleri otomatik olarak yapıyorlar. Açıkçası bu aletler, bilim adamlarının hayatın doğası hakkında çeşitli şeyler öğrenmelerini mümkün kılıyor ve bilimsel ilerlemenin önemli boyutlarda gelişmesine olanak tanıyorlar. Biyo-kimya, bilimin büyük ölçüde teknoloji desteğiyle geliştiğine mükemmel bir örnek teşkil ediyor.

Entegre devre ve genetik mühendisliği gibi gelişmeler ile nükleer mühendislik ve uzay araştırması gibi sahnede nispeten yeni yeni boy göstermeye başlamış olan diğer gelişmeler, bilim ile mühendisliğin içiçe geçtiğini düşünmemize neden oluyor. Daha önce de belirttiğim gibi, doğru bir düşünüş bu. Ama eğitim kurumları, para desteği sağlayan kuruluşlar, hizmet servisleri ve toplumun büyük çoğunluğu, hâlâ başka bir görüşü benimsiyor gibi. Nerdeyse herkes, bilim ve mühendisliğin birbirinden ayrı alanlar olduğunu düşünüyor. Oysa yapılabilecek en anlamlı ayırım, amaçlar, beklentiler, mesleki yapılar ve ödüllendirme sistemleri kapsamında söz konusu olabilirdi. Bilim adamları, bilgiyi bilgi adına ararlar. Bununla beraber, bilim adamlarının, para desteğinin sağlanmasından tutun da medyanın verdiği tepkiye kadar değişen çeşitli faktörlerden etkilenmeleri normaldir. Öte yandan mühendisler, pazara yönelik ürünler üretme peşindedirler; ama çoğu zaman da, bunun yapıp yapılmaması gerektiği konusunda, olguları daha iyi anlamaya çalışırlar. Her ne kadar asıl hedef pazar olsa da bilim adamlarınca kullanılan gelişkin ürünlerin de, mühendislerin üretim listesinde bulunduğunu ekleyelim.

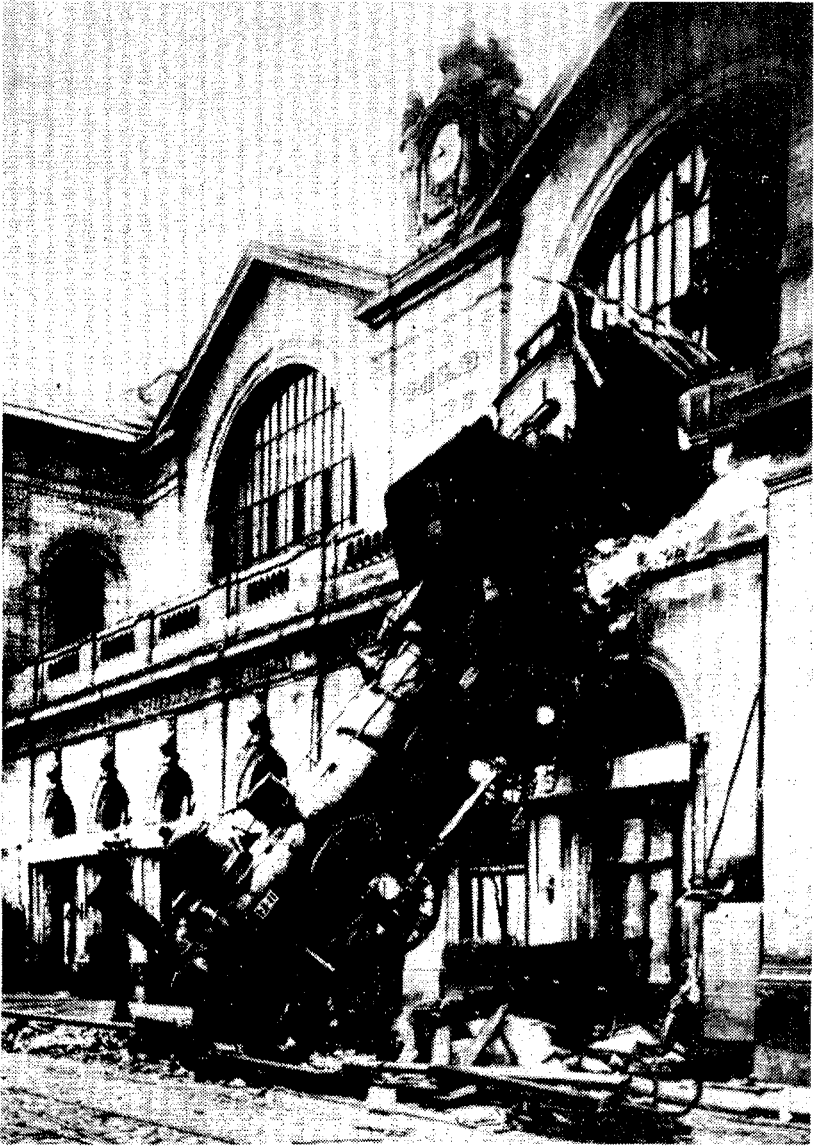
Şimdi de mühendislik bağlamında 'geliştirme, deneme ve yanılma' konusunu ele alacağız. Deneme (ve yanılma), hem bilimde hem de mühendislikte yaygın bir uygulamadır. Fakat deneme, mühendislikte, genel olarak farklı bir motivasyona ve odağa sahiptir. Önümüzdeki bölümde, bunu daha ayrıntılı olarak tartışacağız.

Geliştirme, Deneme ve Yanılma

Bir Şeyin Değeri Ancak Denemekle Belli Olur

Deney, bilim adamlarının tekeline değildir. Teknoloji de, deneye ihtiyaç duyar. Deneyin büyük bölümü, planlanmış deneme sürecinde gerçekleşse bile, herşey burada meydana gelmez. Teknoloji, bir bilim olduğu kadar bir sanattır da. Ancak, mühendislerin geçmiş deneyimler, kuramlar ve bilgisayar hesaplamaları yardımıyla tahminde bulunma yeteneklerine rağmen gerçeklik, kuramlarımızdan ve simülasyonlarımızdan oldukça farklı hareket etme gibi kötü bir alışkanlığa sahiptir. Belirli sayıda hata (ya da arıza), her zaman olageldiği üzere oyunun bir parçasıdır. Belki de hatayı en aza indirmek için mühendislerin yeni olan hiçbir şeye yeltenmeleri gerekirdi. Ama bu durumda bile birşeyler bozulacaktı ve insanların da bunları tamir etmesi gerekecektir.

Bu bölümde, deney ile deneme ve yanılmayı çeşitli düzeylerde inceleyeceğiz. Önce, mühendislerin yaptığı rutinleşmiş şeylerle başlayacağız ve medya ile kamuoyunun dikkatini üzerlerine çeken büyük çaplı trajik hatalarla bu bölümü kapatacağız. Burada vermek istediğimiz mesaj ise çok önemli; çünkü kimse hatalardan hoşlanmasa da hata zorunlu olarak teknolojinin ayrılmaz parçasıdır. İnsanlardan olu-



22 Ekim 1895 günü öğleden sonra, Granville'den (Normandiya) gelen ekspres, Paris'te Montparnesse Garı'na ulaştığında duramamıştı. Tren, bekleme odasına girdi ve istasyonun dış duvarlarından çıkan lokomotif, Rennes Meydanı'na düştü. Rennes Meydanı'nda kaldırımında bulunan bir gazete satıcısı, lokomotifin altında kalarak öldü.

şan toplumumuz, teknolojinin sağladığı faydaların hata içermemesini ister: Daha ucuz ama kazasız bir hava taşımacılığı, daha gelişkin ama yeryüzünün tümünü kaplamayan silahlar, gittikçe bollaşan ama kirliliğe yol açmayan bir enerji v.b.. Kamuoyu teknolojiye karşı büyük bir inanç besler; ama bu inanç, belki de mühendisliğin doğasına uygun olandan daha büyüktür. Hataları tamamen önlemek, gerçekleştirilemeyecek ölçüde pahalı ve hattâ imkansız olabilir.

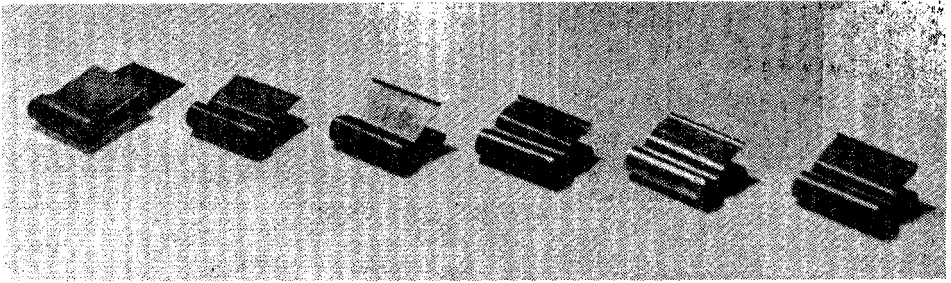
Peki mühendisler ne tür deneyler yaparlar? Mühendislerin deney yapmalarının sebebi bir soruna çözüm bulmak olabilir. Thomas Edison, problem çözmeye yönelik deney yaklaşımıyla ünlü kişilerden sadece biri. Edison, üzerinde çalıştığı elektrik lambası için kullanışlı bir lamba teli (pratik bir filaman) ararken çok çeşitli malzemeyle sayısız deneyler yapmıştı. Varsayalım ki siz bir mühendissiniz ve özel çevre koşullarına karşı koymak için bir tabakaya ihtiyaç duyuyorsunuz. Bu koşullar altında birkaç malzeme deneyerek bu sorunu en iyi biçimde çözebileceğinizi görüyorsunuz. Daha önce boya kullanarak buna benzer birşeyi evinizin bir bölümünde uygulamış olabilirsiniz. Bütün satıcılar kendi boyalarının en iyisi olduğunu iddia ederler. Gerçeği öğrenebilmenin en iyi yolu ise, bu boyaların birkaçını denemekten geçer. Mühendisler buna benzer denemeleri çok sık yaparlar. Sözelimi, bir ürün paketine ilişkin çeşitli çekici çözümlerle karşılaşabilir, seçim yapmanın en iyi yolunun, bunların her birinin bir prototipinin yapılması ve müşteri tepkisinin alınması olduğunu anlayabilirsiniz. Eğer çizim yapmak için uygun deneyime sahip değilseniz ve yararlanabilecek bir kuram bulamıyorsanız, yapabileceğiniz tek şey keşfetmek olacaktır. Ancak, denemesiz keşif olmaz ve deneme söz konusu olduğunda da hata sahnede belirir.

Daha önce karşı karşıya kaldıklarına benzer bir durumda kendilerinin doğru dürüst bir kurama veya deneyime sahip olmadıklarını görmek; mühendisler için hiç de olağandışı birşey değildir. Örneğin, yeni bir ürünün kullanım süresini tahmin etmeye çalışan bir mühendis böyle bir durumda bulunmaktadır. Bunca yıldan sonra, aşınma olgusu gibi geliştirme açısından oldukça önemli birşeyi tahmin etme konumunda bile yeterli bir kuramsal yöntemle sahip olmayışı-

mız fazlasıyla can sıkıcı. Sözgelimi, bu gece akşam yemeğinde çatal bıçağınızı birbirine sürtmeye başlayacak olsanız ve ayrıca yüzeyin temizliği, çatal ve bıçak arasındaki basınç, göreceli hız ve geometri gibi faktörleri dikkatlice kontrol etseniz bile, hiçbir mühendis çıkıp da size bunların ne kadar hızla aşınacaklarını söyleyemez. Bunu öğrenmenin tek yolu, denemek yani test etmek olacaktır.

4. Bölümde bahsettiğimiz Dennis Boyle'un yay ve sürtünme mekanizmasını hatırlıyor musunuz? Bu mekanizma, Boyle'un bilgisayarının kapağını istenilen herhangi bir pozisyonda tutmaya yarıyordu. Yayın burulmasını hesaplamak mümkün olsa bile sürtme aleti başka bir konuya giriyordu. Kuram, sürtme aletinin büyüklüğünün tahmin edilmesine olanak verecek yetkinlikte değildi. Bu nedenle, uygun boyutların bulunabilmesi için deney yapılması gerekli olmuştu. Yapılan ve test edilen parçalardan bazılarını yan sayfadaki şekilde görüyorsunuz. Tercih yapıldıktan sonra bir model üretildi. Bu model, 5,000 çevrimlik bir test sürecinden geçti. Denemeler boyunca, sürtünmenin metal yüzeylerdeki aşınmaya bağlı olarak değiştiği açıklık kazandı. Sonuçta yağlayıcı bir madde kullanılması gerektiğine karar verildi. Bu da, sürtünmenin değişeceği ve bütün işlemlerin tekrarlanması gerektiği anlamına geliyordu kuşkusuz.

Kuramın varolduğu yerlerde bile, çalışma grubundaki kişiler bu kuramı iyi bilemeyebilirler. Ya da, gerekli bilginin edinilmesi ekonomik olmayabilir. Mühendislik, uygulamaya yönelik bir etkinliktir. Dolayısıyla, bütün yaklaşımların değerlendirilmesine olanak tanıyacak zaman, enerji veya uzmanlık, asla tam anlamıyla söz konusu olamaz. Doktora eğitimimi sürdürdüğüm yıllarda, daha önceleri sanayide çalıştığım işte, değeri olmayan kuramın yaşadığını öğrenmek beni hem şaşırtmış hem de sevindirmişti. Eskiden kuramın yaşadığını bilmediğim için sorunlarımı neşe dolu bir cehalet içerisinde muhakeme, deneme ve yanılma (deney) yollarıyla elimden gelen en iyi şekilde çözmüştüm; çünkü bu benim işimdi. Kuramın yaşadığını bilseydim ve patronumdan kuramı öğrenmem için beni okula göndermesini isteseydim bile, bana (paramız değil de) zamanımız olmadığını söyleyecekti. Doktoramı tamamladığım zaman, mevcut mühendislik bilgisinin kapsamı hakkında daha iyi bir fikre sahip olmuştum. Ama şu ger-



Yay Prototipleri.

çeği de kabul etmiştim: Bu bilginin tamamına değil sadece bir bölümüne sahip olabilirdim ve bu bilginin çoğunun varolup olmadığını bile asla kesin olarak bilemezdim.

Bu yüzden, cehalet içinde mutlu bir hayat sürmeye devam ettim. Kimbilir bu, belki de daha rahat bir hayattı. Yapılması gerekeni deneysel yöntemle belirlemek için (ki doğru kişi bunu kuramsal olarak da tahmin edebilecektir) kaybettiğim zamanı düşünmek bile istemem.

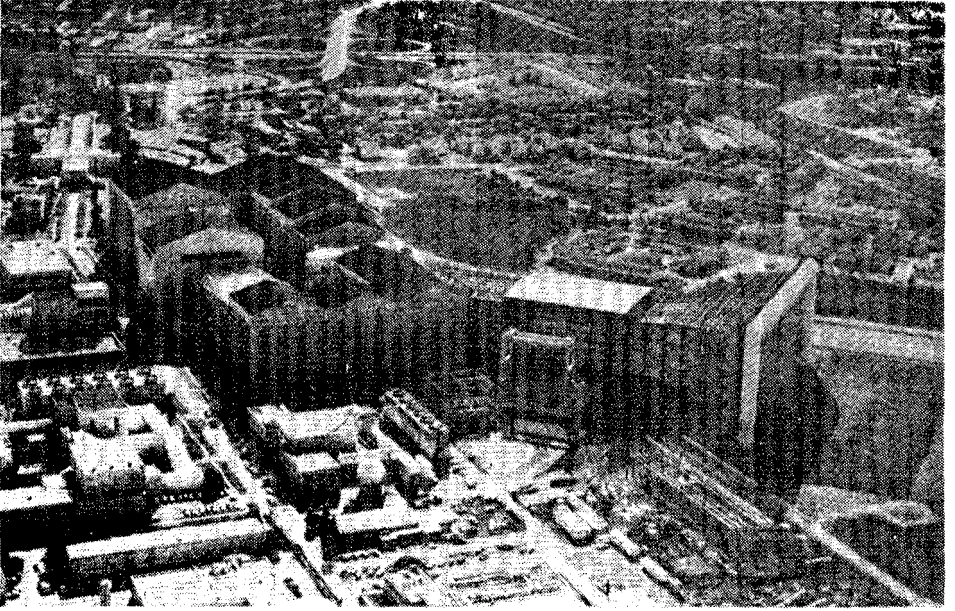
Deney, ayrıca yeni bir kuramın geliştirilmesinde de hayati bir önem taşır. Mühendislikteki araştırma, genel olarak, hem çözümlemeden hem de denemeden yararlanan bütünleşmiş bir çabadır. Bazı kuramlar tamamen deneye bağlıdır. Doktora tezimi o zamanlarda merak konusu olan “uzaktan kontrol” üzerine hazırlamıştım. Konuyla bu denli ilgilenilmesinin nedeni, Ay ve diğer gezegenler üzerinde dolaşan keşif araçları gibi makinelerin uzaktan kontrol edilmesine duyulan ihtiyaçtı. Uzaydaki bir araca sinyalin gönderildiği süre ile bu sinyalin alındığı süre arasında önlenemez bir zaman gecikmesi vardır. Geri-beslemeden önce de eşdeğer bir kaybın meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu gidiş dönüş gecikmesi, Ay için üç saniyedir. O zamanlarda, geribesleme olarak televizyon kullanılıyordu. Ve bu tür araçların bir operatörün verdiği komutlarla kontrol edilmesi yolunda büyük planlar yapılıyordu. Bazı güçlükler çıkacağından şüphelenmiştim, ama, araştırmamı problemler üzerinde yoğunlaştırdım ve birçok güçlükle karşılaştım. Gerçekten de, araç dinamiği,

zaman gecikmesi ve hız sorunlarının oluşturduğu kombinasyon göz önüne alındığında, insanların bu tür araçları doğrudan kontrol edemeyecekleri açıktır. Geribesleme denetim döngüsünde, araç tabanlı hesaplama ve tahminlerle sağlanacak büyük miktarlarda yardıma gereksinim duyulur. Bazı saçma projelerin iptal edilmesine katkıda bulunduğumu düşünmek beni sevindiriyor.

Peki araştırmamı nasıl yaptım? Bütün literatürü ve yapılan deneyleri araştırmıştım. Ama operatörlerin davranışlarını inceleyerek, performanslarını kuramsal olarak tahmin etmem mümkün değildi. Bu nedenle, çeşitli deneyler yapmak zorundaydım. Operatörleri hem araçların bilgisayar simülasyonlarında hem de farklı görünümlerdeki gerçek araçlarda test ettim. Problemleri, zaman gecikmelerini ve hızları değiştirdim, ve farklı denekler kullanarak, konuyla ilişkilendireceğim kuramı geliştirmek için yeterli veri topladım. Daha sonra, bu kuramı başka durumlarda da test ettim ve kuramın çalıştığını gördüm.

Yeni kuramların çoğu, mevcut kuramların genişletilmesiyle ve bu genişletmelerin geçerli olduğunu kanıtlayan deneyler yapılmasıyla geliştirilir. Doktora öğrencilerine danışmanlık yapan profesör bir arkadaşım, araştırmaya yönelik ilginç bir yaklaşım öneriyor. İlgili farklı niceliklerin fonksiyonu olarak, kendi alanında yapılmış olan çalışmaların planını çıkarıyor. Sonuçlar, belirli anlayış adalarını ve büyük bir cehalet denizini yansıtıyor. Arkadaşım, öğrencilerini bu adalardan en azından biriyle örtüşen, ama cehalet denizinin büyük bir bölümünü kateden bir çalışma yapmaya teşvik ediyor. Ada, öğrencilere bir başlama noktası sağlıyor. Deniz de, onları kendi çalışmalarını yapmaları için odalarında oturmaya zorlayarak bir hareket ağı oluşturuyor. Örtüşme, bir görüş birliği veya bir görüş ayrılığı şeklinde açığa çıkabilir; ama her iki sonuç da oldukça ilginç.

Deney, kavrayışın artırılması ve fizibilitenin sağlanması amacıyla araştırma ve geliştirme esnasında gerçekleştirilir. Bu testlerden bazıları, çok kapsamlı teçhizatlar gerektirebilir. Örneğin, Ames Araştırma Laboratuvarı Amerikan Tam-Ölçekli Aerodinamik Kompleksi (yan sayfadaki şekle bakınız), ortak bir işletim sistemini ve harici bir aerodinamik araştırma binasını kullanan iki rüzgâr tüneli (ya da deneme



NASA Ames Araştırma Merkezi Tam-Ölçekli Aeorodinamik Kompleksi

tüneli) bölümlerinden oluşuyor. Test bölümleri, yaklaşık 12 x 24 m ve 12 x 36 m'lik dik kesitlere sahip. Bu boyutlar, büyük modellerin (genellikle de orjinal boyutlardaki modellerin) denenmesini olanaklı kılıyor. Rüzgâr tünellerinin dik kesitleri öylesine büyük ki elde edilebilen hızlar bu büyüklüğe göre düşük kalıyor (Büyük bölmede yaklaşık olarak saatte 185 km ve “daha küçük” olanında ise yaklaşık olarak saatte 563 km). Tüneller, yüksek performanslı uçakların düşük-hız özelliklerinin denenmesi amacıyla yapılmış. Bu, oldukça önemli bir sorun; çünkü hızlı uçmak için tasarlanan uçaklar bazen yavaşlayamıyor. Oysa bu yavaşlama, iniş ve kalkış sırasında hayati bir önem taşıyor. Ayrıca, tünellerde yüksek performanslı helikopterler ve gelişkin “rotorcraft”lar da (helikopterlerin havada asılı kalabilme yeteneklerine ve konvansiyonel uçakların yüksek hız yeteneklerine sahip hava taşıtı) test ediliyor. Bu kompleks, geniş ölçekli sıvı akışı ve akustik sorunlarıyla ilgili temel araştırmalar yapılması amacıyla da kullanılıyor, ve bu özelliğiyle büyük bir bilimsel araç olma yolunda ilerliyor.

Bu özel binalar, göreceli düşük-hız kapasitelerine karşın, etkileyici başarılarıdır. 48,562 m²'lik bir araziye kaplarlar; küçük olan dairesel tünel, yarım mil uzunluğundadır (0,805 km); ve test bölümündeki hava akışı, saniyede 63 ton'dur. Büyük tünelin (bu, diğeri gibi dairesel değil düz uzun bir tüneldir) hava girişi için ayrılmış bölümü, 39,624 m yüksekliğinde ve 109,728 m genişliğindedir (Hemen hemen bir futbol sahası boyutlarında). Çalıştırma sisteminde, çapları yaklaşık 12 m olan ve toplam 135,000 beygircücüne sahip motorlarla çalıştırılan altı pervane bulunur. Sistemi çalıştıran motorlar, 105 megawatt'lık enerji harcarlar. Bu deney merkezi, devasa bir yatırımı yansıtır. Buna bağlı olarak şunu söylemek yerinde olacaktır: Eğer kuramsal yaklaşım, uçakların tasarlanması için tek başına yeterli olmuş olsaydı, bu tür tesisler asla inşa edilmezlerdi. Kuram varolup bilinebilir; ama, mühendislik kuramının idealleştirilen dünyası ile karmaşık gerçeklik arasındaki boşluğun doldurulması için deneye ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekten de, kuram ve deney, zinciri oluşturan iki halkadır. Bazı durumlarda kuram tek başına yeterli olabilir. Bazen de kişi tamamen deneye bağlı olmak zorunda kalabilir. Ama problemin çözümünde, genellikle her ikisine de ihtiyaç duyulmaktadır. Matematiksel model oluşturma süreci, denklemlerin kullanılabilmesi ölçüsünde gerçek dünyanın basitleştirilmesini gerektirir. Matematiği daha kullanışlı bir hale getirmek amacıyla, yakınlıklar veya tahminler yapılabilir. Ya da, belirli sayısal değerler göz ardı edilebilir. Sözelimi, doğrusal ilişkilerle çalışmak çok daha kolaydır. Bu, niceliklerin birbirleriyle doğru orantılı bir ilişkiye sahip olmaları anlamına gelir: Birim alana etkiyen kuvvet gerilmeden doğan fiziksel bozulmayla, ivme kuvvetle, akım voltajla doğru orantılıdır v.b.. Esnek bir bölgede birim alana etkiyen kuvvet, gerilmeden kaynaklanan fiziksel bozulmayla doğru orantılıdır. Bu bölge, bir şeyin şeklini bozabileceğimiz ve yükü kaldırdığımızda eski şekline döndüğünü görebileceğimiz bir bölgedir. Çok şükür, her zaman olmasa da çoğunlukla esnek bölgede çalışma eğilimindeyizdir. İvme, eğer sürtünme yoksa, uygulanan kuvvetle doğru orantılıdır. Eğer akımın geçtiği tel yeterince büyükse, akım ile voltaj doğru orantılı olacaktır. Ama çoğunlukla, nesneler bu denli esnek değildir. Az da olsa

her zaman sürtünme söz konusudur ve tel de dndgnz kadar büyük değildir. Bu nedenle, uygulamaya geçirilen tasarımlar, genellikle tam anlamıyla kendilerinden beklenildiği biçimde alımazlar. Gerçekten de, bugüne kadar tasarladığım herhangi bireyin prototipinin, dndgm gibi çalıştığı hiç olmadı. Hatta çoğunlukla prototiplerin hiçbiri alımadı. Örneğin, mekanizmalar "bağlanır". Bunun ne anlama geldiğini hepimiz biliriz. Bu durum genellikle, aletteki esnek sapmanın sürtünmeyle birleşmesinden ötürü meydana gelir. Bağlanmayı analitik olarak tahmin etmek çok güçtür. Maharetli ve gelişkin birçok mekanizma tasarladım. Daha en baştan öylesine zalvalıca çalışıyorlardı ki bunları tasarlamamı olmayı tercih ederdim. Sorun ise, yararlandığım kuramların, gerçek mekanizmaya ait herşeyi içermemelerinden ötürü meydana gelmişti. Tasarım boyunca karmaşık teknolojik ürünlerin hareketlerinin tahmin edilmesindeki güçlüklerden biri de, karmaşıklığın kendisidir. Mühendisler, geçtiğimiz 100 yıl içinde karmaşıklığın üstesinden gelebilme konusunda oldukça uzmanlatılar. Bilgisayarlar, çok sayıda niceliğin değerlendirilmesini mümkün kıldı. Yöneylem araştırması gibi matematiksel yaklaşımlarda, çok sayıda denklemlerle çok sayıda bilinmeyen üzerinde çalışılır. Ama karmaşıklık büyükse, yapılması gereken varsayımların çokluğundan, tesadüfi veya hatalı ihmallerden ve sözünü ettiğimiz 'kurama başvurma güçlükleri'nden ötürü, hata ortaya çıkacaktır. Tabii ki, bu hataların deney ile yakalanması mümkündür.

Doktoramı bitirdikten sonra, uzay gemilerinin alt-sistem sıcaklık kontrolleri üzerine çalışan bir ekibe atanmıtım. İşte o zaman, sözünü ettiğim bu sorunlarla karılatım. Isı transferiyle ilgili bazı dersler almıştım. Isı transferi, mekanizmaları ısının aktarımı ve sıcaklığın dağıtımı kapsamında inceleyen bir disiplindir. Okulda almış olduğum dersler oldukça kolaydı. Şöyle ki: Isı transferinin üç temel mekanizması vardır: İletim, konveksiyon (ulaşım) ve ışıma. Eğer bir atağı açarak dzletirdikten sonra bir ucundan tutup, diğer ucunu mum alevinde bekletirseniz, iletim yüzünden eliniz yanar ve acı ekmenizle sonuçlanan bir deney yapmış olursunuz. Alevin ısı enerjisi, atataki ısınan moleküllerin ağite hareketleri aracılığıyla doğrudan parmağınıza transfer edilir. Aktarılan ısının miktarı, ata telinin

kesit alanıyla, tel boyunca değişen sıcaklıkla ve maddenin ısı iletkenliği olarak adlandırılan ve deneyle saptanan bir sabitle doğru orantılıdır. Ne kadar basit değil mi?

Isı, katı yerine sıvı veya gaz aracılığıyla aktarıldığında bu süreç, ulaşım (ya da konveksiyon) olarak adlandırılır. Kaloriferiniz ulaşım-dan yararlanır çünkü odadaki havayı ısıtır. Ulaşım ile ilgili olarak yararlanacağınız kuram, kullanışlılık bakımından, iletimde olduğundan biraz daha karmaşıktır. Aktarılan ısının miktarı, kesit alanıyla, sıcaklık farklılığıyla ve ısı akışım (veya ısı konveksiyon) iletkenliği ortalama birimi olarak adlandırılan bir sabitle doğru orantılıdır. Ancak, sıcaklık farklılığı bu sefer sıcak bir yüzey (mesela, radyatör) ve akışkandaki (bu örnekte, hava) referans sıcaklık arasında gerçekleşir. Öte yandan, sözü edilen sabit, ne yazık ki, yüzeyin geometrisine, konvektif akışkanın fiziksel özelliklerine, akışkanın hızına, sıcaklık farklılığına, akışkanın hal değiştirip değiştirmedigine ve daha başka birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Isı enerjisinin aktarımı, elektromanyetik ışımayla da gerçekleştirilebilir. Şömine başında oturmanın zevkinden, ısı transferinin bu şekli sorumludur. Şömine-ler ulaşım yoluyla ısıtmada zayıftırlar. Bu nedenle, enerji uzmanları-nın eleştirilerine maruz kalırlar. Hakikaten, odaya aktardıkları ısıdan daha fazlasını bacaya aktarma gibi bir özellikleri vardır. Ama şömine savunucuları, (benim gibi) havanın zaten soğuk olduğu durumlarda bile şöminelerin daha tatmin edici olduğunu iddia ederler. Çünkü asıl zevkli olan, evdeki havanın basitçe ulaşım yoluyla ısıtılması değil, insan bedeninin doğrudan ışımayla ısıtılmasıdır. Ama, şömineyle bir odanın ısınabileceği yanılgısına düşmeyin. Tıpkı kamp ateşiyle atmosfer sıcaklığını artırmayı beceremeyeceğiniz gibi şömineyle de odayı ısıtamazsınız. Işınlanmış enerji arayışında enerjinin verimsiz olduğunu kabul ediyorum; ama, evin insanı titretecek ölçüde soğuk olmasına ses çıkarmayarak günahlarımı bağışlayabilirim. (Elbette, şöminemin hemen yanı başında oturacağımı hesaba katmazsak).

ışımayla iki “siyah” cisim arasında birim zamanda aktarılan ısı enerjisi, Stefan-Boltzmann sabiti olarak adlandırılan bir sayıyla, cisimlerden birinin alanıyla, “şekil katsayısı” (ya da “biçim çarpanı”)

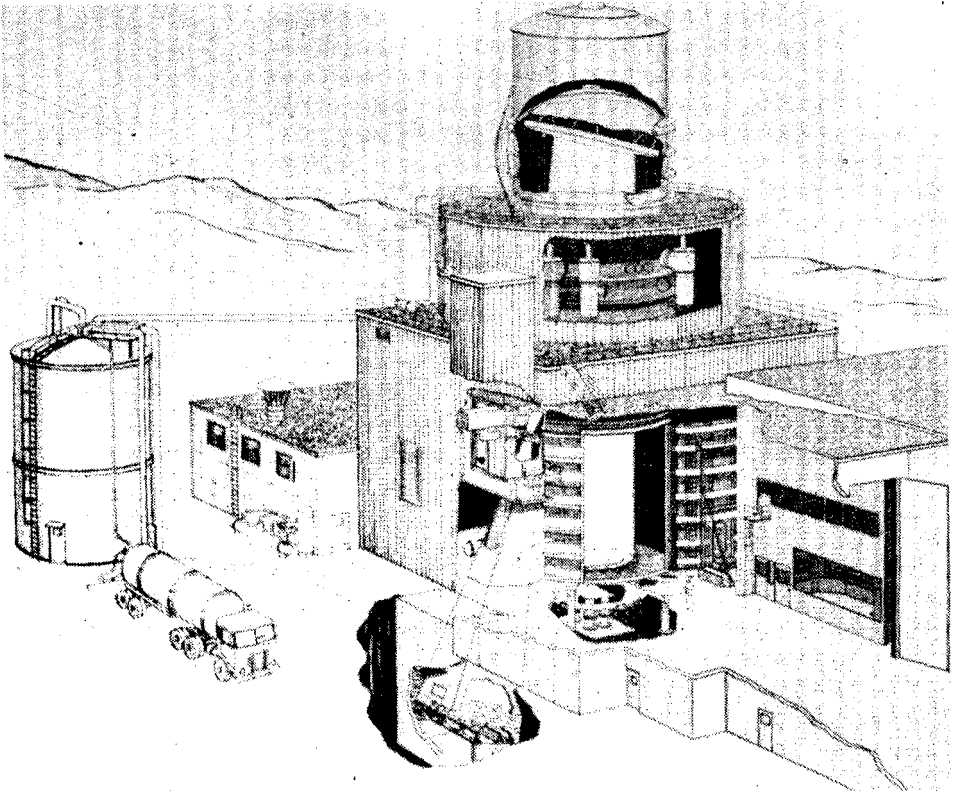
olarak bilinen bir sayıyla ve cisimlerin sıcaklıklarının dördüncü katları arasındaki farkla doğru orantılıdır, ve bu değerlerin çarpılmasıyla hesaplanır. Şekil katsayısı, diğerine çarpan cisimden birim zamanda çıkan toplam ışıınım enerjisinin kesiridir. Ne yazık ki gerçek cisimler “siyah” değildir. İçerdikleri yüzey karakteristiklerine ve ısıma frekansına bağlı olarak farklı düzeylerde enerji yayar ve emerler; ayrıca yansıtırlar da.

Aldığım derslerde bu ilişkileri, genellikle birkaç basitleştirilmiş cisim içeren (hem siyah hem de bazı düz gri cisimler) problemlere uyguluyorduk. Eğer ilişkilerde bazı düzeltmeler yapılması gerekiyorsa bu, bize söyleniyordu. Hatta sıcaklıkların kontrolüyle ilgili birkaç deneyimim de olmuştu. Ama bu deneyim, her zaman, ısı enerjisini havaya aktaran motorlarla ve elektronik cihazlarla ilgili oluyordu. Enerji, aktarıldıktan sonra sıcak hava olarak yukarı doğru yükseliyordu ve yerini temiz soğuk havaya bırakıyordu.

Mürettebatsız uzay gemisi tasarlayan kişiler, ısı transferi için akışkanlara güvenmeyi tercih etmezler. Çünkü sıcaklık kontrolü için gemilerle birlikte uzaya götürülen akışkanlar, sızıntı nedeniyle yitirilebilirler ve uzayda da hiç akışkan yoktur. Mürettebatsız uzay gemisi atmosferi geçtikten sonra, ısı transferi, iletim ve ısıma aracılığıyla gerçekleştirilir. Bazı sıcaklık kontrolleri ise, bimetal olarak denetlenen hava delikleri, iletim anahtarları ve bunlara benzer diğer mekanizmalar aracılığıyla aktif olarak yapılır. Ancak, mekanizmalar ağırdır ve başarısızlığa uğrama olasılıkları vardır. Güvenilirlik yararına sıcaklığın kontrol edilmesinde, parçaların yüzey cilasına, iletim kanallarına ve gerekli olduğu durumlarda da güneş ışınlarının perdelemesine başvurulması tercih edilebilir. Bu oldukça kolaydır. Uzay boşluğunda yeryüzünün güneşe uzaklığı kadar olan bir mesafede ince altın bir plaka, güneş ışınlarına karşı dikey doğrultuda tutulacak olursa, yaklaşık 405° F’de dengede kalacaktır. Çünkü altın, kısa dalga boyunda (güneşten) enerji emerken, uzun dalga boyunda (kızılötesi) enerji yaymaz. Bu nedenle de ısınır. Ama levha beyaza boyanmış olsaydı, sıcaklığı -18° F’a düşerdi. Çünkü beyaz boya, uzun dalga boyunda enerji yaymaktan hoşlanır; ama kısa dalga boyunda enerji emilmesinden pek haz etmez.

Yazık ki, üzerinde çalışmakta olduğum uzay gemisi, aldığım derslerdeki cisimlerden çok farklıydı. Siyah yerine parlak yüzeylere sahip yüzlerce nesneden ve şekil katsayıları hatasız biçimde hesaplanamayacak türde düzensiz şekil ve yönelimlerden oluşuyordu. Ayrıca, iletkenlikleri tahmin edilemeyecek binlerce bağlantı içeriyordu. Jet İtki Laboratuvarında çalışmaya başladığımda, bilgisayarlar bugün olduğu gibi her köşebaşında bulabileceğiniz şeyler değillerdi. Bunun yanında sözü geçen bütün bu nicelikleri tanımlayabildiğimizde bile, gerekli hesaplamaların yapılması pahalı ve yorucu oluyordu.

Deneyssel yaklaşımlar zaman kazandırıcı olmuştu. Örneğin bazı mühendisler, önerilen uzay gemisi modellerinin şekil katsayılarını daha çabuk hesaplayabilmek için şekil katsayısı adını verdikleri küçük bir cihaz icat ettiler. Bu, yüzeyi parlatılmış küçük bir metal yarıküre idi ve tepesinde izdüşüm sağlayan bir mil vardı. Öylesine bir şekilde oyulmuştu ki, aleti modelin ilgili bir noktasına yerleştirip, mil boyunca yarıküreyi gözleyerek ve uzay gemisinin diğer herhangi bir parçasının görüntüsüyle kaplanan kareleri sayarak şekil faktörleri saptanabiliyordu. Müthiş bir yardım. Deneye başka bir örnek verelim. Uzay gemisinin tamamının, gerçek büyüklükteki bir sıcaklık-kontrol modeli üretildi. Bu model, ısı transferi bakımından gerçek bir sıcaklık-kontrol sisteminin tıpatıp aynısıydı. Yapısal parçalar, tam da sahip olmaları gereken yüzey cilalarına sahiptiler. Elektronik güç, akım taşıyan elektrik iletkenleriyle ısı sağlanarak üretiliyordu, ve güneş panellerinin etkileri, simülasyon aracılığıyla yaratılıyordu. Bu model, simülasyon aracılığıyla güneş ışığı, soğuk ışıma özellikleri ve uzay boşluğu etkileri yaratılan bir odada test ediliyordu. Yan sayfada, şu anki Jet İtki Laboratuvarı uzay simulatörüne ait bir kesitin resmini görüyorsunuz. Bu simulatör, 8,23 m çapında ve 25,9 m yüksekliğinde, paslanmaz çelikten yapılmış silindirik bir kaptan oluşuyor. İçindeki hava ise, uzay boşluğu etkisi yaratma amacıyla boşaltılabiliyor. Bu simulatörün duvarları ve tabanı, (simülasyon yoluyla uzayın ısınım kaybı etkisinin yaratılması için) -320° F ile (simülasyon aracılığıyla gezegensel bir cismin etkisinin yaratılması için) +200° F arasında kontrol edilebilen kriyojenik örtülerle kaplanmıştı. En üstteki ise, paralel ışınlar sağlama yeteneğine



Caltech Jet İtki Laboratuvarı uzay simalatörü

sahip bir solar simulasyon birimidir. Bu paralel ışınlar, dünyaya ulaşan güneş ışınımı miktarının on iki kat fazlasına kadar çıkartılabilmektedir.

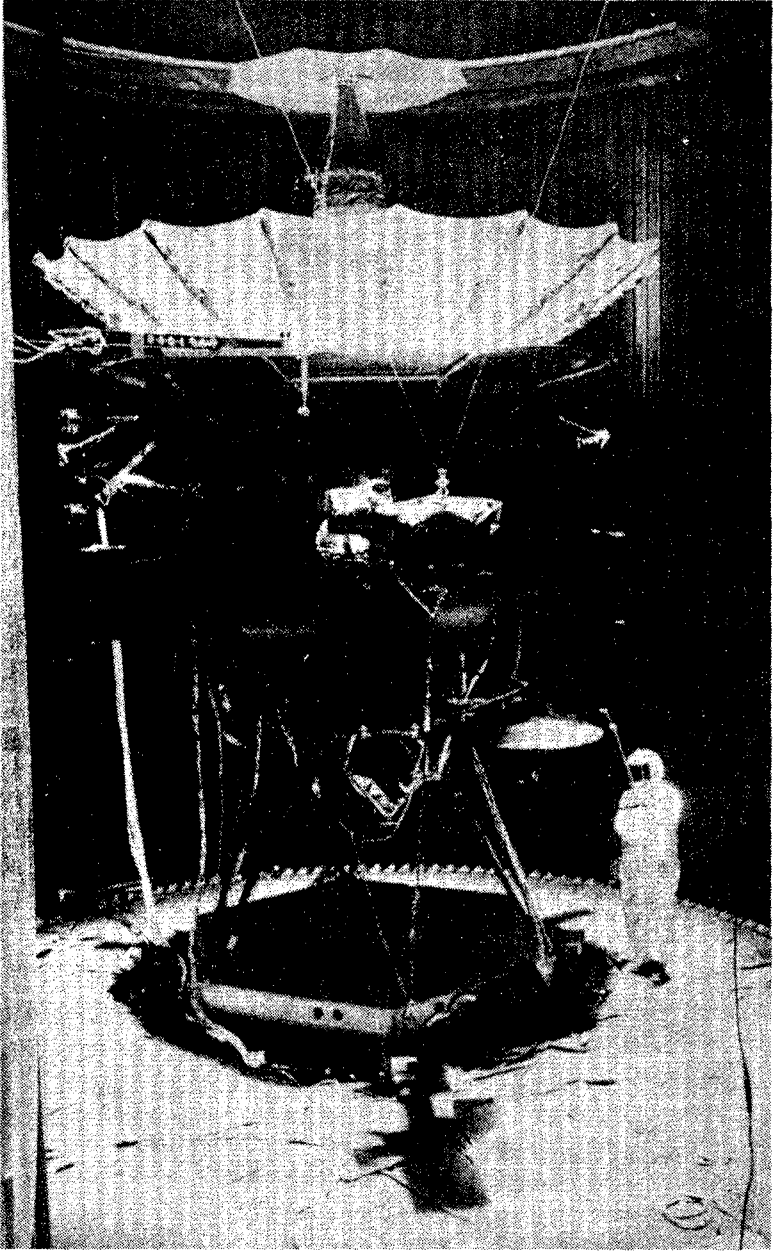
Arka sayfadaki resimde, simulasyon bölmesinin içerisindeki Galileo uzay gemisinin bir bölümünü görüyorsunuz. Galileo uzay gemisinin misyonu, Jüpiteri ve uydularını ayrıntılı biçimde keşfetmektir. Bu uzay gemisi, 1989'da uzaya fırlatıldı. Gezegenlerin yerçekimlerinden faydalanarak hız kazanması için Venüs'ün yanından bir, Yeryüzünün yanından da iki kez geçmesi planlanmıştı. Gemi, 1995'te Jüpiter'e ulaşacak ve gezegene yaklaşırken bir giriş aracı fırlatacak. Da-

ha sonra, gezegenin yörüngesine girecek ve öncelikle giriş aracından alınan verileri denetleyecek. Bundan sonra da, gezegen ve uydularından veri toplayacak.

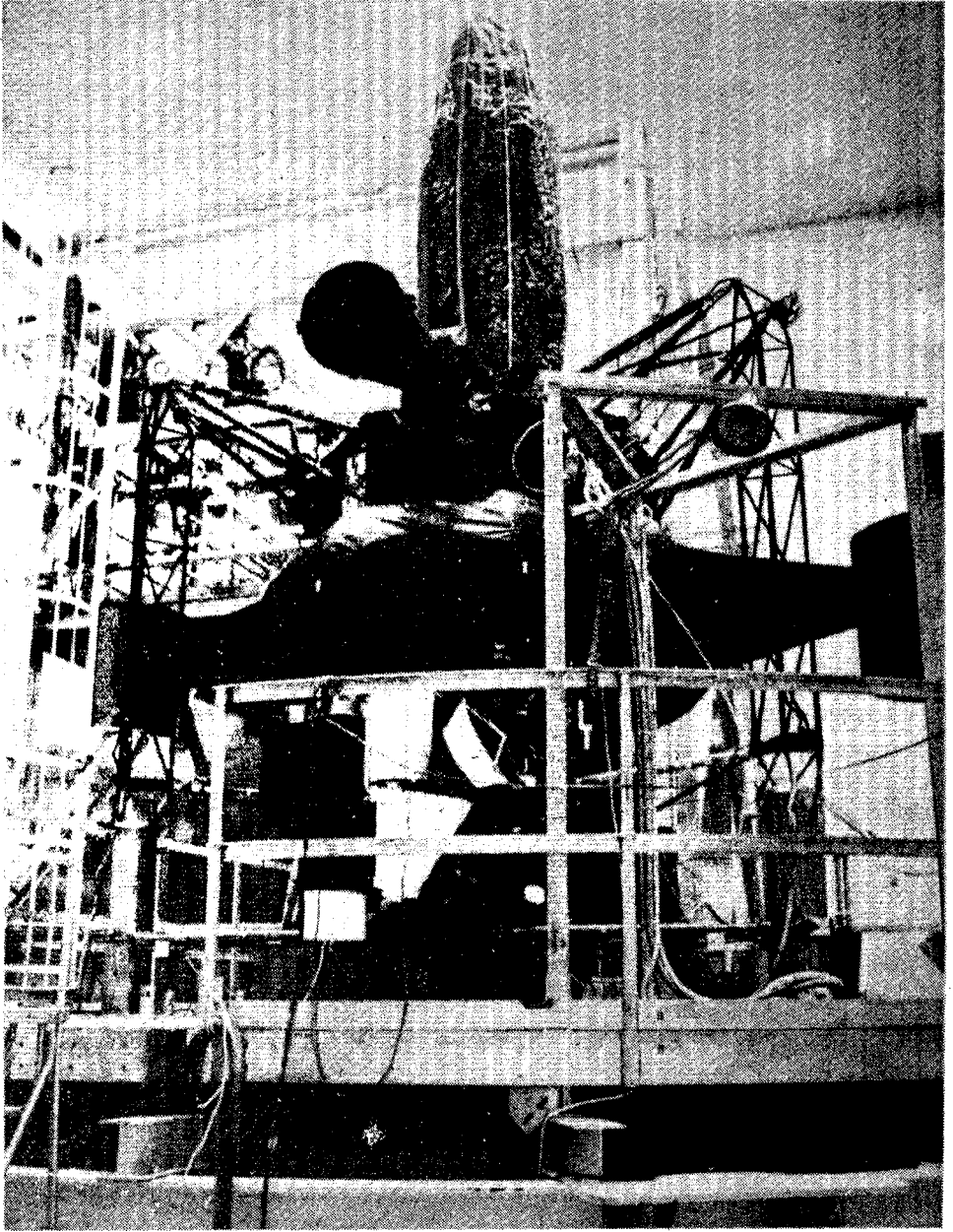
Birçok uzay gemisi yapıldıktan sonra, Jet İtke Laboratuvarı mühendisleri, tereddütlere ilişkin daha iyi bir anlayış ve daha muhafazakar tasarım yaklaşımları geliştirdiler. Bilgisayarlar, çok sayıda cismi çözümleyebilirler. Eğer cisimlerin her birinin geometrisini tanıyorlarsa, bütün şekil katsayılarını hesaplayabilirler. Bu özellikleri sayesinde, şekil katsayısı gibi aletlerin pabucunu dama atmışlardır. Ama ne yazık ki, bütün cisimlerin yüzey cilalarına, cisimler arasındaki iletim kanallarına ve bu tür diğer fiziksel parametrelere ilişkin bilgi, asla eksiksiz olarak elde edilemez. Eğer cisimlerin sayısı fazlaysa, kuram ve gerçeklik arasındaki farklılıklar tuhaf biçimlerde sonuçlanır. Test işlemi gereklidir ve hâlâ uygulanmaktadır. Sistemin parçalarına ve bütün sistemin neredeyse eksiksiz modellerine ilişkin olarak yapılan testlere güvenilebilir. Ama fiziksel davranışın, yeterli düzeyde tahmin edilebilmesi için hem teste hem de kurama ihtiyaç duyulur.

Büyük bir hevesle havacılık mühendisliği yapmaya kalkıştığım da, aldığım eğitimin giderdiği tek eksikliğin, sıcaklık kontrolü olmadığını fark etmiştim. Statik yapısal davranışla ilgili yeterince çalışma yapmıştım. Ama dinamik davranış hakkında çok az şey biliyordum. Bu yüzden, bir kez daha basit modellerle uğraşmak zorunda kaldım. Bir uzay gemisinin içinde bulunduğu en zorlu ortam, fırlatılma esnasında oluşuyordu. İvmeyle birleşmiş, şiddetli ve çok değişken bir titreşim, tasarlanabilecek bütün doğru dürüst yalıtım sistemlerini bozmaya yeterlidir. Bu titreşim, uzay gemisinin bütün parçalarının eksiksiz bir rezonansa ulaşmasına yetecek kadar uzun sürer. Belki de olabilecek en kötü şey budur. Çünkü yapısal birimler, rezonans süresince girdinin hareketiyle birçok kereler karşılaşır. Bu, yer sarsıntılarında görülen bir durumdur. Böyle bir durumda, depremin frekansına “akortlu” yapıların başı derttedir.

Karmaşıklık, bir kez daha kurama baskın çıkmıştır ve gerçekliğin hesaba katılması için deney yapılması bir kez daha gerekli olmuştur. Arka sayfadaki resimde, titreşim testinden geçirilen Galileo uzay gemisini görüyorsunuz.



Uzay simulasyon odasında bulunan Galileo uzay gemisi.



Galileo uzay gemisi titreşim testinde.

Uzay gemisinin önemli bölümlerine hızölçerler takılır. Uzay gemisi bu haliyle, bir sarsma masasına monte edilir. Çok geniş bir yüzey olan bu masa, dev bir hoparlöre benzeyen bir kuvvetlendiriciyle (amplifikatör) çalıştırılır. JPL'nın vibrasyon birimi, 192 kilowatt'lık bir kuvvetlendiriciye sahiptir. Bu kuvvetlendirici, saniyede 5 ile 3,000 devir (Hertz) arasında değişen bir frekansta çalışma kapasitesine sahiptir. Meraklıysanız, bu amplifikatörü müzik dinleme amacıyla kullanabileceğinizi belirteyim. İstenilen titreşimin ses kayıtları, doğrudan donanıma "çalınır" ve veriler, hem hızölçerler hem de elektronik flaşla çekilen filmler aracılığıyla alınır. Bu filmler, hareketi yavaşlatacak ve görsel çözümlemeye olanak tanınacak biçimde senkronlanmıştır. Karşımıza bir kez daha pahalı bir uygulama çıktı; ama bu, gerekli. Çünkü donanımın karmaşıklığı, donanım davranışının kuram temelinde tahmin edilme kapasitesini aşıyor.

Üretim sırasında gerçekleştirilen mühendislik etkinliklerinde, deney yapmayı tercih edenler ile kuram üzerinde uzmanlaşanlar arasında genellikle anlaşmazlık çıkar. Buna bir örnek verelim. Geçmiş yıllarda, oldukça kısıtlı bir program kapsamında uzay gemisi üretmeye çalışıyorduk. Uzay gemisini deneme sürecinde normalden büyük titreşimler olduğu saptanmıştı. Deneme işlemini yapan mühendisler, sorunlu alana daha fazla sönüm konulmasını istediler. Çünkü sönüm, rezonans hareketlerinin genliğini azaltacaktı. Arabalarda amortisör bulunmasının nedeni de budur. Amortisör olmasaydı arabanız, bir tümseğe çarptıktan sonra durmaksızın yaylanacaktı, ve eğer arabanızı, bozuk bir yolda belirli bir hızla sürüyor olsaydınız, arabanız tehlikeli biçimde rezonansa girecekti. Amortisörler, istenmeyen devinimi "söndürürler". Deneye daha fazla güdülenmiş mühendislerden biri, tesadüfen bir araba delisiydi ve bir kaç tane basit, hafif-sıklet söndürücü (aralarında motor yağı bulunan eşmerkezli tüpler) tasarlamıştı. Bu söndürücüler, lokal hareketleri kontrol etme işini mükemmel bir şekilde başarıyorlardı. Ama yapısal analizciler, bu düzeneğe şiddetle karşı çıktılar. Çünkü analizcilerin bilgisayar programları, sönümün bütün yapı boyunca düzgün biçimde dağıtıldığını varsayıyordu. Kısa ve kısır bir politik mücadeleden sonra, söndürücüler denendi ve çalıştılar. Ne yazık ki, sahne arkasındaki yapı mühendislerinin ters lafları yüzünden

kutlanması güç bir zafer olmuştu bu. Bu olayda, kuramın başrahipleri, gerçekten de gerekli bir gelişmenin önünü kesmeye çalışmışlardı.

Kompleks bir ürünün geliştirilmesiyle ilgili deney biçiminin iyi bir örneği de, kusurlarının giderilmesi için bir sistemin doğruluğunun tespit edilmesi ve bu kusurların ayıklanmasıdır. Bu işlem, bilgisayar işinin ayrılmaz bir parçasıdır. Şimdiye dek farkına vardığımız kadarıyla, programcının ne denli iyi olduğu, hiç de önemli değildir. Çünkü karmaşık yazılım programları, her zaman hatalar içerir. Ama donanımın da, kendi sorunları vardır ve bunların bulunup giderilmesi gerekir. Aşağıdaki anektod, Tracey Kidder'ın *"Yeni Bir Makinanın Ruhu" (Soul of a New Machine)* adlı kitabından alınmıştır ve *Data General Corporation*'da bir bilgisayarın üretilmesiyle ilgilidir⁽¹⁾. "Pulcuk", geliştirme programının geç bir aşamasında saptanmıştı ve bu sorunun çözülmesi, mühendisliğin irrasyonel yönlerini zorunlu kılıyordu.

Ama Gallifrey, bugünkü öncü makine, o zamanlarda tam geliştirilememişti. En azılı arızaların hepsini de giderebiliyordu belki ama, bazen de kimi düşük seviyeli teşhislerde başarısızlığa uğruyordu. "Çalışkan çocuklar," çözümleyicileri yüzünden işten atılacaklarını anlayınca testi yeniden başlatacaklardı, ve bu sefer hata meydana gelmeyecekti.

"Bir pul."

Ama neredeydi?

6 Ekim'de Başkan yardımcısı Carl Carman, her zamanki gibi laboratuvara uğradı ve kendisine puldan bahsettiler. Carman, orta boylu, kırk yaşlarında, derisi güneşten yaranarak pembeleşmiş bir adamdı. Bu haliyle bir meleği andırıyordu ve esrarengiz bir şekilde gülümsüyordu.

ALU, Gallifrey'nin kasasının dışında genişleticinin üzerinde duruyordu. Gallifrey ise, düşük seviyeli bir programı çalıştırmakla meşguldü. Carman, "Hımmmmmm" diyerek bilgisayara doğru yürüdü ve mühendislerin korku dolu bakışları altında, ALU'nun gövdesini kenarlarından kavradı ve ALU'yu hızla sarstı. İşte tam o anda, Gallifrey çuvalladı.

Artık sorunun nerede olduğunu biliyorlardı. Görevli mühendisler (Guyer, Holberger ve Rasala) ertesi günün çoğunu, ALU'nun merkezindeki çipleri tutan bütün soketlerin yerini değiştirmekle geçirdiler. İşlerini bitirdiklerinde, pul sorunu tamamen ortadan kalkmıştı.

Holberger, "Bunu Carman başardı." diyerek konuşmasını şöyle sürdürdü: "Bilgisayara birkaç şaplak indirerek işleri berbat etmesini önledi."

Bir tasarımı "çalıştıktan" sonra bile, bütün gerekli koşulları yerine getirdiğinin garanti altına alınması amacıyla sürekli test yapılma-

sı gerekir. Bir keresinde, Edwards Hava Kuvvetleri Üssü'nde hava taşıtlarının uçuş denemelerine katılmıştım. Bu hava taşıtları, kendilerini üreten şirketler tarafından zaten test edilmişlerdi ve şimdi de Hava Kuvvetleri'nin performans testinden geçiyorlardı. Uçakların Edwards Üssü'nde denenmesinin bir nedeni, buradaki hava koşullarının uçuş açısından muhteşem olmasıydı. Mojavo Çölü'nün "uçulabilen gökyüzü"nden bahsederdik o yıllarda. Ancak, diğer bir nedende, üssün büyüklüğünün (120,000 hektarlık bir arazi üzerinde dağınık yerleşim alanları), önceki uçuş denemelerindeki riskleri kaldırmış olmasıydı. Biz biraz yaramaz teğmenler, "Burası uçakların denenmesi için müthiş bir yer; çünkü yere çakıldıklarını kimse göremez." diye dalga geçerdik. Orada bulunduğum süre içinde, çok gelişkin bir savaş uçağı prototipi diklemesine yere çakıldı; başka bir uçak sestten hızlı uçmayı başaramadı; ve bir keşif uçağının pilot kapsülünün bir ölüm tuzağı olduğu saptandı. İniş takımı sıkışıp açılmadı. Silahlardan kaynaklanan titreşimler, ateşleme sisteminin sönmesine neden oluyordu. Aerodinamik titreşme, olmaması gereken bir yerde gerçekleşti. Kontrol yanıtları, sürekli olarak denetleme ihtiyacını gösteriyor gibiydi. Testlerden bazıları, komikliğin sınırındaydı. Bir uçağın bir kuşa çarpması durumunda, bu uçağın ön camının ters yönlü etkilenmemesini garanti altına almak için yüksek hız pistinde gerçekleştirdiğimiz bir denemeyi hatırlıyorum da! Havada dolanıp kuşlara çarpmak kolay olmadığı için, ön cam da dahil olmak üzere hava taşıtının ön cephesinin bir maketi, roketle ittirilen bir kızak üzerinde pist boyunca hızla kaydırılmıştı. Pistin üzerinde bu test için uygun kuşların (dikkatle seçilen ve acı çekmeyen ölü kuşların) havada asılı gibi durmaları sağlanmıştı. En gözde mühendislik anılarımdan biri, kükreyerek hızlanan ve çöl boyunca zavallı ölü kuşlara çarpan bu devasa teknolojik yapıyla ilgilidir. Ama bugünlere gelene değin, bu uçağın birçok neslini görmüş olan bizler, bahsettiğim bu denemenin başarılı olmuş olmasına sevinmeliyiz (Bahsettiğim bu uçak, Boeing 707'nin prototipi olacak olan Boeing KC135'ti).

Test işlemi, ayrıca, ürünlerin ortam koşullarına karşı koyabileceklerinin, istenilen güvenilirliğe ve kullanım sürelerine sahip olduklarının garantilenmesi için de yapılır. Ortam koşullarının denenme-

si, oldukça karmaşık olabilir. Ordu teçhizatının karşılaşacağı ortam koşulları gerçekten de çok zordur. Hava taşıtları, Edwards Hava Üssü'ndeki uçuş denemeleri tamamlandıktan sonra, ortam koşullarının denenmesi için Florida'da bulunan Eglin Hava Üssü'ne gönderilirlerdi. Bu üs, simülasyon yoluyla istediğiniz (ya da asla istemeyeceğiniz) her türlü hava koşulu etkisini yaratabilen eksiksiz hangarlara sahipti. Uçaklar, buradaki testler aracılığıyla, yaz sıcaklarında çölde bir öğle vaktinden, kasırgalara ve kar fırtınalarına ve hatta Kuzey Kutbu'nda bir kış gece yarısına kadar değişen bütün hava koşullarına maruz tutulurlardı.

Tüketici beklentileri ve sorumluluklar arttıkça, güvenilirlik ve kullanım süresi (ya da ürünün ömrü) de giderek daha çok önem kazanır. Kullanım süresi testi, özellikle de yüksek güvenilirlik ve uzun kullanım süresi durumlarında içerilen niceliklere ve süreye bağlı olarak zorlaşır. Görev halkalarını ve ortam koşullarının şiddetini artırarak veya ürünün başarısızlığına yol açabilecek diğer faktörleri hafifleterek, kullanım süresi testinin hızlandırılması mümkündür. Buna karşın, test koşulları ve gerçeklik arasındaki ilişki hakkında varsayımlar yapılması zorunludur. Gerçek işleyiş koşullarının benzerlerini yaratmaktan kaçınmak ise genellikle imkansızdır. Tam anlamıyla araba delisi olan bir öğrencim, yaz tatilinde çalışabilmek için kendine en uygun işi bulduğunu düşünüyordu. İş, güvenilirlik ve kullanım süresinin ölçülmesi için bir test serisinde araba kullanmaktan ibaretti. Öğrencim, bu testler boyunca günde sekiz saat araba kullanamayacağını ve testlerin giderek hem zihnen (araba kullanarak hiç durmaksızın bir dairenin etrafında döndüğünüzü düşünün) hem de bedenen (engeller, çukurlar, toprak yollar, süspansiyon üzerindeki aşınmayı en çokça çıkartmak için ustaca hazırlanmış tümsekler) çok yıpratıcı olacağı gerçeğini hiç hesaba katmamıştı. Okula geri döndüğünde ise, kesinlikle bir araba delisine benzemiyordu.

Tasarım tamamlandıktan ve imalat süreci başladıktan hemen sonra imal edilen malzemelerin, belirtilere uygun olduklarının kanıtlanması için birçok test gerçekleştirilir. Bu testler, imal edilen parçaların hata payı sınırları içinde olduğunun garanti edilmesi için

yapılan basit denemelerden, yapımı tamamlanan hava taşıtının uçuş testine kadar değişebilir. Küçük parçaların imal edilme sürecinde, bu parçaların istenilen şekillerde olduğunun garantiye alınması amacıyla, standart ölçüm aletleri ve test cihazları kullanılır. Bu testlerde bazı parçalar veya ürünün tamamı denenebilir. Fazla sayıda parça söz konusu olduğundaysa, test işlemi genellikle otomatikleştirilir. Örneğin, tek bir yarı-iletken silikon parçası üzerinde birçok entegre devre oluşturulur. Her bir alet, 10 ile 500 arasında değişen kontak seri ayar kondansatörleri içermektedir. “Pul sondası” (*Wafer prober*) olarak bilinen bir makine, bu kondansatörlerin her birinin elektrik bağlantısını otomatik olarak yapar ve yarı-iletken silikon parçaların üzerindeki her bir mikrovevrenin elektrik performansını, yine otomatik olarak denetler. Makine, istenilen kontrol işlemlerini yapmak üzere programlanabilir ve kontak seri ayar kondansatörlerinin farklı konfigürasyonlarına ayarlanabilir.

Bu test biçimi, kalite kontrolü ve kalite garantisiyle ilgilenen endüstri mühendislerinin alanları içinde yer alır ve istatistik uygulaması gerektirir. Ürünün % 99'luk bir güvenilirlik içerdiğini söyleyebilmek için ne kadar süre içinde kaç tane ürün örneğinin test edilmesi gerekmektedir? Açıktır ki insanlar test işlemini gerekli olandan daha fazla yapmak istemezler; özellikle de parça, test sırasında zarar görüyorsa. Ama yine de, yeterli denemenin yapılması zorunludur. Ürün birkaç tane, hatta sadece bir tane imal edilecekse test işlemiyle ilgili olarak ne yapılır? (Uzay mekiği veya uzay teleskobunda olduğu gibi) Bunların hepsi de, matematiksel işleme uygun sorulardır. Gelgelelim, verilen yanıt, sonradan anlaşılabilirliği gibi, her zaman doğru olmayabilir. Kalite garantisi, yüksek kaliteli işlerin ortaya çıkarılabilmesi için insanların güdülenmesi gibi konulara eğilir. Yani, istatistiğin dışına çıkar. Üst düzey kaliteye ulaşılması, günümüzde Amerikan Birleşik Devletleri sanayilerinin evrensel amacı olmuştur. Deneme işleminin düzgün tasarlanması da, bu amacın ayrılmaz bir parçasıdır.

Ara ara şiddetlenen eski felsefi tartışmalardan biri de, oldukça kritik durumlarda kullanılacak ürünlerin test edilmesiyle ilgilidir. Örneğin, uçuşu gerçekleştirecek uzay gemisinin tâbi tutulacağı test-

lerin yoğunluğu ne olmalıdır? Bir düşünüş tarzına göre, elimizde aynı modelden fazla sayıda bulunuyorsa uygulanacak testin yoğun olması gerekmektedir. Ama uçuşu gerçekleştirecek model, daha hafif testlerden geçirilmelidir. Çünkü deneme yüzünden uzay gemisine hasar vermekten kaçınılması gerekir. Diğer düşünüş biçimiye, uçuş modellerinin kapsamlı olarak denenmeleri gerektiğini öne sürer. Çoğu mühendis, bu ikinci görüşe katılır. Ama nedense insanlar, içgüdülerini dinleyerek birinci görüşü benimserler.

Kapsamlı denemeyle ilgili etkin bir sav da, başarısızlığın niteliği hakkındadır. Parçaların çoğu, deneme aşamasında, yani beklenenden önce bozulmaktadır. Büyük bir olasılıkla imalat hataları, buna neden olmaktadır. Başlangıçta hata meydana gelme olasılığı azdır ve uzun bir süre de düşük kalır. Ama kullanım süresinin sonuna doğru parçaların bozulma olasılığı artmaktadır. Kapsamlı denemeyi savunanların iddiaları, işte bu noktayı vurgulamaktadır. Gerçekten de, yüksek güvenilirliğe sahip elektronik aletler genellikle teslimattan önce “yanıp kül olurlar.” Bu demektir ki aletler, ömürlerinin baharına ulaşmadan önce, ya normal test işlemlerinde ya da hızlandırılmış bir işlem düzeyinde hayata veda ediyorlar.

Test işlemi, gelişkin ürünler için ürünün kullanımı süresince sürdürülebilir. Bazı durumlarda gerçekleştirilen otomobilin emisyon (veya salım) tertibatına ilişkin düzenli test işlemlerini buna örnek gösterebiliriz. Hava taşıtı tertibatlarının düzenli olarak test edildiğini bilmekten mutluluk duyarsınız herhalde. Sözelimi, dizüstü bilgisayarınız kendi batarya yükünü kendisi test eder ve yükün düşük olması halinde bunu size bildirir. Bilgisayarınızı açtıktan sonra çalışması için bir süre beklemek zorunda olmanızın nedeni, kendisini test ediyor olması olabilir. Test işleminin önemli bir bölümü, eski basit hataların veya en azından geçmiş düşünüldüğünde hata gibi görünen şeylerin saptanması amacıyla gerçekleştirilir. Basın ve medya, kazaların nedenleri saptandıktan sonra bize, bu tür şeylerden bahsetmeyi çok sever. Çoğu mühendis, test aracılığıyla hataları, basından önce bulmayı tercih eder. Bütün bu testler yapıldıktan sonra bile, hatalar meydana gelir. Arabanızın motoru stop eder; bu laşık makineniz suyu içeri almaz veya dışarı atmaz; uçaklar parçala-

nır; binalar yıkılır; ve nükleer santraller radyoaktif maddeler yayar. Niçin böyle olur? Projeler genişleyip potansiyel olarak daha fazla zarar verici oldukça ve kamuoyunun beklentileri arttıkça bu soru da, giderek önem kazanıyor. Başarısızlığın hukuksal ve toplumsal boyutlarını 10. Bölümde ele alacağız. Ama şimdi, teknik boyutun üzerinde biraz daha duralım.

Mühendisliğin içerdiği bir ironi de şudur: İlerleme, mutlak surette başarısızlık içermektedir. Mühendisler, başarılı olduğu kanıtlanmış eski projelerin benzerlerini gerçekleştirerek başarısızlığı önleyeceklerini düşünebilirlerdi belki de. Ama gerçekte durum böyle değildir. Çünkü ortama, malzemeye, üretim sürecine ve kullanıma özgü farklılıklar, projeye yeni bilinmeyenler ekleyecektir. Ayrıca, kendimizi eski projelerle sınırlandırmış olsaydık yiyeceğimiz hayvanları hâlâ taş kullanarak öldürüyor olacaktık.

Başarısızlık meydana geldiğinde, genellikle her şeyden önce sorunun kaynağı belirlenir. Herşey olup bittikten ve birşeylerin önemi sonradan anlaşılınca da, çoğunlukla sorunun tasarım ve geliştirme sürecinde farkedilmiş olması gerektiği düşünülür. Bu başarısızlıklar, bazen tasarımcıların ve işleri denetleyen kişilerin, bir komplikasyon üzerinde düşünmemiş olmaları, bazen de bir hatayı saptayamamış olmaları nedeniyle meydana gelir. Bazen de iş kararları, gerekli ayrıntı düzeyinde çalışılması açısından yeterli zaman ve kaynağa olanak vermez. Ama başarısızlık olasılığının belirli olduğu durumlarda, başarısızlığın nedeninin saptanması için veya başarısızlığın meydana gelemeyeceği bir tasarım yapmak için sarfedilecek çaba ya da harcama, aşırıya kaçır. Sözgelimi, başarısızlığın nedeni, yapısal bir birimdeki çatlak olsaydı, daha az zararlı çatlakların incelenmesine neler dahil edilecekti? Eğer nükleer bir reaktörde güç seviyesinin otomatik olarak azaltılması işi, elle yapılmaya kalkışılseydi, böyle bir girişimin etkisiz kılınması için neler yapılması gerekcekti? Demek ki, gerekli olan çabalar bazen bir ürünün imal edilmesini önlenmeye yönelik olabilir.

Kişinin içgüdüleri, genellikle çok miktarda yedek parça üretilmesi gerektiğini söyler. Öyle ki, önemli parçaların başarısız olması durumunda bu yedekler kullanılabilirdi. Ama kişi çok geçmeden

fark eder ki, gerekli deteksiyon ve şalter mekanizması, sisteme güvenilirlikten çok güvenilmezlik katmaktadır. Hava taşıtlarının, görece düşük emniyet faktörleriyle tasarlanmaları gerekir; yoksa uçamayabilirler. Kaza geçirdiğinde parçalanmayacak bir uçak asla düşünülemez. Ayrıca, bazı fiziksel olgular oldukça inceliklidir. Bunun en iyi örneklerinden biri de, parçalara has bir sorun olan dayanıklılığın zamanla kaybedilmesidir. Esneyen yapısal parçalar veya döner şaftlar gibi parçaların, büyük miktarlarda yükleme devirlerine karşı dayanıklı olması gerekir. Dayanıklılığın kaybedilmesi veya aşınmaya bağlı bir kusur, bir parçanın şeklindeki bir eksiklik veya aşırı derecede şiddetli bir basınç, çok ufak bir çatlağın oluşmasına neden olabilir. Ardışık yük dizileri, çatlağın büyümesine neden olacaktır. Bu da, sağlam malzemenin yük taşıyamayacağı bir noktaya ulaşmasına değin sürecektir. Bu nokta ise, yapının yıkılacağı, yani başarısızlığın ortaya çıkacağı an olacaktır. Çatlayan bölüm genellikle yüzeylerin sürtünmeleri yüzünden pürüzsüz bir görünüme sahiptir. En son çatlayan yüzey ise, çoğunlukla zerrecikli bir yapı sergiler. Bu nedenle de, pürüzlü bir dokuya sahiptir. Büyükbabam ve arkadaşları, hatalı bir inanışla (ki birçok insan arasında hâlâ kabul görüyor) bu tür bir aşınmayı kristalleşme olarak adlandırırlardı. Bu pürütlü doku, her nasılsa, metalin daha ince kristalimsi bir yapıya dönüşmüş olduğu anlamına geliyordu. Çok gelişkin sistemlerde ise, özel sorunlar açığa çıkar. Uzay Mekiği *Challenger*'ın patlamasını buna örnek gösterebiliriz. Bu patlama, büyülenmiş bir şekilde dehşetle televizyon ekranına yapışıp kalmamıza ve uzay aracıyla mürettebatının yok oluşunu tekrar tekrar izlememize neden olmuştu. Mekik, olağanüstü düzeyde gelişkin bir teknoloji harikasıydı ve fazlasıyla karmaşıktı. Mekiğin tasarımında, yeryüzü atmosferine geri dönüş boyunca ana aracı koruyacak yalıtım yüzeyleri ve muhafaza edilebilir katı yakıt tanklı destekleyici roketler gibi daha önce hiç kullanılmamış birçok özelliğinden yararlanılmıştı. Mekiğin geliştirilmesinde ve son şeklinin denemesinde de, birçok test yapılmıştı.

Bahtsız *Challenger* havalandığı sırada halk, hükümet yetkilileri ve Mekik programında çalışan görevliler, Mekiğin güvenliğinden hiçbir kuşku duymamışlardı. Bu bir hataydı; çünkü patlayıcı madde do-

lu tankların, uzun bir süre için mekikle birlikte uzaya yollanması normal bir uygulama değildi. Yine de, insanların verdiği, normal bir tepkiydi. Çünkü duyulan güven öyle bir noktaya ulaşmıştı ki, Mekiğe bu iş için yetiştirilmemiş kişiler de alınarak durum bir çeşit gösteriye çevrilmişti. Oysa bu görev, mürettebatsız destekleyici roketlerle çok daha emniyetli biçimde tamamlanabilirdi.

Kısmen de olsa bu nedenle, patlama ülkeyi allak bullak etmiş ve dehşete düşürmüştü. Bizzat kişisel olarak derin bir endişe duyan Amerikan Birleşik Devletleri Başkanı, Mekik programında yer almayan, üstün nitelikli insanlardan oluşan bir komisyonu görevlendirerek kazanın nedenlerinin araştırılmasını istedi. Kazanın ayrıntılı gerekçesi, şaşırtıcı bir hızla diğer nedenlerden ayıklandı. Destekleyici roketlerden birinin arka ucundaki bir bağlantı parçasının işlevini yerine getirmemesi sonucu, Mekiğin sağ bölümündeki katı yakıt tankı patlamış ve kaza meydana gelmişti. Bu parça, uçuş öncesinde mühendisler arasında tartışma konusu olmuştu. Bağlantı vazifesi gören parça, sızıntı hattında iki O-halkası içeren metal bir bağdan oluşuyordu. O-halkaları (dairesel kesitli yuvarlak halkalar), yağda kızarmış ortası delikli yuvarlak çöreklerle benzerler, ve sestten hızlı uçuşlarda taşıtın içindeki havayı yeterli basınçta tutmaya yarayan basınçlı bir akışkan içermek zorunda olan silindirik bağlantılardaki dairesel deliklerde bulunurlar. Akışkan, sızmaya çalışırken bağlantının boşluklarını doldurmak için O-halkasının şeklini bozar. O-halkaları esnek oldukları için, bağlantıdaki küçük şekil bozukluklarını ve küçük devinimleri telafi edebilirler. O-halkalarıyla mutfağınızda veya banyonuzdaki musluk tertibatlarında ya da yakınınızdaki bir hırdavatçı dükkanında karşılaşabilirsiniz.

Ne yazık ki, O-halkalarının önemli esneklik özellikleri, sıcaklıklarına bağlıdır. Uçuş günü ise beklenmedik biçimde soğuktu. Uçuşun gerçekleştirileceği sabah, Mekiğin hareket sahasında buz bulunmuştu ve mekiğin fırlatılması esnasında hava sıcaklığı 36 dereceydi (yaklaşık 2° C'dir). Bu sıcaklık, o zamana kadar gerçekleştirilen fırlatmalardan en düşük sıcaklıkta olanından bile 15 derece daha soğuktu. O-halkalarının sıcaklığa bağımlı oluşu, yakıt tanklarının geliştirilmesi boyunca mühendisleri kaygılandıran bir konu olmuş-

tu. Mühendisler, bu konuyla ilgili olarak şirket yöneticileri ve NASA yetkilileriyle görüşmüşlerdi. Aslında, mühendislerden biri, havanın soğuk olması nedeniyle *Challenger*'ın fırlatılma gününü ertletmeye çalışmıştı ama başarısız olmuştu.

Çekilen fotoğrafların analizi, patlama nedenini doğruladı. Fırlatılmanın ilk birkaç saniyesi boyunca, yakıt tankı kapaklarının bir bölümünden, o noktadaki yapının titreşimine uygun bir sıklıkta siyah dumanların çıktığı görülmüyordu. Dumanın rengi, motor yağının ve O-halkasının yandığının belirtisiydi. Püfürtüler ise, metal bağlantının fırlatma dinamikleri boyunca belli belirsiz açılıp kapanmalarına bağlı bir sızıntıyı işaret ediyordu. Fırlatmadan yalnızca bir dakika sonra, aynı noktada tüy gibi savrulan bir alev belirdi. Alev, önce ana yakıt tankına (hidrojen ve oksijen), sonra da katı yakıt tankını Mekiğin ana gövdesine bağlayan arka desteğe doğru yöneldi. Aynı esnada, katı yakıt tankındaki iç basınç düştü ve büyük bir sızıntı meydana geldi.

Birkaç saniye sonra, çıkan alevin rengi birdenbire değişti. Bu, hidrojenin alevle birleşmesiyle birlikte ana tankın patladığını gösteriyordu. Mekiğin fırlatılmasından yaklaşık 72 saniye sonra, katı yakıt tankını Mekiğe bağlayan arka destek koptu ve katı yakıt tankının ön destek etrafında dönmesine yol açtı. Bir saniye sonra, hidrojen tankının bütün arka kapağı, tankın içindeki sıvı hidrojeni salıvererek ve 2,8 milyon *pound*'luk bir itme gücü yaratarak (ki bu güç tanktan arta kalanı oksijen tankına doğru itti) koptu ve aşağıya düştü. Hemen hemen aynı sırada, boşlukta dönmekte olan katı yakıt tankı, oksijen tankının dibine çarptı. Patlama o an gerçekleşti. Sorun yaratan durum, ortam koşulları açısından kesinlikle yetersiz kalan bir bağlantı tasarımıydı. Ama tasarım mı yetersizdi yoksa fırlatılmaya ilişkin ortam koşulları mı aşırı ölçüde riskliydi? Neden başlangıçtaki endişelerin ya da fırlatılma gününde bildirilen kaygıların hiçbirisi önemsenmemişti? Komisyon, zamanının çoğunu bu tür sorulara cevap aramakla geçirdi. Mekiğin tasarımına ve yapımına çok sayıda kişi ve kuruluş katılmıştı. Bunların hepsi de, Mekiğin bakımında ve çalıştırılmasında görev almışlardı. Kararlar hiyerarşik olarak verilmişti. Her bir aşamada, belirli sorunların dikkate alınıp alınmaması gerektiğine ilişkin olarak yargılarda bulunulmuştu. Üstünlüğümüzü

herkesten önce yörüngeye yerleştirmek amacıyla, Mekiğın fırlatma programının hiçbir şekilde aksamaması yönünde yoğun bir baskı yaşanıyordu. Komisyonun bulgularından sadece biri, gelişkin ve yeterli bir bağılantı parçası tasarımı yapılmış olması gerektiğini vurguluyordu. Diğeri bulgular ise şunlardı: NASA Merkezlerindeki çıkar çatışmalarının önlenmesi amacıyla Mekik programının daha merkezi bir yönetimle idare edilmesi gerekiyordu: Uçuş güvenlik sorunlarıyla ilgili bütün bilgilerin değerlendirilmesi için daha iyi bir iletişim ağına ihtiyaç duyuluyordu: İdareye doğrudan rapor veren bir NASA güvenlik kurulu oluşturulması gerekiyordu: Roket fırlatma programlarında bir güvenlik ve sağlamlık politikasının geliştirilmesi zorunluydu: Ayrıca önemli parçaların bakımı son derece ciddi bir konuydu. Komisyon, diğeri önemli mekik alt sistemlerine ilişkin bir güvenlik kontrolü oluşturulmasını, fırlatmanın başarsızlığa uğraması durumunda mürettebatın kurtarılması için bir önlem alınmasını ve roket fırlatma özelliklerinde geliştirilmeler yapılmasını önerdi⁽²⁾. *Challenger* faciasıyla bağlantılı bütün mühendisler ve yöneticiler, ya başka görevlere atandılar ya da emekliye ayrılmaya zorlandılar. Ama, hiçbir, patlamadan kişisel olarak sorumlu tutulmadı. Bağlantı parçası araştırılmıştı; ama bu, kuruluşa ait bir sorunun belirtisiydi. Eşi benzeri görülmemiş bir mühendislik çabasında çok şeye ihtiyaç duyulur. Çok fazla sayıda insanı ve kuruluşu bütünleştirmenin zorluğu, hırslı bir programla karşi karşiya kalınması ve bu arada soğuk O-halkaları gibi binlerce ayrıntının izinin sürdürölmesi, sınırsız bir çaba gerektirir.

Başarsızlığın bazı nedenleri, herşey olup bittikten sonra aptalca nedenler olarak görölür. Ancak, uzmanlaşmamıza, deneyimimize ve güçlü araçlara ulaşabilmemize karşın, insanların davranışlarını nasıl tahmin edeceğimizi veya eksiksiz olarak nasıl kontrol edeceğimizi bilemeyiz. Bunlar kesin olarak bilinebilecek şeyler değildir. İnsanlar her zaman hata yapabilirler. İyi mühendisler, “insanlarca tecrübe edilmiş” ürünler tasarlamaya çalışırlar. Ancak, geçmişe bakıp da başarsızlıklar gözden geçirildiğinde insanların, teknolojinin ürünlerini parçalama konusunda insanların ne denli yaratıcı olduklarını görüp de şaşırmamak elde değil! Üstlendiğim ilk tasarım işi,

bir freze makinesinin emniyetinin artırılmasıyla ilgiliydi. Bu makine, özel bir alüminyum parçanın üretiminde kullanılacaktı ve normalden yüksek bir hızla çalıştırılması isteniyordu. Kesme hızı öylesine yüksek ve alüminyum öylesine yumuşaktı ki makinenin, parçaları keserken çıkardığı ses, üretim alanının gürültülü ortamında neredeyse hiç duyulmuyordu. Daha da kötüsü, rotasyon hızı yüzünden kesicinin dişleri bile görülemiyordu. Makinenin çalıştırılması, sürekli tekrarlanan sıkıcı bir işti. Operatörün, tutma aracına parça yüklemesini ve sonra da kesicinin parça boyunca hareket etmesini sağlamak için bir düğmeye basması gerekiyordu. Bütün bu özellikler, oldukça tehlikeli bir duruma yol açıyordu.

Kesin çözüm olarak düşündüğüm şeyi tasarladım. Makineye eskisinden büyük, yeni bir düğme daha ekledim. Döngünün başlamasından önce, ayrıca bu düğmeye de basılması gerekiyordu. Varsayımım doğal olarak şu olmuştu: Eğer kesici çalışmaya başladığında operatörün her iki eli de düğmelerin üzerinde bulunursa, tehlike önlenmiş olacaktı. Makinelerin değiştirilmesinden kısa bir süre sonra bir kazanın meydana gelmesi beni hayrete düşürdü. Operatörler, eklediğim yeni düğmenin üstüne herhangi bir ağırlık koyup, döngüyü tek elle idare etmeyi ve diğer elleriyle de makineye parça yüklemeyi akıl etmişlerdi. Böylece, boşta kalan ellerini makineye kolayca kaptırabileceklerdi. Bunun üzerine, dikey yüzey üzerine yerleştirilmiş yeni bir düğme tasarladım, operatörlerin bu yeni düğmeye alışmaları tam bir saatlerini aldı. Ama, ağırlıklardan ve kazalardan kurtulmuş olduk. 1979 yılında Chicago'da O'Hare Hava Alanı'nda kalkış sırasında meydana gelen trajik DC-10 kazası, DC-10'ların uçuşunun neredeyse tamamen yasaklanmasına yol açan büyük bir kamuoyu tepkisine neden olmuştu. Kaza, motoru kanata bağlayan bir pilon hatası yüzünden olmuştu. Diğer DC-10 kazalarının araştırılması sonucunda, bütün DC-10'ların pilon bağlantı noktalarında çatlaklar olduğu görüldü. Neyse ki, o zamanlardan beri tutulan kayıtların da gösterdiği bir gerçek vardı: Muhteşem bir hava taşıtı olan DC-10 üzerine yapılan araştırmalar, mühendislerin tahmin etmemiş olduğu (muhtemelen de tahmin edemeyecekleri) bir bakım-onarım yönteminin çatlaklara neden olduğunu gösteriyordu. Bakım-onarım

işinden sorumlu ve motorları değiştirmekle görevli kişiler, çatallı istif olarak bilinen ve fazlasıyla kabaca tasarlanmış bir alet kullanıyorlardı. Suçlu bakım-onarım yönteminin meydana çıkartılması biraz zaman almıştı.

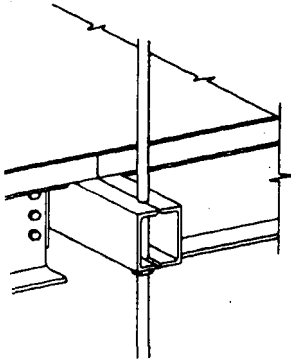
Bu yöntem, bakım ve onarımı üstlenen teknisyenlerin işlerini basitleştirmek için bulunmuştu. Ama tasarımcılara göre bu, bir tasarımı tecrübe eden insanların çektiği sıkıntıların açık bir örneğiydi. Başka bir örnek daha verelim. Uçak ve uzay gemisi teçhizatları için elektrik konnektörlerinin tasarımına öylesine titiz bir özen gösterilir ki sadece düzgün “erkek” ve “dişi” konnektörlerin montajına izin verilir. Büyük erkek konnektörlerin etrafında, silindirik bir kabuk vardır, ve bu kabuk, erkek konnektörlerin birbirleriyle temas etmelerini önlemenin yanı sıra, bağlantı pimlerini de korumaktadır. Ama hatırlıyorum da bir keresinde teknisyenlerden biri, üstün bir çaba göstererek birkaç yanlış bağlantı yapmayı başarmış ve çok pahalı bazı donanım aksamalarının çöpe atılmasına neden olmuştu. İnsanların davranış biçimleri hakkında bilgi toplamanın en iyi yolu, deneyden geçer; ama bundan sonra bile, beklenmedik şekilde şaşırmanız olasıdır. Donanımla ilgili başka bir olay daha hatırlıyorum. Uçuşu gerçekleştirecek uzay gemisinin donanım montajı, temizliği kontrol edilmiş bir ortamda yapılıyordu. Beyaz elbiseler giyen teknisyenler, maskeler ve şapkalar takıyorlardı. Çalışma bölümündeki hava öyle bir süzülüyordu ki milimetrenin milyonda birinden biraz daha büyük çapta parçacıklara rastlamak söz konusu olamazdı. Öyle birşeyle karşılaştık ki hayretten küçük dilimizi yutacaktık. Monte edilmekte olan teçhizatın parçalarından birinin içinde, çalışanların birinin öğle yemeğinden arta kalan domates çekirdekleri vardı.

Borçlar Hukuku, mühendislik sürecinde “mantıksal uygulamaya”ya uyulup uyulmadığını saptamaya yönelik değerli bir çabadır. Bu değeri daha iyi anlamak için hataya ilişkin başka bir olaya göz atalım. Sonuçtaki tepkiniz, “Böyle birşeyin olmaması gerekirdi.” şeklinde olacak. Ama mühendislik, insanları eşi benzeri görülmemiş şeyler yapmaya zorlayan bir meslektir; bunu sakın aklınızdan çıkarmayın.

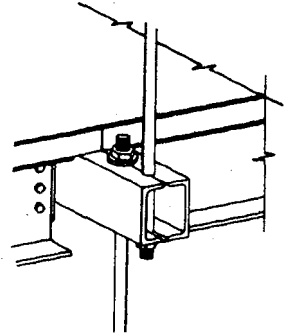
1981 yılında Kansas City’de bulunan Hyatt Otel’indeki biri diğ erinin üzerinden geçen iki asma geç it, çökerek otel lobisinin üzerine dü štü. Kaza, 114 kişinin ölmesine ve 200’den fazla insanın yaralanmasına neden oldu⁽³⁾. Bu iki asma geç idin özgün tasarımı, geç itlerin tavandan sarkan çubuklarla asılmalarını gerektirmiş ti. Geç itlerin her ikisi de, kişişler üzerinde inşa edileceklerdi ve kişişler de, sarkan çubukların üzerine vidalanacak somunlarla tutturulacaklardı. Bu çubuklar, her iki geç itte de kullanılabilecek kadar uzundu. Kaza sonrasında yapılan araştırmada öncelikle çubukların, yasanın öngördüğü ölçüde sağlam olmadıkları sonucuna ulaşıldı. Geç itlerin tasarımı geleneksel olmadığı için bu sonuç, tartışma götürür bir noktaydı belki. Ancak, bina yasalarının oldukça muhafazakar oldukları gözönünde bulundurulacak olursa, özgün tasarımın yükü taşıyabilecek biçimde düşünölmüş olması gerekirdi. Yükün kontrol edilebilmesi mümkün değ ildi; çünkü herhangi bir sayıda insan kalabalığı aynı anda geç itlerin üstünde dolaşabilirdi. Kazanın olduğu sırada da insanlar geç itlerin üzerinde dans ediyorlardı. Bu durum, aynı sayıda insanın ayakta hareketsiz durmasıyla kıyaslandığında yapısal açıdan daha hasar vericiydi. Özgün tasarımın, sınırları zorlayan uç bir örnek olmasına rağmen, böyle gerilimlere bile dayanıklı olması beklenirdi.

Ne var ki, özgün tasarım, yapım sırasında kimi kolaylıklar sağ lanması amacıyla değ iştirilmiş ti. Somunlar için çubukların üzerine yiv açılmasının detayları ve kişişleri tutacak rondelaların ayrıntıları, orijinal çizimlerde açıkça görölmüyordu. Ayrıca, çubuklar çok uzundu. Yani, bütün çubuk boyunca yiv açılması ve somunların istenilen noktalarda vidalanması zor olacaktı. Bunun yanı sıra, yürüyüş seviyelerinde kullanılacak çubukların daha büyük çaplı olması gerekmiş ti; çünkü böylece, fazlalık kısmında yiv açılabilmesi mümkün olacaktı. Ama, büyük çaplı çubukların imal edilmesi güçtü. İşte bu nedenlerle orijinal tasarım, yan sayfadaki şekilde göröldüğü biçimde değ iştirildi.

İki takım çubuk kullanıldı, her bir çubuk her iki ucundan da vidalandı. Çubuk gruplarından biri, üstte bulunacak geç idin tavana bağ lanması için kullanıldı. Diğ eri ise altta yer alan geç idi üsttekine



ÖZGÜN TASARIM



YAPILDIĞI GİBİ

Kansas City'deki Hyatt Hotel'in asma geçitlerinin tasarımında yapılan değişiklikler.

bağlıyordu. Bu uygulama, çubukların taşınmasını ve monte edilmelerini kolaylaştırdı. Bu yaklaşım yapısal olarak farklı mıdır? Öyleyse, nasıl farklıdır? Yanıt, farklı olduğudur. Gelgelelim, bunun niçin böyle olduğunu anlayabilmeleri için mühendislerin bile durup biraz düşünmeleri gerekir. Her iki durumda da çubukların üzerindeki yük aynıdır. Üst sırada yer alan çubuklar, her iki geçidin yükünü de taşırlarken, alt sıradakiler sadece alt geçidin yükünü taşıyorlar. Öte yandan, uyarlanan tasarımda üst sıradaki somun ve rondelaların yükleri iki kat daha fazladır. Özgün tasarımda ise, her sıradaki somun ve rondelalar, tek bir asma geçidi taşıyor. Değiştirilmiş tasarımda, somunların bir seti, altta bulunan asma geçidi taşıyor; ama diğer somun seti her iki geçidin yükünü de taşıyor.

Aslında kaza, cıvata ve rondelalardan birinin tutturulduğu kırıştan kurtulması sonucu meydana geldi. Bu durum, bitişik kırışteki yükün artmasına neden olduğu için aynı şey orada da meydana geldi. Bu durum, asma geçitler yıkılana dek sürdü. Asma geçitler inşa edilmeden önce biri, bu ayrıntının farkına varamaz mıydı? Varırdı elbet; ama bu boyutlardaki bir inşaat projesinin karmaşıklığıyla birlikte, kısa bir süre içinde çok sayıda ayrıntının ve yeni yaklaşımların ele alınması gerektiğini de göz önünde bulundurmalıyız. Şimdi geçmişe baktığımızda, bunun bir hata olduğunu görüyoruz. Anlaşılabilir

bir hata mıydı? Evet. Peki ya affedilebilir mi? Mahkemeler, affedilemez olduğuna karar verdiler; ama uzun ve karmaşık davalar sonunda⁽⁴⁾. 7 Aralık 1983'e gelindiğinde, 397 kişisel şikayet davası açılmış ve 80 milyon doları aşan miktarda para, mahkeme kararıyla el değiştirmişti (Ayrıca temyiz yoluyla 20 milyon dolar daha isteniyordu). Bununla beraber, iki yıl süren bir tetkik sonrasında bile cezai suçlar için yasal bir temel bulunamamıştır. İdari mahkemede davaya bakan bir yargıç, baş mühendisi ve patronunu ihmalkarlık sebebiyle suçlu buldu; ve bu kişiler işlerinden istifa etmek zorunda bırakıldılar. Daha sonra, çalışma ruhsatları eyalet tarafından iptal edildi. Ne var ki, suçlu bulunmalarının asıl nedeni, hatayı yapmış olmaları değil hatayı fark etmemiş olmalarıydı. Oldukça dikkatli sürdürülen soruşturma, tasarım değişikliği suçundan bir bireyin sorumlu tutulmasında asla başarılı olamadı. 1987 sonlarına gelindiğinde federal mahkeme, davayı sonuçlandırmaya çalışıyordu. Medya aracılığıyla haberdar olduğunuz diğer başarısızlıkları düşünün. *Hubble* Teloskobu ve teleskobun zayıf odaklanan aynaları örneğinde, harcamaların fazla olacağı gerekçesiyle işlem esnasında bulunan son montajla ilgili eksiksiz bir simulasyonun yapılmamasına karar verilmişti. Ancak, bu projede uzun bir süre boyunca birçok zeki insan çalışmıştı. Herşey olup bittikten sonra, sanki simulasyonun yapılması gerektiği yönünde bir inanış beliriyor. Peki ama, simulasyonun yapılmaması için verilen karar mı yanlıştı? Yoksa proje böylesine karmaşık olduğu için birşeylerin yanlış gitme olasılığı mı oldukça yüksekti?

Birkaç yıl önce haberlerde kamuoyunu meşgul eden eskiyen uçak gövdesi sorununa ne dersiniz? Dev yolcu uçaklarının çoğu artık eskidi. Modern hava taşıtları, daha yüksek hızlara, daha yüksek güvenilirliklere ve daha uzun kullanım sürelerine sahiptir. Ama bütün bu özellikler, yıpranma ve bozulmayla ilgili sorunların meydana gelmesini önlemeye yetmemiştir. Bir 707'nin veya bir DC-8'in gövdesi bir DC-3'ün gövdesinden daha çok çalışır. Bu, saptanmış bir sorundur. Hasarı onarmak ve önlemekle yükümlü bir uçak gövdesi bakım-onarım servisi çalışmalarını sürdürmektedir. İyi ama, sorunun ilk aşamada önlenmesi ya da en azından tahmin edilmesi gerek-

mez miydi? Yetkili olmayan kişiler bile bu soruyu soruyor. Daha eski pervaneli uçaklarla yaşanan deneyim, dikkatleri başka bir yöne çekmişti: Motorlar, kontrol sistemleri ve neredeyse ana metal yapı dışında herşey, sorgulanmıştı. *Three Mile Islands* ve *Çernobil nükleer santralleri*, *Bhopal* ve *Star* olayları, *Exxon*'la yaşanan akıtma olayı ve patlayan *Pinto* yakıt tankları, hata sonucu meydana gelen ve yakından tanıdığımız “kazaların” sadece birkaç örneğidir. Her bir durumda da, geçmişe bakıp hata bulmak ve suçu araştırmak mümkündür. Ancak bu olayların hepsi de, sistemlerin tasarımında, üretiminde, ve çalıştırılmasında insanlar ve karmaşık teknolojik sistemler içermektedir. Bunların birer trajedi olduğu ve trajedilerin asla olmaması gerektiğine şüphe yok. Sanırım, görevlilerin çoğu profesyonel ve genellikle işlerinde yetkin kişilerdir. Bu durumda şöyle bir sonuca ulaşabiliriz belki de: Karmaşık teknolojik sistemlerle yaşadığımız sürece, artan bir uzmanlaşma ve karşılanabilir maliyetler talep ettiğimiz sürece, istekler ve çabalar aksi yönde de olsa birşeyler bazen ters gidecektir.

İmalat ve Montaj

Eleştirel Sanat

G eçenlerde, eşim ve ben, bir otomobil montaj tesisini ziyaret etmek üzere çağrıldık. Bugüne kadar, birçok büyük montaj tesisi gördüm. Ama her gidişimde yeniden etkileniyorum. Eşim ise, böyle büyük tesisleri sadece dışardan görmüştü. Eşimin gezi sonunda yaptığı yorum, tesislerdeki işlemlerle ilk kez karşılaşan çoğu insanın düşüncelerini oldukça güzel yansıtıyor. Eşime göre, montaj tesisiyle karşılaştırıldığında otomobillerin kendileri çok da önemli nesneler değillerdi. Yani, otomobillerin imal ve monte edilmesinde kullanılan teknoloji, ürünün teknolojisini gölgede bırakıyor gibi. Bir montaj tesisinin tanımı, tasarımı, kurulması ve gözden geçirilmesi, çok geniş çaplı bir mühendislik işidir. Örneğin, *General Motors*'un, *Saturn* marka otomobillerin üretimi için gerçekleştirdiği fabrika projesi, yaklaşık 1.9 milyar dolara malolmuştur. Ama bu para, 3.5 milyar dolar olarak hesaplanan toplam proje giderinin dışındadır.

Bazen üretim olarak adlandırılan imalat ve montaj, her ne kadar, tasarım ve mühendislikten ayrı bir aşama gibi görülse de gerçekte, sürecin geri kalanından ayrılamazlar. İmalatı ve montajı iyi

biçimde gerçekleştirilemeyen bir tasarımın kötü bir tasarım olduğu açıktır. Tasarımda, hele de karmaşık nesnelerin veya geniş çapta üretilecek nesnelerin tasarımında karşılaşılan en büyük güçlük, parçaların ekonomik olarak ve istenilen kesin sonuca uygun biçimde imal ve monte edilmelerinin sağlanmasıdır.

İmalat ve montaj işleri, insanlardan gizlenir ve bu işlerin genellikle kusursuz yapıldıkları düşünülür. 219. sayfadaki listede yer alan çok tanıdık ürünlerin imalini gözünüzde canlandırabilir misiniz? Açıktır ki, bu ucuz ürünlerin düşük maliyetli süreçlerle ve büyük miktarlarda üretilmesi gerekir. Bazen, mühendislik öğrencilerine işkence yapmak için bu tür listeler kullanırım. Sonunda gündelik hayatlarında çok sık rastladıkları bu nesnelerin imali hakkında hiç birşey bilmediklerini kabul ederler.

İmalat ve montaj, son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde sadece kamuoyunca değil, teknolojik sürece doğrudan katılan kişilerce de kusursuz olarak görülüyor. Ancak bu gönül rahatlığı, uluslararası ekonomik yarışta rekabet etme yeteneğimiz açısından pahalıya mal oldu. Yaşadığımız geniş çaplı ticaret ve bütçe açığı gibi sorunların çoğu, şu gerçeğe dayanıyor: Diğer ülkeler, imalat ve montajda bizden daha çok ilerlediler. Peki ama, imalat ve montaj neden böylesine önem taşıyor?

Madem öyle, Amerika Birleşik Devletleri öncü konumunu neden kaybetti? Neden eskiden olduğu gibi dünyanın geri kalanına öncülük edemiyoruz? Sorularımızın yanıtını bir kez daha tarihte buluyoruz.

Onsekizinci yüzyıl ortalarına kadar teknoloji, zanaat kökenliydi. Ürünlerin tasarımı ve yapımı, kişisel deneyime bağlıydı. Sanayi Devrimi, buhar makinesiyle, demir ve çeliğiyle, fabrikaları ve şehirleriyle, üretim alanında gerçek bir devrim yarattı. Enerjinin elde edilebilmesinde ve makinelerin uzmanlaşmasında gerçekleştirilen olağanüstü atılımlar, öncelikle mekanik olarak üretilen ürünlerin imalatında, ham maddelerde ve inşaat sanayinde; ikincil olarak da kimya ve elektrik sanayilerinde büyük faydalar sağladı. Elektronik ve havacılık gibi sanayiler, henüz geleceğe aitlerdi. Buna karşın, kontrol edilen parçaların ve ürünlerin, çeşitli hammaddelerden eksiksiz ve ekonomik bir biçimde üretilmesini sağlayan araçlara kavuşmak üzereydik.

bulaşık teli
alüminyum bira tenekesi
ampul
tenis topu
havalı tüfek saçması
jet motorları için türbin kanadı
ip
kurşun kalem
çivi
paket lastiği
dikiş iğnesi
ayna
ataş
dişmacunu tüpü
golf topu
kibrit
naylon ip
içi oyuk metal kapı topuzu
rezistör
somun ve civata
ağaç vidası
otomobil krank mili
şarap şişesi
daktilo kağıdı

Sözelimi, onaltıncı ve ondokuzuncu yüzyıllar arasında meydana gelen değışiklikleri düşünün. Arka sayfada zırh yapan bir onaltıncı yüzyıl “fabrika”sının çizimini görüyorsunuz. O zamanlar zırh büyük bir olasılıkla, diğer sert ürünlere kıyasla daha ustaca üretiliyordu. Yine de, az sayıda makine vardı ve standartlaşma gibi şeyler henüz ortada yoktu. Zırhınız kırılacak olursa, yakınınzdaki bir zırh dükkanından yedek parça temin etmeniz mümkün değildi. Yapabileceğiniz tek şey, doğrudan zırhı yapan kişiye başvurmaktı. Standartlaşma, ondokuzuncu yüzyıl başlarına değin bir mühendislik ilkesi olamamıştır. Kimya sanayî, onaltıncı yüzyılda az miktarda sabun, boya, metal alaşımları ve buna benzer malzemeleri el ile üreten kişilerden oluşuyordu. İnsanlar, kimsayal reaksiyonlar sayesinde ürün yapmasını biliyorlardı belki; ama kimyasal süreçler hakkında hiçbir fikirleri yoktu. Ayrıca, naylon giysi veya poliüretan üretimine geçmeye daha çok zaman vardı. İnşaatçılık, tarihin



Bir 16. yüzyıl zırh fabrikası.

birçok döneminde olduğu gibi elle yapılıyordu. Ağırlıkların kaldırılması ve yüklerin taşınması içinse basit makinelerden ve hayvan gücünden yararlanılıyordu. Elektrik sanayi ise henüz ortalıkta görünmüyordu.

1850 yılıyla birlikte, büyük çaplı bir değişim yaşandı. İmalat aletleri çoğalmıştı ve buhar enerjisi, rüzgâr ve su enerjilerine eklenmişti. Tasarımcılar, birbirinin yerine geçebilen parçaların faydalarını keşfetmeye başlıyorlardı. “Birbiriyle değiştirilebilir” imalatçılık, Amerika Birleşik Devletleri’nde hükümetin yaptığı bir sözleşmeyle resmi olarak 1798 yılında başladı. Eli Whitney adlı bir şahısla hükümet arasında yapılan bu sözleşmeye göre, parçaları birbiriyle değiştirilebilen 10,000 adet asker tüfeği imal edilecekti.

Buna karşın, Samuel Colt ve Elisha Root, yarım yüzyıl sonra bile Londra’da Crystal Palace Sergisi’nde seyircilerin gözlerini kamaştırmayı başarıyorlardı. Bir revolverin parçalarını ayrı ayrı masanın üzerinde bulunan sepetlerin içine koyup, gelip geçenlerin her bir sepetten bir parça alarak revolverleri monte etmesini istiyorlardı. Sonuç inanılmazdı.

Crystal Palace’ın kendisi de, ondokuzuncu yüzyıl ortası imalatının en güzel örneklerinden birisidir. Bina, Joseph Paxton adlı, kendini sera tasarımına adanmış bir bahçıvan tarafından tasarlanmıştır. Olağanüstü bir başarı kazanan Crystal Palace, standart parçalarla inşa edilmişti: 6,024 adet demir sütun, 1,245 adet işlenmiş demir kiriş, yapının iç yüzeyinde kullanılmak üzere 3,000 adet kiriş, 293,655 adet pencere camı, 5,229 metre uzunluğunda boru, 72,405 metre uzunluğunda standart çerçeve çitası, 16,992 metre küp kereste, çeşitli somun ve civatalar kullanılmıştı. İlgili parçaların her biri birbiriyle aynıydı ve değiştirilebiliyordu. Saray, açılan tasarım yarışmasının giderlerinin bir bölümünü karşılamak amacıyla inşa edilmişti. Sergi sona erince monte edilen parçalar söküldü ve inşaatçılara satıldı.

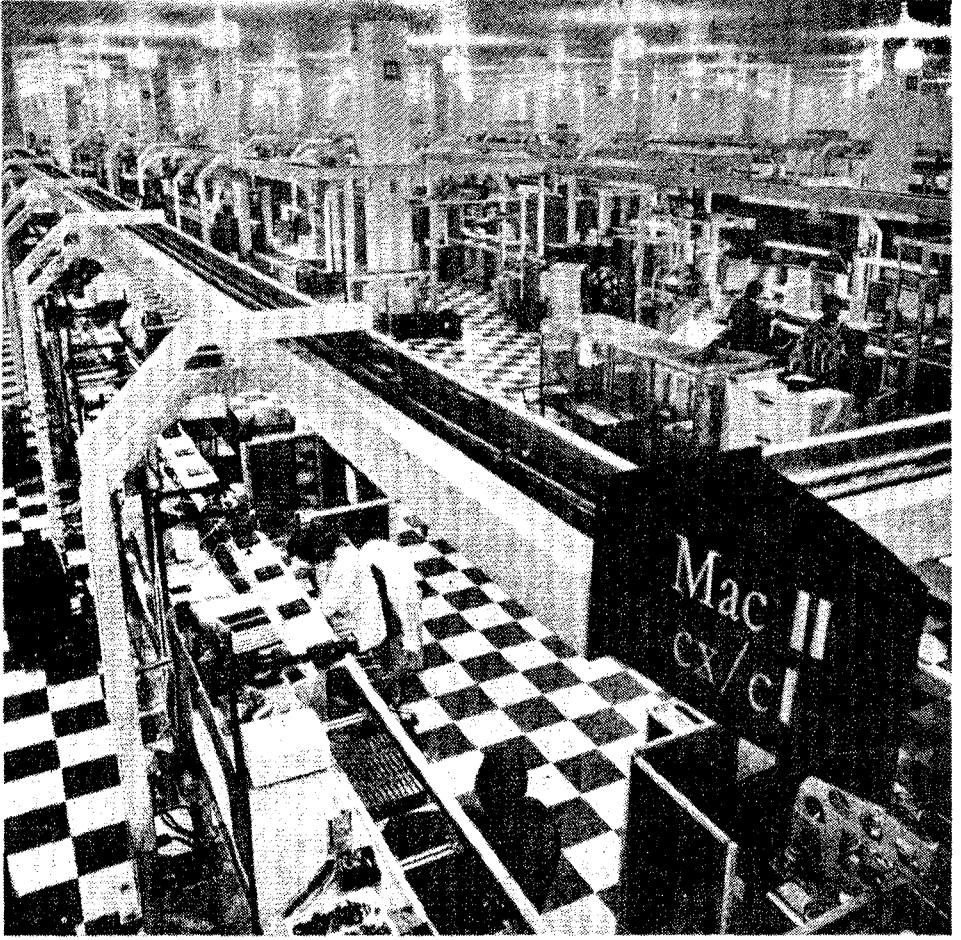
Kimya alanında da, Sanayi Devrimi’ne koşut bir devrim gerçekleşti. Çok sayıda “birbiriyle değiştirilebilir” temel element bulunduğu düşüncesi (yani toprağın, ateşin, havanın ve suyun yerini alabilecek elementler bulunduğu görüşü), onsekizinci yüzyıl boyunca geçerliliğini korudu ve daha da geliştirildi. Maddenin korunumu anlayışı, nicel yöntemlerin yolunu açtı. Gazların doğası ve yanma süreci daha derinleme-

sine anlaşıldı. Elektrokimya çalışmaları başladı. Atom kuramındaki gelişmeler, kimyasal reaksiyonların çok daha gelişkin düzeylerde çözülmesini sağladı. Onsekizinci yüzyılın ortalarına gelindiğinde, kimya sanayî Avrupa'da yaygınlaşmaya başlamıştı. Kristalleştirme ve damıtmının arıtmada, gazların da fırınlama tekniklerinde kullanılması, nispeten büyük ölçekli üretimi amaçlayan fabrikaların kurulabilmesini olanaklı kıldı. Bu fabrikalarda, sodyum bikarbonat ve potasyum hidrat, cam, sabun, çeşitli asitler, kumaş boyası ve eritici maddeler üretiliyordu. Hızlanan sanayi etkinlikleri, çok daha fazla ürünün üretilmesini olanaklı kıldı. Bu ürünler de, başka ürünlerin üretilmesine hız kazandırdılar. Stephen Miall, *"İngiliz Kimya Endüstrisi Tarihi, 1634-1928"* (*History of the British Chemical Industry, 1634-1928*) adlı kitabında, bu süreci şöyle anlatır:

"Kimya imalatçısının çalışmaları, genişleme ve karmaşıkleşma eğilimindeydi; imalatçı, normal tuz, sülfirik asit ve diğler ham maddeleri kullanarak soda yapmaya başlamıştı. Bir süre sonra, kükürtlü madenleri (piritleri) veya doğrudan kükürtü yakarak kendii sülfirik asidini kendisi yapmaya başladı; eğer kükürt kullanmışsa, bu büyük bir olasılıkla bakır ve demir karışımı bir sülfitti. Kıyaslandığında, fırınlanmış kükürtlü madenlerden bakır sülfat ve demir sülfat yapılması daha kolaydı. Sodyum sülfat yapma süreci, büyük miktarlarda hidroklorik asit üretilmesini sağlıyordu ve sülfirik asidin imal edilmesinde nitrik asit gerekiyordu. Bu nedenle, alkali metal imalatçısının, hidroklorik, nitrik ve sülfirik asit imalatçısına dönüşmesi kolay olmuştu. Çeşitli sodyum tuzlarının, bakırın ve demirin imalatı ise, rahatlıkla başarılıyordu. Keşfettiği kloru ağartma tozu yapımında kullanmak, alkali metal imalatçısı için doğal bir gelişmeydi. Böylece, alkali imalatçısı, kalsiyum klorid ve ağartma tozu üreticisi oldu. Taleplerin artmasıyla birlikte, diğler kalsiyum ve sodyum tuzlarını da imal etmeye başladı. Bu sayede, bütün bu 'ağır' kimyasal maddelerin imalatı, çapraşık bir süreç halini aldı. Bu süreçte, parçaların her biri, diğlerlerine bağımlıydı. Ayrıca, aşınmayı önlemeye yönelik çabaların neredeyse hepsi, bazı yeni ürünlerin imal edilmesiyle sonuçlandı⁽¹⁾."

Demek ki, henüz bilgisayar kontrolü yoktu; ama etkinlik çoktu.

Yan sayfadaki fotoğraf, modern bir fabrikanın içini gösteriyor. Burası, *Apple's Macintosh* firmasının üretim fabrikalarından biri. Gördüğünüz gibi, zırh fabrikası ile bu bilgisayar fabrikası arasındaki fark, sadece ürünler ve çalışanların elbiselerinden ibaret değil. Bu fabrikada, insana oranla daha fazla sayıda makine bulunuyor. *Apple* firması, bilgisayarlarının tasarım kabiliyetlerini artırmak ve çok yön-



Modern bir *Apple* bilgisayar fabrikası.

l  kullanılabilecek üretim fabrikaları kurmak için geniş çaplı çalışmalarda bulunuyor. Bu fabrikalarda aynı teçhizatı kullanarak çeşitli *Apple*  r nleri imal edebilecekler. Birçok modern üretim fabrikasında, verilerin değerlendirilmesi, kontrol ve deneme gibi süreçlerde bilgisayarlar kullanılıyor. Böylece, oldukça üst düzey ürünlerin nispeten düşük bedelle üretilmesi için gerekli olan hatasız hesaplamalara ulaşılması, sorun olmaktan çıkıyor. Modern kimya fabrikala-

rı ve yapı alanları da, aynı özelliği taşıyor. Makineler, fiziksel işi devraldılar. Bilgisayarlar da, kontrol ve veri değerlendirme işlerini üstlendi. Sonuçta, işin içindeki insan sayısında bir azalma oldu ve belki de en dramatik örnekler tarım sektöründe yaşandı. 1870 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nin toplam iş gücünün yarısından fazlası, tarım sektöründe çalışıyordu. 1970 yılına gelindiğinde ise, bu sayı, % 3.5'a düşmüştü. Oysa ihracatımızdan da açıkça görüldüğü gibi kişi başına düşen üretim miktarı, önemli bir artış göstermekteydi. 1890 ile 1930 arasında, Amerika Birleşik Devletleri'nin toplam verimliliği, iki katından daha fazla artmıştır. Bu artış, 1930 ile 1970 arasında üç katlık bir çoğalma göstermiştir. Bir anlamda, üretim yeteneğimizdeki inanılmaz ilerlemeler, ürünlerdeki gelişmelere göre hayatlarımızı daha fazla etkilemektedir.

Gelin bir örnekle bunu açıklayalım. Pahalı bir lokantadaki tek öğün yemek fiyatına, harika bir teyp satın alabilirsiniz. Halbuki bir çoğumuz, lokantada yediğimize benzer bir yemeği yapmakta fazla sıkıntı çekmeyiz. Ama iş bir teyp yapmaya geldiğinde, gerçekten işimiz var demektir.

Amerika Birleşik Devletleri, yüzyılın başından II. Dünya Savaşı sonuna kadar, maliyeti düşük yüksek kaliteli ürün imalatında, dünyaya öncülük etmişti. Çoğu kişinin kabul edeceği gibi, Amerika Birleşik Devletleri'nin üretim yeteneği, II. Dünya Savaşı'nda belirleyici faktör olmuştu. Savaş, öncülüğümüzü daha da pekiştirdi. Sanayileşmiş rakiplerimiz, hasar, toplumsal bozulma ve ekonomik sıkıntı gibi savaş kaynaklı sorunlar yüzünden gerilediler. Bunun kanıtını şu sonuçlarda görebiliriz: Avrupa'da yaklaşık 30,000,000 insan hayatını kaybederken, Avrupa güçlerinin tarımsal ve endüstriyel üretimi de, yarı yarıya azalmıştı. Oysa Amerika Birleşik Devletleri'nin insan kaybı, sadece 400,000'di ve endüstriyel üretim endeksi, neredeyse iki katına çıkmıştı. Gayri Safi Milli Hasıla ise, 90 milyar dolardan 170 milyar dolara yükselmişti. Ayrıca, üretimdeki teknolojik önderliğimiz, yetenekli çalışma gruplarımız ve sanayi fabrikalarımızın sayısı artmıştı. Savaş sonrasında kendimizi çok kısa bir süre içinde toparladık. Bunun hemen ardından gelen hızlı büyüme, kısmen de olsa, ürünlerimize yönelik büyük bir dünya pazarının hazır olmasına bağlıydı.

Ekonomik başarımıza gıpta eden diğer ülkeler, üretim yeteneklerinin niteliğini yükseltmek için çalışmalara başladılar ve bu sırada mümkün oldukça bizim deneyimlerimizden esinlendiler. Japonya ve Almanya, bize hızla yetişti ama belli bir noktaya kadar. Çünkü eski fabrikaları, savaş sırasında hasara uğramıştı ve yeni fabrikaların tasarlanması gerekmişti. Amerika Birleşik Devletleri sanayisi, çok para kazanıyordu. Böylece Amerika Birleşik Devletleri, global üstünlüğünü eşi görülmemiş bir başarıyla 30 yıl boyunca korudu. Ama üretime yönelik yaklaşımımızın modası hızla geçiyordu. 1970’li yılların başında, kimi sorunlarla içiçe bulunduğumuzu farkettiler. Çelik ve otomotiv gibi temel endüstriler, pazar paylarını yabancı rakiplere kaptırmaya başlamıştı. Üstünlüğümüzden asla şüphe duymamıştık. Şişmanlamıştık ve geçmiş başarılarımızdan büyük mutluluk duyuyorduk. Bugün Amerika Birleşik Devletleri sanayisi, haklı olarak üretim konusunda kaygılanıyor ve kendini kaybetmişcesine kapasitesini yükseltmeye çalışıyor. Gelişkin bir üretim, sanayileşmiş ulusların sağlığı açısından temel niteliktedir. İleri düzey üretim olmaksızın, dünyanın en iyi buluşları bile, çok az değer taşır.

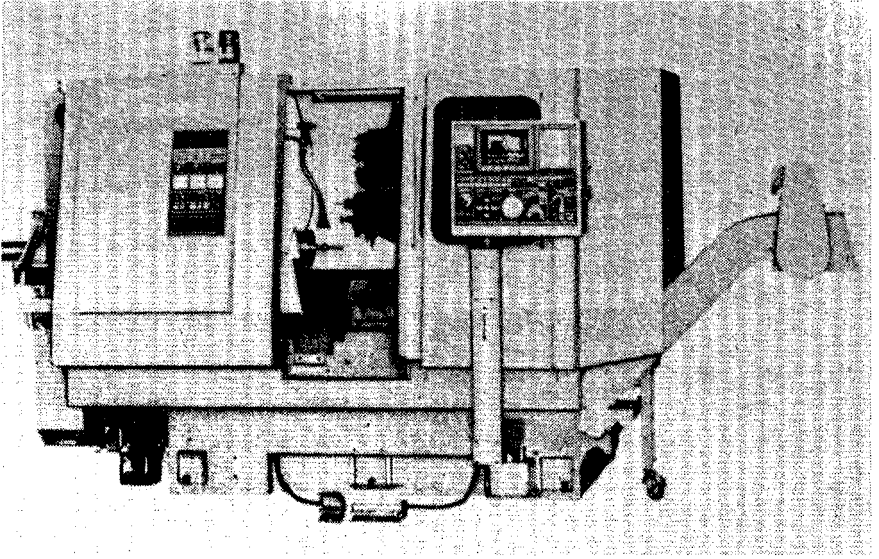
Gelin şimdi de, üretimin bazı boyutlarını değerlendirelim. Her şeyden önce, imalat ve montaj ile gerekli makinelerin bazı süreçlerini ele almalıyız. Daha sonra, “fabrikalardaki” ve üretimin sürdürüldüğü ortamlardaki değişiklikleri inceleyeceğiz.

İmalatın temel süreçleri, çok-eskiden çok-yeniye çeşitlilik gösterir. Sözelimi, çok eski süreçlerden biri, kesim işlemidir. Çoğu yetiştiren, sebzeleri bıçakla, tahtayı testereyle, metali de matkapla “keser”. Toprağın ise, buldozerlerle “kesildiğini” görürüz. Başlangıçta insanlar, keskinleştirilmiş kaya parçaları kullanarak nesneleri elleriyle kesiyorlardı. Daha sonraları, bronz, demir ve çelik bıçaklar, baltalar, sabanlar ve matkaplar kullanıldı. Bugün ise ateş, elektrik ve lazer kullanılıyor.

Modern imalat aletleri, ondokuzuncu yüzyılın ilk yarısında bulunmuştu. Kesim işinin elle yapılması, artık bir zorunluluk değildi. Torna tezgahı, dikmeli matkap makinesi, freze makinesi, vargel tezgahı ve bilinen diğer kesim aletleri icat edilmişti. 1. Bölümde, onsekizinci yüzyıl sonlarında tasarlanan bir torna tezgahının çizimini

görmüştünüz. Bu eski makine, biraz sonra resmini göreceğiniz bilgisayar kontrollü torna tezgahıyla kıyaslandığında size ilkel gelebilir. Ama her iki makine de, aynı ilkelerle tasarlanmıştır. Eski ve yeni torna tezgahları, metali keserken aynı işlemleri izlerler. Her ikisi de, işlenecek metal parçayı döndürerek ve bir aleti parça boyunca hareket ettirerek kesme işlemini gerçekleştirir. Eski imalat aletleri, günümüzdeki aletlere benzer biçimde, çelikten yapılmıştır. Bunlar, kusursuz ve eksiksiz aletlerdir; çünkü kusursuz ve eksiksiz parçaların imalatında kullanılmaları gerekmiştir. Ayrıca, insan enerjisinden bağımsız bir enerji kaynağı ile çalışıyorlardı. Yani, mekanik olarak işliyordlardı. Bu sayede, makinelerle geometrik yüzeylerin kusursuz biçimde imal edilmesi mümkün oluyordu. Eğer tahta bir torna tezgahında çalıştıysanız, imalat aletlerini elle yönlendirerek, malzeme-yi istenen ebatta elde etmeye çalışmanın ne kadar yıldırıcı bir iş olduğunu biliyorsunuz demektir. Ama, metale şekil vermek için tasarlanan bir torna tezgahı, bu işi daha kolay hale getirir. Bu torna tezgahı daha teknik ve karmaşıktır. Sözelimi, parçanın düzgün biçimde işlenebilmesi, doğru aletlerin seçilmesi, kesme hızı, beslemenin belirlenmesi ve sonucun ölçümü için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulur. Buna karşın, fotoğrafını gördüğünüz modern metal torna tezgahı, atalarından çok farklıdır. Yapımında kullanılan malzemeler ve üzerindeki aletler, fazlasıyla gelişkindir ve ustaca tasarlanmıştır. Bu, bir bakıma günümüz tasarımcılarının daha fazla deneyime sahip olmalarıyla bağlantılıdır. Bunun yanı sıra, günümüz tasarımcısı, bilgisayar destekli yapısal çözümleme programları gibi olanaklara da sahiptir. Makinenin parçaları o kadar mükemmel yapılmıştır ki ortaya çıkarılan ürünlerin hata payı, oldukça düşük olur. Modern makinelerin birçok farklı özelliği vardır. Mesela, çok daha yüksek hızlarda çalıştırılabilirler ve bilgisayarlarca kontrol edilirler.

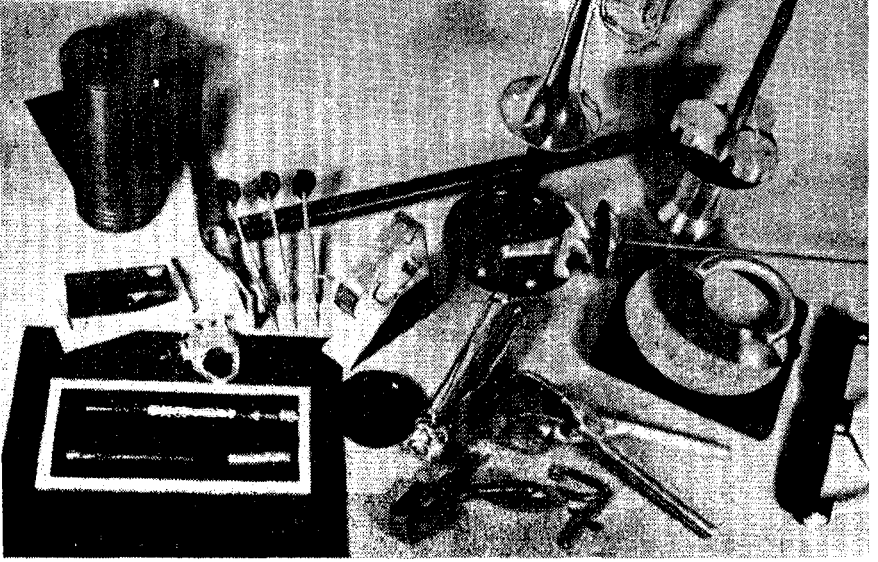
Bilgisayar, uygun hızı (aletin ve parçanın birbirlerine doğru harekete geçtiklerindeki göreceli hızı) ve uygun beslemeyi (alet ve parçanın birbirlerine doğru harekete geçerken yüklenen metal miktarı) belirler. Ayrıca, uygun aletleri saptar ve bu aletlerin hareketlerini kontrol eder. Parça, böylece işlemin tamamlanmasıyla istenilen son şeklini alır. Bir 'döner taret'in üzerinde 12 adet alet bulunur. Bu dö-



Miyano Makineciliğin bilgisayar kotrollü torna tezgahlarından biri.

ner taret, bir aletten diğerine bir saniyeden daha kısa sürede geçer. Otomatik alet değiştirici deposunda, on iki alet daha muhafaza edilebilir. Süreç boyunca aynı anda onyediyi alet kullanılabilir. İlk aşamadaki şekil verme işlemlerinin sürdürülmesi için ikinci bir mil, dönme işlemlerini olanaklı kılacak biçimde parçayı dikine kavrar. Mil, dakikada 4,000 devirlik bir hıza ulaşabilir. Diğer yardımcı araçlar ise şunlardır: makineyi işlenmemiş stoklarla besleyen sistemler; parça yakalayıcılar ve taşıyıcılar; talaş taşıyıcılar.

İmalat aletleri, bu aletleri tanımayan kişilere basit gibi görünebilir. Stanford Üniversitesi'ndeki en popüler derslerden biri, "İmalat ve Tasarım" adı altında veriliyor. Öğrenciler, bu derste, metal ile ilgili projeler tasarlıyor ve bu projeleri gerçekleştiriyorlar. Genellikle öğrencilerin çoğu, bu dersi almadan önce, imalat aletlerini kullanma konusunda hiçbir şey bilmiyorlar. Başlangıçta, öğrencilere giriş niteliğinde genel bilgiler veriliyor. Bu karmaşık aletlerin nasıl kullanılacağını kısa sürede öğreniyorlar.



Stanford Üniversitesi öğrencileri tarafından tasarlanmış ve imal edilmiş bazı metal ürünler.

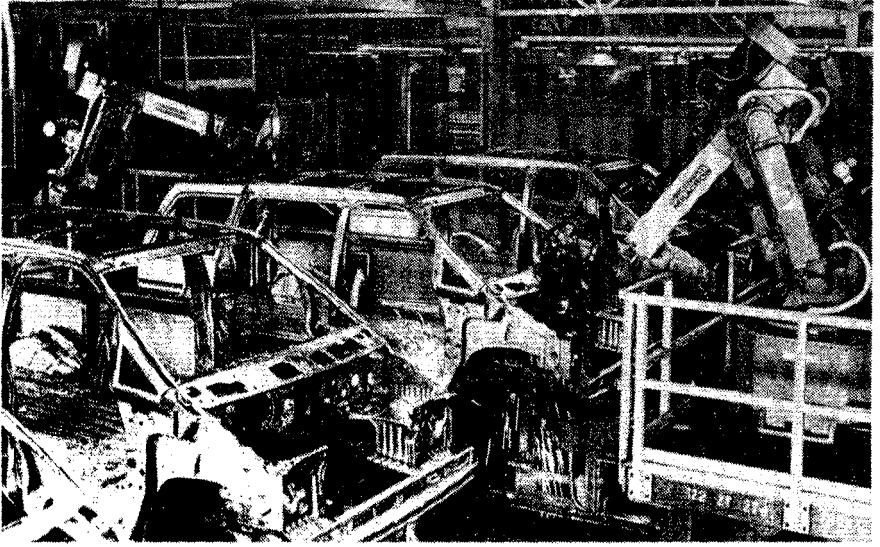
Bu aletleri kullanmasını bir kez öğrendiler mi de, çok çarpıcı ürünler imal edebiliyorlar. Yukarıdaki resimde, öğrencilerin gerçekleştirdiği projelerden örnekler görüyorsunuz. Bu ders, öğrencilere sadece bilgi ve hüner kazandırmakla kalmıyor; yanı sıra, onlara kendine güven duygusu aşıyor ve imalat süreçlerini anlamalarını kolaylaştırıyor.

Ancak kesme işlemi, maddelere şekil vermenin tek yolu değildir. Başka bir yol da kalıplama veya dökümdür. Bu süreçlerde, akışkan bir maddenin, bir kalıp içerisinde katılaştırılması esastır. Madde, dökme metal ya da kimyasal reaksiyonlarla katılaşacak bir bileşim olabilir (Örneğin, bir polimer veya beton gibi). Daha alışılmadık birşey de olabilir (Örneğin, ısı yardımıyla birarada tutulan ince metal toz gibi). Kumsalda yere bir çukur kazıp içine erimiş balmumu dökerek yapılan mumlara ne dersiniz? Bu, geniş çaplı kalıpcılık uygulamalarından biri olan kum dökümcülüğünün basit bir biçimidir. İnce kum gibi görünen ve işlenmemiş bir yapıya sahip metal parça-

ların çoğunun dökümü, kum kalıpla gerçekleştirilir. Daha önce gördüğümüz torna tezgahının bazı parçaları (örneğin, makine yatağı ve gezér punta gövdesi gibi), kuşkusuz kum dökümlerle yapılmışlardır.

Dökümün, birçok biçimi bulunur. Basınçlı dökümde, malzeme (genellikle çinko veya alüminyum), çok yüksek basınç altında (20,000 psi) çelik bir kalıp içine sıkıştırılır. Ağır çelik kalıpların işlenmesinde ve metal içeri akıtılırken bu ağır kalıpların sıkıştırılması sırasında uygulanan güçlerin kontrol edilmesi için büyük ve kusursuz bir makine gerekmektedir. Yaklaşık 15 cm boyunda ve 15 cm eninde oyuk bir kalıbın sıkıştırılması için uygulanması gereken güç, ortalama 720,000 pound -yani, 325,000 kg- olacaktır. Ne var ki basınçlı döküm, işlemi tamamlanan parçanın kusursuz ve düzgün olmasını mümkün kılar. Arabanızdaki karbüratörün gövdesi, basınçlı dökümle imal edilmiştir. Kalıpların hazırlanması, kendi içinde oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu iş için harcanan para, kolaylıkla on binlerce dolara çıkabilir. Diğer döküm biçimleri (kabuk kalıp, savurma döküm, yatırma döküm) kendi aralarında çeşitli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, kalıpların niteliğine, malzemelerin kalıp içine konulma süreçlerine ve soğutuldukları ortamlara bağlıdır (örneğin, savurma dökümde, malzemenin üzerindeki gözeneklerin en aza indirilmesi için kalıp ve kalıplanmış malzeme döndürülür) Dökümün en ilginç biçimlerinden biri de, sürekli döküm veya sıkmadır. (kalıptan çekme de denir). Bu döküm biçimi, bütün uzun ve karmaşık alüminyum şekillerin imalatında ve hatta lehim teli üretiminde kullanılan bir süreçtir. Bu tür ürünlerin örneklerine, bir hırdavatçı dükkanında rastlayabilirsiniz. (Kapı eşiği, nesnelerin kesişme noktaları için süslemeler ve benzeri şeyler)

Plastiğe istenilen biçimi vermek için yararlanılan birçok süreç (örneğin püskürtme kalıpcılık) kalıpcılık olarak nitelendirilir. Püskürtme kalıpcılık, basınçlı döküm ile eşdeğer bir süreçtir ve plastik oyuncaklar ile telefon gövdesi gibi şeylerin yapımında kullanılır. Diğerleri, mesela fiberglas biriktirme, melez süreçlerdir (gemilerin ve Korvet gövdelerinin yapımında bu süreç kullanılır). Ancak bu süreçler, akışkan bir maddenin son biçimini alacak şekilde sertleşmesini sağladıkları ölçüde, diğer kalıpcılık biçimleriyle benzerlikler



Ford montaj tesisinde bulunan bilgisayar kontrollü kaynak makineleri.

paylaşırlar. Parçaların imal edilmesine ilişkin üçüncü kategori de, şekillendirmedir. Bu süreçte malzeme, uygun güç kullanılması yoluyla istenilen şekile sokulacak biçimde yeniden şekillendirilir. Malzeme eğilebilir, dövülerek şekle sokulabilir (Demirin ocakta kızdırılıp dövülerek işlenmesi gibi) veya uygun biçimli bir kalıba sokulup sıkıştırılabilir. Süreç, hem sıcak hem de soğuk olarak gerçekleştirilebilir. 220. sayfada resmini gördüğünüz zırha, biçimlendirme ile şekil veriliyor -metal levha çekiçe dövülüyor. Çamaşır makinenizin kasa-sı ve otomobilinizin kaportası, çok büyük boyutlarda preslerle şekillendiriliyor. Üniversite öğrencisi olduğum yıllarda, Los Angeles'taki Norris Thermador fabrikasında uygulama çalışmaları yapmaktan fazlasıyla zevk alırdım.

Çünkü buharla çalışan şahmerdan dövme makineleri öylesine büyüktü ki, biçimlendirdikleri parçaya vurdukları zaman, park yerindeki arabalar yayları üzerinde zıplıyorlardı. Çelik küvetler, mermi kovanları ve kesici ağızlar, şekillendirme süreciyle yapılır. Teneke bira kutula-

rının ve elfenerleri bataryalarının imali, ilginç bir şekillendirme yöntemiyle gerçekleştirilir. Bu yöntem, “çarpıp kalıptan çıkartma” olarak bilinir. Malzemeden küçük bir parça, kalıbın içine konur. Sonra pres, büyük bir hızla kalıba çarparak malzemeyi sıkıştırır. Pres ve kalıp arasında sıkışan malzeme, presin etrafını sararak şekil kazanır. O da ne? Bir teneke kutu, içine bira doldurulmasını bekliyor! Yapıştırma -malzemeleri birbirine bağlama-, imalattaki en önemli işlemlerden biridir. Soğuk ve cıvata, çivi, vida, perçin gibi mekanik bağlayıcılar kullanılabilir. Malzeme, aynı zamanda, kaynaklamayla veya lehim gibi yardımcı malzemeler veya yapışkanlar kullanarak da birleştirilebilir.

Yan sayfadaki resimde, bilgisayar kontrollü iki kaynak makinesi (robot) görüyorsunuz. Bu robotlar, otomobil kaportasını oluşturan çeşitli karmaşık metal tabakaları otomatik olarak birleştiriyor. Resimde gördükleriniz, 51 robattan ve diğer otomatik makinelerden yalnızca ikisi. Bu makineler, *Ford Aerostar* marka kamyonetlerin üzerindeki 4,000 nokta kaynağın % 97'sini yapıyorlar.

Birleştirme tekniklerinin çoğu, uzun bir süreden beri biliniyor. Buna karşın, birçok değişiklik de yaşıyor. Örneğin, inşaatçılıkta makinelerle sıkıştırılan hazır vidalar, çivilerin yerini alıyor. Çünkü bu vidalar, zaman içinde gevsemeye karşı daha dayanıklılar. Hırdavatçı dükkanınıza kadar gidip bir göz atacak olursanız, süper-yapıştırıcılarla (siyanür-akrilat), hızlı kuruyan plastik tutkallarla ve beş yıl öncesine kadar bilinmeyen diğer formülasyonlarla karşılaşabilirsiniz. Geçtiğimiz 20 yıl içinde, yeni malzemelerin üretiminde yaşanan patlama, imalat ve montaj üzerinde çok etkili oldu. Arka sayfadaki listenin en sonunda yer alan ürünler, inşaat sanayinde öncelikli kullanımlara sahiptir. En üstte yer alanlar ise, geleneksel malzemelerdir. Ortadakiler, özellikle de polimerler (plastikler), üretilen ürünlerin niteliği üzerinde köklü etkiye sahip malzemelerdir.

Malzemelerin şekillendirilmesiyle ilgili olan ve bahsettiğimiz kategorilere uymayan birçok başka süreç daha bulunur. Sözelimi öğütme (taşlama) süreci. Bu süreç, şekil veren bir kalıp içine yerleştirilmiş sert parçacıklarla malzemeyi temizler. Bunun daha modern örnekleri ise şunlardır: Elektriksel boşaltım ile işleme (malzeme, dikkatlice kontrol edilen bir elektriksel boşaltımla aşındırılır) man-

yetik şekillendirme, (malzemenin bir kalıp içine girmeye zorlanması amacıyla bir manyetik alan kullanılır) metal püskürtme, (malzeme, eritilmiş metal üzerine püskürtülerek şekillendirilir) ve lazerle kesme. Ayrıca, aşındırma, elektrokaplama ve çeşitli kimyasal kaplamalar da üretimde büyük sıkıntılara neden olmalarına karşın, çok önemli süreçler arasındadır. Bu tür süreçler, elektronik sanayinde yaygın olarak kullanılır.

*İmalatta kullanılan
bazı malzemeler*
.....

Metaller

demir
çelik (karbonlu demir)
alüminyum
magnezyum
bakır
pirinç (bakır ile çinko)
bronz (bakır ile kalay)
titan
tungsten
kurşun
kalay
altın
gümüş

Polimerler

termoplastikler
ısı ile sertleşen plastikler
bileşimler (cam elyafı, bal peteği,
direnci artırılmış tel)

Yapıştırıcılar (genellikle polimerler)

Kaplamalar (genellikle polimerler ve metaller)

Yarı-iletkenler

Cam

Beton

Tahta

Asfalt ve diğer petrol ürünleri

Entegre devre veya çipler, ilk olarak, malzemenin tabanı üzerinde çeşitli malzemelerin tortulaşmasını (buradaki örnekte, yarı-iletken silikon.) gerektirir. Bu işlemten sonra, tortulaşan malzemelerin, elektriksel elemanların bağlanabileceği noktaları ve iletim yollarını sağlayacak geometriler içinde aşındırılmaları gerekir. Bunların imalatı, aynı zamanda, devrenin bölümlerine ait oluşumun değiştirilmesi amacıyla çeşitli kimyasal işlemler içerir. Bu aletlerin imalini daha iyi anlayabilmek için biraz ayrıntıya girmemiz yerinde olacak; çünkü bu aletler, modern üretim süreçlerini çok güzel yansıtıyorlar.

Birinci sorun, büyük ve çok saf, tek parça kristalin, sli-kondan sağlanmasıdır. Arındırılmış olan ham silikonun önce, karbonlu bir ortamda eritilmesi gerekir. Daha sonra, ezilir ve susuz hidrojen klorid ile reaksiyona sokulur. Son olarak da, önceden arındırılmış silikon çubukların üzerine çökeltilir. Bundan sonra, saf silikon eritilir ve özel olarak yapılmış bir makine ile tek parça haldeki kristaller şekillendirilir. Makine, havası alınmış bir ortamda, kristalleri eriyiğın içinden ağır ağır “çeker”. Bu kristaller, genellikle farklı çaplara ve farklı uzunluklara sahiptir.

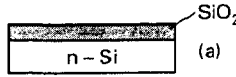
Kristaller, daha sonra, kesin çaplarını alacak biçimde öğütülürler. Öğütme, epitaksiyal tortunun veya bu tortunun difüzyonunun giderilmesi ve düzgün bir yüzeyin sağlanması için yarı-iletken silisyum tabanları üzerinde yapılan mekanik işlemdir. Öğütme işleminin ikinci aşamasında, kristallerin uzunluğunda düzgün bir yüzey oluşturulur. Ancak bu yüzeyin, kristallerin moleküler yapısına ait yöne göreli olarak kusursuz bir açıda oluşturulması gerekmektedir (Bu açı, bir X-ışını tekniğı ile belirlenir). Bundan sonra büyük kristal, kusursuz olarak kontrol edilen yüzey yönelimine ve kalınlığa sahip dilimlere kesilir. Bu dilimler, üzerlerinde mikrodevre matrislerinin üretilebildiğı ince yarı iletken silikon parçalardır. Sonraki aşamada bu dilimler, herhangi bir yüzey hasarının veya radyoaktifleşmenin temizlenebilmesi amacıyla kimyasal yolla aşındırılırlar ve fotoğraf aracılığıyla aşındırılmış baskılı levha yapma süreci için yeterli bir yüzeyin sağlanabilmesi amacıyla inceltirilir.

Bu dilimlerden işleyen bir entegre devrenin yapılmasını olanaklı kılan imalat süreci, şu işlemleri gerektirir: Diğer malzemelerin ço-

keltirilmesi; ince kristalimsi tabakaların çekilmesi, (bu işlem, epitaksi olarak adlandırılır. Burada amaçlanan, kristal tabakaları üstüste koyarak tek kristal yapının elde edilmesidir). iyonların katkılanması, (tek kristal şeklindeki malzemenin elektriksel özelliklerinin, tanecik ivmelendiricisinde, yüklü iyon bombardımanı ile değiştirilmesi) oksitleme, dağıtma (molekülleri ve iyonları normal ısı etkileriyle karışan maddelerin taşınması), çeşitli tabakalar aracılığıyla aşındırma, (Klişe) ve kaplama (oksitli parçacıklardan manyetik tabaka oluşturulması). Her bir dilim üzerinde, tek seferde, çoklu entegre devre üretilir. Bu işlemde, foto-litrografi olarak bilinen bir yöntemden yararlanır. Bu yöntem, çipin üzerinde bulunması istenen bir şekle ait büyük bir montaj planı ile başlar. Bu diyagram, genellikle bilgisayar tarafından hazırlanır. Daha sonra, fotografik olarak istenilen büyüklüğe getirilir. Görüntü, fotorezist ile kaplanmış bir yüzeye yansıtılır. Fotorezist, bir silikon yarı-iletkenin oksitlenmiş yüzeyini yoketmek için uygulanan yöntemdir. Görüntünün yansıtıldığı yüzeyin kimyasal doğası, fotorezist ile değiştirilmiştir. Çünkü yüzeyin kimyasal doğası, yayılan radyasyona maruz kalmaktadır. Sonra, filmin banyo edilmesinde kullanılan bir çözelti, emprosyone edilmiş ya da edilmemiş rezisti (her iki çeşit de bulunmaktadır) eritir ve malzemeyi, lokal olarak asidik aşınmaya terkeder. Sonra, örtü yaratılması için bir aşındırma yönteminden yararlanır. Bu yöntem hem çipin üzerine direk foto-litografinin uygulanması hem de tortulanmanın ve oksitlenen şekillerin kontrol edilmesi amacıyla kullanılır. Eskiden, foto-litrografi ışması için ışık kullanılıyordu. Bununla beraber, bugünkü küçük boyutlar, X-ışını gibi kısa dalga boylu ışımaların daha fazla kullanılmasını gerektiriyor.

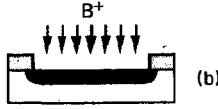
Yan sayfanın üst tarafında yer alan şekil, basit bir metal oksit yarı-iletken kondansatörün (MOS kapasitor) oluşturulabilmesi için gereken aşamaları gösteriyor (MOS, yalıtkan yapının taban malzemesinin oksidi olduğu metal yalıtkan yapıdır. Silisyum taban için, yalıtkan tabaka, Silisyum dioksittir). En alttaki şekil ise, n-kanallı metal oksit yarı-iletken (NMOS) bir lojik devrenin bir bölümüne ilişkin imalat dizisinin karmaşıklığını gösteriyor. (NMOS, P-tipi silisyum taban üzerine gerçekleştirilen MOS devredir) Ayrıntılara gir-

N-TİPİ SİLİKON MALZEMENİN
ÜZERİ 4000Å OKSİT İLE KAPLANIR

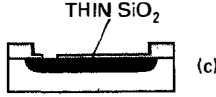


MOS KAPASİTÖRÜ.

OKSİT ŞEKİLENDİRİLİR VE AŞINDIRILIR, DAHA SONRA P⁺ BÖLGESİ OLUŞTURMAK İÇİN 50 KeV'LİK BORİYON KATKILANIR



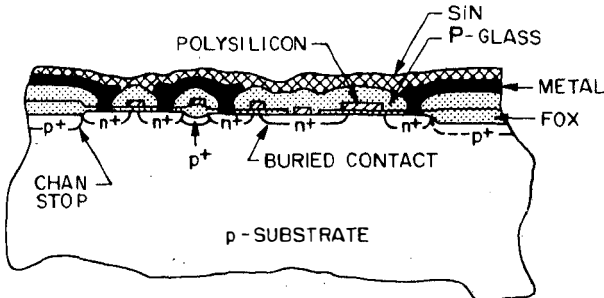
(200Å) İNCE OKSİT KAPLANIR, BAĞLANTIYI SAĞLAMAK İÇİN OKSİT ŞEKİLENDİRİLİR VE AŞINDIRILIR.



5000Å ALİMÜNYUM ÇÖKELTİLİR, ŞEKİLENDİRİLİR VE AŞINDIRILIR



Basit bir metal oksit yarı-iletken kapasitörünün imal edilmesi için gerekli olan süreçler (yukarıdan aşağıya doğru).



N-kanallı metal oksit bir yarı-iletken entegre lojik devresinin imal edilmesi için gerekli olan süreçler.

meyeceğim ama, entegre devrelerin yapılması için gerekli olan ve büyük bir titizlikle denetlenen süreçleri göstermek amacıyla buna değiniyorum. Eğer metrenin milyonda biri büyüklüğünde boyutların sözkonusu olduğunu hatırlayacak olursanız, gerekli olan kusursuzluğun nasıl birşey olduğunu düşünebilirsiniz.

Yarı-iletken işinde, temiz odaların, beyaz gömleklerin, çizmelerin ve şapkaların hazır bulunmasının nedeni de işte bu titizliktir. Bu boyutlarda çalışıldığında, bir toz zerreciği veya bir saç teli bile çok önem kazanır.

Buraya kadar, parçaların imal edilmesiyle ilgilendik. Gelin şimdi de montaja bir göz atalım. Otomobil fabrikasında yapılan ve eşimi etkileyen türde bir montaj, üretimin diğer önemli parçasını oluşturur. Sanayi Devrimi döneminde ürünler, bireysel olarak monte ediliyordu. O zamanların montajı, aynen bir maket uçağın monte edilmesine benziyordu. Montajın bu şekli hâlâ çok yaygındır. İnşaat sanayî, köprüleri, binaları ve çevre yollarını, tek seferde inşa etme eğilimindedir. Cray bilgisayarları ve Boeing 747'ler gibi çok pahalı ve kompleks parçalar monte edildiğindeyse durum biraz farklı olacaktır. Bu tür büyük projelerde montajın tamamlanmasına ilişkin çeşitli aşamalar bulunur. Bu aşamalarda, bir oda içerisinde (747'lerin montajında çok büyük bir oda) çeşitli parçalara, makinelere ve bunların etrafına üşüşmüş çalışan kişilere rastlarsınız. Tek seferde birçok ürün ortaya çıkartılsa bile, bir anlamda bu ürünlerin her biri, bireysel olarak yapılmaktadır.

Montaj, ayrıca gruplaştırma biçiminde de gerçekleştirilir. Gruplaştırma, önbilgilerin kodlanıp, gruplaştırılıp, sayılarının azaltılması sürecidir. Ürünlerin gruplaştırılması tek seferde, ya çok yönlü bir üretim hattında ya da iş istasyonlarında çalışan işçiler tarafından yapılır. İstasyon, otomatik bir üretim hattında, belirli bir işlemin yapıldığı yerdir ve yapılan işin yerine getirilmesi için gerekli bütün parçalar çalışanlara burada sağlanmaktadır.

Belki de montajın en çarpıcı biçimi seri üretimdir. Ürünler, her bir işçinin belirli bir işi üstleneceği biçimde tasarlanmış olan üretim hattı boyunca hareket ederler. Ancak her bir işlem, kesinlikle aynı süre içinde yapılmalı ve çalışma süresi boyunca işçiyi zorlamalıdır. Çalışanları yıpratmayan ve yabancılaştırmayan; aynı za-

manda da onları, iyi bir iş çıkarılması için teşvik edebilen ve tatmin-
kar bir çalışma ortamı sunan bir montaj tesisinin tasarımı, zorlu bir
mühendislik problemidir.

İçinde bulunduğumuz yüzyılın ilk yarısında gerçekleşen seri
üretimle yönelik büyük hamle, hem insanlar tarafından verimli bi-
çimde kullanılacak bir montaj tesisinin tasarlanmasını hem de özel
olarak yapılmış otomatik makinelerin imalini kapsıyordu. Örneğin,
otomobil motoru üretilen fabrikalarda bu özellikleri hâlâ görebilirsi-
niz. Bu fabrikalarda, uzmanlaşmış makineler bulunur. Bu makineler
birçok parçayı valflar, yaylar, kayışlar, itici subaplar, somunlar, cı-
vatalar) makinelerle yapılmış silindir kapaklarında doğru yere, doğ-
ru sıraya yerleştirerek ve bu parçaları belirtilen şekilde birbirlerine
bağlayarak, silindir kapaklarını eksiksiz olarak monte ederler. Böyle
uzmanlaşmış bir fabrikanın tasarlanması, geliştirilmesi ve kurulma-
sı için büyük miktarlarda para ve uzun zaman gerekir. Fabrika ku-
rulduktan sonra yapılması gereken en mantıklı şey, fabrikanın sade-
ce, üretmek üzere tasarlanmış olduğu silindir kapağı tipinin monta-
jında kullanılmasıdır. Belirli tip ürünler veya birbirinden farklı ürün-
ler monte edilebilen bir montaj tesisi, görüldüğünden daha az mas-
raflı olabilir. Ayrıca imalatçıya, ürünlerin gruplaştırılarak istenildiği
gibi üretilebileceği fikrini verir. Böylece, hem envanter azaltılabilir
hem de müşteri taleplerine daha çabuk karşılık verilebilir. Yani, gü-
nümüzün zorlu rekabet ortamı içinde avantaj sağlanabilir. Endüstri-
yel manipülatörler ve daha önce sözü geçen kaynak makineleri gibi
robotlarla ilgilenilmesinin bir nedeni de, bu esnekliktir. Bunların et-
kinlikleri, bilgisayarlarla denetlenir. Bu nedenle, farklılık gösteren
işleri yapmak için yeniden programlanmaları kolaydır.

Üretim konusunu, sadece donanım imalatı ve montajıyla kapa-
tamayacağımız açık. Amerika Birleşik Devletleri'nin 1987'deki Gayri
Safi Milli Hasılası, makine, elektrik ve elektronik cihaz imalatı, mo-
torlu araç ve cihaz montajı ile yapı inşasından oluşuyordu. Peki
ama, işlem sanayilerinin konumu neydi? Bu sanayiler, bize benzini,
birayı, çeliği, plastik ham maddeleri, asprini ulaştırıyor ve diğer sa-
nayilerin ihtiyaç duyduğu bütün ürünleri sağlıyorlar. Ama işlem sa-
nayileri, mekanik ve elektronik donanım aksamalarının imalatı ve

montajıyla uğraşan diğer sanayilerden çok farklı özelliklere sahiptir. Örneğin sıcaklığın, basıncın ve kimyasal reaksiyonların dikkatle kontrol edilmesi, işlem sanayileri için büyük önem taşır. Çünkü işlem sanayileri, sıvıların ve gazların akışkanlığıyla yakından ilgilenir. Bu sanayiler, kimya mühendisinin çalışma alanına girer; ama yine de, bu sanayilerde bütün disiplinlerle karşılaşmanız mümkündür.

İşlem sanayilerinin, Sanayi Devrimi sırasında kimya sanayinin gelişmesinden beri yararlandığı tek kaynak, bilimsel bilgi olmamıştır. Yanı sıra, hızla gelişen teknoloji de işlem sanayilerine çeşitli katkılarda bulunmuştur. Böylece, süreçlerin ya da işlemlerin gelişkin düzeylerde kontrol edilebilmeleri, düşük-maliyetli ve daha kaliteli malzemelerin üretilmesi mümkün olmuştur. Ayrıca, oldukça karmaşık ve gelişkin sistemlerle fabrikaların tasarımı ve simülasyonu da olanaklı hale gelmiştir. Reaksiyonlara yardımcı olmaları amacıyla katalizörlerin, enzimlerin ve son olarak da genetik biçimde üretilen bakterilerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Plastikler, kimyevi gübreler, böcek zehirleri ve farmakolojik maddeler gibi yeni ürün türlerinin bulunması, hayatımızda büyük değişiklikler yaratmıştır. İşlem sanayileri, bugün sanayi kapasitemizin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bunu, 2. Bölümde bahsettiğimiz 1987 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Gayri Safi Milli Hasılasında yaşanan patlamadan da görebiliriz.

Eğer üretimin bütün biçimlerini -yazılım ve donanım aksamlarının imalatı ve montajı, kimyasal ürünlerin ve hammaddelerin üretimi ile yapı inşasını- değerlendirecek olursak, ilgili süreçlerin donanım aksamlarının, Sanayi Devrimi boyunca temel biçimlerini almış olduklarını görürüz. Ancak üretim, 1850'den beri, lazer, bilgisayar ve buldozer gibi yeni araçlardan ve epoksi gibi yeni malzemelerin kullanılmasından etkilenmektedir. Ayrıca, olgulara kataliz ve kinetik gibi yeni anlayışlarla yaklaşılması da, üretimi etkilemektedir. Makine yapılarının, mekanizmaların ve araçların tasarımı daha da uzmanlaşmıştır. Ayrıca, ölçek ekonomilerine bağlı olarak, üretim ekonomilerinde de büyük değişiklikler yaşanmıştır.

Üretimdeki en büyük değişiklik belki de, üretim makinelerinin *kontrolüne* ilişkin gelişmelere, özellikle de dijital bilgisayarın sahne-

ye çıkışına bağlı olarak yaşanmıştır. Makineler, başlangıçta doğru-
dan insan/operatörler tarafından kontrol ediliyordu. Araçlar da, ge-
nellikle mekanik olarak çalıştırılıyordu; ama aracın hem ne yönde
ve hangi hızla çalıştırılacağına karar veren, hem de çalışmanın baş-
lamasını ve durmasını sağlayan operatördü. Ondokuzuncu yüzyıl-
da her bir makine, tek bir operatör tarafından çalıştırılıyordu. Bu
tür imalat hâlâ ortadan kalkmamıştır. Uzmanlık isteyen işler ve dü-
şük üretim için tasarlanan modern imalat aletlerinin çoğu, aslında
bu tiptedir. Bu nedenle, ürünün kalitesinden sorumlu tutulan opera-
törlerin tecrübeli olmasına çok büyük önem verilir.

İçinde bulunduğumuz yüzyıldan önce, sayıları az da olsa bu ko-
nuda kimi farklılıklar bulunuyordu. *Jakar* dokuma tezgâhını buna ör-
nek gösterebiliriz. Bu dokuma tezgâhı, halı ve gömlek yakalarındaki
etiketler gibi şeylerin dokunmasında hâlâ kullanılıyor. Dokumada
kullanılan ipliklerin kumaş üzerindeki konumu, çeşitli “kontrol kart-
larıyla” denetlenir. Bunlar, ardışık bir diziye bağlı, üzerinde delikler
bulunan standart ebatlı kartlardır. Gerekli bilgiler, kartların üzerin-
deki deliklerle kodlanmıştır. Kartlar ilgili konuma geldiğinde, üzerle-
rindeki bilgilerin okunması gerekir. Bu iş için, tellerden oluşan bir
tabaka kullanılır. Bu tabaka karta bastırıldığında, deliklere karşılık
gelen teller diğer tarafa geçer ve doğru ipliğin doğru yere dokunma-
sını sağlayacak veriyi, dokuma tezgahına aktarırlar. Bu dokuma tez-
gahı, modern dijital kontrollü makinelerin habercisi olarak görülebi-
lir. Öte yandan, bazen “ustaların” ve ardıllarının sayesinde de meka-
nik kontrole ulaşılması mümkün oluyordu. Sözelimi, mobilya sana-
yinde kullanılan torna tezgahları, bu tipe girebilir. Burada ürünün
istenilen şekli, metal bir kalıba aktarılır. Daha sonra, araç mekanik
olarak çalıştırılır ve ürünün istenilen şekli elde edilir.

Bir sonraki aşama, elektrikli ve hidrolik (basınçlı sıvı veya gaz)
kontrolün makinelere uygulanması olmuştur. Buna ek olarak, “oto-
matik” kontrol için geri-besleme sağlanması amacıyla oldukça geli-
şkin duyucular kullanılmaya başlanmıştır. Elektrik ve hidrolik ener-
jiler, sadece değişken hızların ve güçlerin sağlanması ile çalışmanın
otomatik olarak başlatılması ve durdurulması için kullanılmasının
yanısıra istenilen çıktının durumuna veya bir süreçteki ara aşama-

lara ilişkin bilgilerin doğru ve kolay aktarımının sağlanması amacıyla da kullanılırlar. Operatör, bu aşamada, çıktının istenilen seviyesini belirleyebilir (Konum, hız, ivme, güç, sıcaklık, basınç, hacim v.s.) Böylece duyucular da, asıl çıktıya veya süreçteki ilgili ara değişkenlere ait ölçümleri yapabilirler. Bu ölçümler, istenilen sonuçlarla karşılaştırılır. Sonuçta ortaya çıkabilecek farklılıklar, sistemde düzeltme yapılması amacıyla kullanılır. Hız kontrolünün arabalarda ve termostatların da evlerdeki işleyiş biçimi böyledir. Operatör, başlama kararını verir ve makine, işlevini yerine getirmeye başlar. Süreç çok karmaşık olabilir; çünkü donanım ve yazılım kontrolü, sürecin hal ve hareketini görelî olarak değerlendirecek biçimde tasarlanmıştır. Elektrikli ve hidrolik kontrol sistemlerinin uygulanması, üretim kapasitesinde çok büyük bir fark yaratmıştır. Düşünün bir kere, her bir işlev, duyucuyu gözleyen ve valfı döndüren kişi tarafından kontrol edilseydi, modern rafinerilerin işletilmesi asla mümkün olmazdı.

Dijital devreler, kontrol işlemini daha da ileri bir düzeye ulaştırdılar. Dijital bilgisayar, süreçlerin çok fazla miktarlarda bilgiyi içermelerini sağlarken, daha yüksek bir doğruluk seviyesini ve daha düşük bir maliyeti de mümkün kılıyor. Bilgisayarlar, karmaşık reaksiyonların üstesinden gelebiliyorlar. Bu nedenle de, eskiden insan müdahalesini zorunlu kılan karar verme sürecini kendi başlarına üstlenebiliyorlar. İnsanlar bazen işe karışsalar da sonuçta kazanan yine bilgisayarlar oluyor. (Aynen *Three Miles Island* reaktörü olayında yaşandığı gibi) Bilgisayarın sınırları zorlanarak üretilen ürünlerin ilginç bir örneği de, yan sayfada gördüğünüz canlı bir insana ait çene kemikleri kopyasıdır. Bu kopya, Cemax firması tarafından bulunmuş bir yöntemin ürünü. Girdi verisi, ya CT taramadan ya da MRI taramadan sağlanıyor. 2. Bölümde tanımladığımız gibi bu veri, üç boyutlu bir bilgi dizisidir ve bilgisayar olmaksızın üretilemez. Cemax yönteminde, öncelikle belirli bir vücut parçasının yüzeyini tanımlayan özel verinin bulunması için bilgisayar kullanılır. Bilgisayar, veriyi yüzeyin üç-boyutlu grafik resmine dönüştürür. Sonra da bu resmî, sayısal olarak kontrol edilen freze makinesi tarafından kullanılabilir bir formata dönüştürür.



CEMAX Firmasının ürünlerinden Scan Data tarafından yapılmış çene kemiği modeli.

Freze makinesi, parçayı kopyalayarak çoğaltmak için bilgisayarın komutlarını yerine getirir. Bu ürünler, daha sonra tedavi veya yöntem geliştirme amacıyla cerrahlar, dişçiler ve diğer pratisyen hekimler tarafından kullanılır. Örneğin kişi, yüzünün bir tarafındaki herhangi bir kemiği kırarsa ve daha sonra bu kemik düzgün bir şekilde kaynamazsa bilgisayar, hastanın kafatasındaki sağlam bölgenin resmini çıkarır ve farklılığın giderilebilmesini sağlayacak mükemmel bir tedaviyi olanaklı hale getirir. Eğer kalça kemiğiniz (pelvis) çeşitli yerlerinden kırılırsa, doktorunuzun sizi kesip biçmesinden önce, kalça kemiklerinizin bilgisayar tarafından çıkarılan kopyaları üzerinde çalışmasını istemez miydiniz? Yukarıda gördüğünüz çene kemikleri, yapılacak takma dişlerin hazırlanma aşamasında kullanılmıştı.

Üretimde kullanılan malzemeler, süreçler ve makinelerdeki değişikliklere ek olarak, bunların kullanıldığı formatlarda da büyük değişiklikler meydana gelmiştir. “Fabrika” ister mikser, ister bina isterse de benzen üretsın, çalışma ortamı tamamen değişmiştir. Bu değişimler, özellikle donanım ürünlerinin imal edildiği sanayilerde ve inşaat sanayinde dikkat çekicidir. Çünkü çeşitli toplumsal ve ekonomik güçler bu sanayilerin etkileneşmesine yol açmıştır. Kimya sanayindeki üretim, pahalı fabrikalara daha fazla bağımlı olma eğilimin-

dedir; yani, insan gücüne daha az ihtiyaç duyar. Bu nedenle, başlangıçta içerdiği sorunlar, insan kitlelerinin organize edilmesinden çok, tesis tasarımı ve inşasıyla ilgili olmuştur. Ama kimya sanayinin bu değişime karşı bağımsızlık taşımadığı yeterince açıktı. Nitekim, *Bhopal* gibi bir ürün, kamuoyunun dikkatini çekti.

Daha önce söz ettiğimiz zırh imalâthanesinde imal edilmekte olan zırhın birçok parçası birbirine benziyordu. Ancak, bu parçalar henüz “standartlaşmamıştı”. Parçaların ve son ürünün üretimi, el becerisine, su ve rüzgar güçleriyle çalıştırılan çekiçlere ve parlatıcı aletlere bağımlıydı. Belli ki, işçilerin “çok” çalışması bekleniyordu ve çıraklıktan yetiştiriliyorlardı -Çalışma saatlerinin uzun olduğundan ve çocukların da çalıştırıldığından şüpheleniyoruz. Resimde, ayrıca, imalathanede çalışmanın başlayış ve bitiş zamanını gösteren bir saat, verimi artırmak için çalışan denetleyiciler, ustabaşları ve ya duvarlarda program panoları görünmüyor.

Ford Model T'nin döneminden beri çok şey değişti. Bu otomobil olağanüstü başarısını, kullanışlı, emniyetli, dayanıklı ve ucuz oluşuna borçluydu. Model T üretmek için kurulan fabrika, bir standartlaşma harikası olduğu için bu otomobilin ucuz olması normaldi. Bu fabrika, mükemmel bir seri montaj tesisiydi. Titizlikle belirlenmiş rutin işler, çalışanlar tarafından hergün düzenli olarak tekrarlanıyordu. Bu fabrikada, çalışma saatlerini gösteren bir saat, zamana bağlı olarak verimi artırmaya yönelik çalışmalar, ustabaşları ve program şemaları bulunuyordu elbette. Sonuç ise başarılıydı. Kazanılan bu başarı, sadece ürünlerin mükemmel oluşuna ve onlara yönelik büyük bir pazarın bulunmasına bağlı değildi. Bunun yanında, beklentileri az ve rekabetçi binlerce göçmenden sağlanan ucuz iş gücü, bu başarıda önemli rol oynadı. Montaj tesisinde sürdürülen çalışma, bazı açılardan tarım sektöründeki çalışmaya benzetilebilir. Ama şunu da eklememiz gerekir: Bir topluma yeni dahil olan kişiler, düzen kurma ve ailelerini geçindirme uğruna bir çok fedakârlığa kolayca katlanabilirler.

Ford'un işçilerine karşı tavrı günümüz standartlarıyla kıyaslandığında, bir sonuca ulaşılması mümkün değildir. Ama bu tavır, içinde bulunduğumuz yüzyılın ilk yıllarındaki tipik tavrılardan biridir. O yıllarda işletmenin temel ilgisini, verim ve kâr oluşturmuyordu. Yani, be-

lirli miktarda işe karşılık daha fazla üretim. Bu düşünce zincirinin sonucu olarak da, çalışan işçilerin verimliliğinin artırılması amacıyla, eksiksiz bir çalışma ortamı yaratıldı. Evet, endüstri mühendisliğinin doğum sancıları çekiliyordu. Fabrikaların giderek daha da karmaşıklaşmasıyla birlikte, insanların ve makinelerin birbirleriyle bütünleştirilmesi konusunun ne denli önemli olduğu da kesinlik kazanmaya başladı. Bu alanda çok fazla yerilen bir kişi de Frederick Taylor olmuştur. Taylor, Luther Gulick, Lyndall Urwick, Henry Fayol ve diğer çalışma arkadaşlarıyla birlikte “bilimsel işletmecilik” alanını geliştirdi. Bilimsel işletmecilik, komut bütünlüğüne sahip hiyerarşik işletme ve sınırlı kontrol süresi gibi kavramlar içeriyordu. 1900’lü yılların başarılı organizasyon modelleri, ordu, kilise ve büyük hükümetlerdi. Bu nedenle, bilimsel işletmecilik şu kavramları önerdi: Yukarıdan-aşağıya otorite, iş tasarımının standartlaştırılması ve davranışın aynılığı. Bilimsel işletmecilik, fabrikalarda çalışan insanları makinelerin parçaları olarak görüyordu ve yapılacak işleri bu anlayışa göre tasarlamaya çalışıyordu. O zamanlarda, bilimsel işletmeciliğe ait kavramlar, üretimin artırılmasında büyük başarı kazanmıştı. Oysa bugün, bu kavramların zalimce olduğu düşünülüyor. Birazdan göreceğimiz, o dönemin ünlü alıntısı, Taylor tarafından Schmidt adlı bir demirci hakkında söylenen sözlerden yapılmıştır. Taylor, verimi % 350 artırmak amacıyla Schmidt’in işini (pik demir işleme işiydi) yeniden tasarlamıştı. Bilimsel işletmecilik, fazla mesaiye bağlı ücret sistemini onaylıyordu. Böylece, verimlilikteki artışa bağlı olarak Schmidt’in ücreti % 60 artırılmış olacaktı. Bu sonuç, Schmidt’i fazlasıyla sevindirdi ve sendika öncesi dönemde öykünün mutlu sonla bitmesini sağladı. Taylor, daha sonra bunu şöyle yorumladı: “Düzenli bir meslek olarak pik demir işlemeye uygun bir kişi için aranan ilk koşul, bu kişinin aptal ve yumuşak başlı olmasıdır. Başka şeylerden çok bir öküze benzesin ki işini hiç itirazsız yerine getirebilsin.” Bilimsel işletmeciliği destekleyenlere göre, işin tasarımı önemliydi. Çünkü bu tasarım, işçinin işini otomatik biçimde, durmaksızın tekrarlayarak yapmasını sağlamaya yönelikti. Günümüzdeyse, otomasyonu öküze tercih ediyoruz. Gerçekten de sanayi, tuhaf biçimde robotun cazibesine kapılıyor. Sanırım, günümüz işçileri, öküzler kadar yumuşak başlı değiller.

İlk endüstri mühendislerinin temel araçlarından biri olan kronometre, klasik üretim tesisine mahsus standartlaştırmanın ortaya çıkmasına yol açmıştır. İlk endüstri mühendisleri, bazen insanlara makineymiş gibi davranmakla suçlanırlar. Geçmiş düşününce, belli ölçüde suçlu oldukları söylenebilir. Ama kesin olan birşey daha var: Bu yaklaşım, yüzyılın dönemecinde imalat verimliliğini konusunda olağanüstü bir başarı göstermiştir.

İmalat sürecinde bilimsel işletmeciliğin birçok yönüne bugün bile rastlayabiliriz. Ama işçilere yönelik tavırlar, artan eğitim düzeyine, sendikalara ve kendi menfaatlerine daha fazla önem veren iş birliklerine bağlı olarak daha düzgün bir hale gelmiştir. 1930'larda sanayi sektöründe başlatılan "insan ilişkileri" hareketi, insanların işteki performanslarının fiziksel olduğu kadar psikolojik faktörlerden de etkilendiğini gözler önüne seriyordu. Bu anlayışı destekleyen ünlü bir deneyler zinciri de, Hawthorne'un *Western Electrical Company* için yaptığı çalışmalarıdır ("Hawthorne" etkisinin temelini oluşturan "Hawthorne" deneyleri -Hawthorne etkisi, deneklerin gözlemlendiklerini bildiklerinde işlerini daha iyi yapma eğilimidir).

Bu deneyler, aydınlatmanın verimlilik üzerindeki etkilerini araştırıyordu. Aydınlatma seviyeleri değiştirilerek çeşitli aydınlatma seviyelerinde çalışan işçilerden oluşan deney grupları ile standart aydınlatma altında çalışan işçilerden oluşan kontrol grubunun verimliliği karşılaştırılıyordu. Başlangıçta, aydınlatma artırıldıkça test grubunun verimliliği de artmaya başlıyordu. Bu bulgu, deneyi yapan kişilerin beklentilerine uygundu. Ama diğer taraftan, kontrol grubunun verimliliği de artıyordu. Deneyi yapanlar, deney grubunun çalıştığı ortamdaki aydınlatma seviyesini düşürmeye başladılar. Verimlilik yine de artmaya devam etti. Bu deneylerin sonucuna göre, bazı işçiler, kaydedilen verimliliği dolunay ışığına yakın bir aydınlatma seviyesinde bile sürdürüyorlardı. Yani sonucu etkileyen kesinlikle başka birşeydi.

Başka bir deney dizisinde ise, önce özel bir deney odası hazırlandı. İşçilerden oluşan bir deney grubunun, ürünleri bu odanın içinde monte etmesi istendi. Bütün deneysel değişkenlerin denetlenmesi amacıyla işçiler, düzenli olarak tıbbi kontrolden geçirildi-

ler. Ayrıca, uyku saatleri ve diğer kişisel özellikleriyle ilgili bütün bilgiler de kaydedildi. Bir gözetmen, düzenli olarak odada bulundu ve olan biten herşeyi eksiksiz biçimde kaydetti. Bunun yanı sıra, işçilerle düzenli olarak görüşmeler yapıldı. Bu görüşmelerde, işçilere yakın ilişkiler kurulmaya ve işçilerin güvenini kazanmaya çalışıldı. İki yıldan fazla süren deney boyunca, çalışma koşulları geniş ölçüde değiştirildi ve verimlilikte genel bir artış eğilimi saptandı.

Deneyler, yapıldıkları dönemde radikal olarak nitelendirildiler. Ulaşılan sonuç ise şöyleydi: İnsanlar, saygı gördüklerini hissettiklerinde ve insanca yönetildiklerine inandıklarında üretim miktarları artıyordu. Psikolojik faktörler, bilimsel işletmeciliğin ilkeleri kapsamında tam olarak değerlendirilememişlerdi; ama yapılan çalışmaların sanayiye katkıda bulunmaya yönelik olduğu açıktı. İnsan ilişkileri hareketi ise, işçilerin moral ve motivasyonlarının yükseltilmesi gerektiğini iddia ediyordu. Bunu takip eden yıllarda çalışma ortamının ve işçilerle işverenler arasındaki ilişkilerin iyileştirilmesine çalışıldı. Şirketler, psikolojik danışmanlık birimleri kurdular, psikologlar istihdam ettiler ve anlayışlarını değiştirmeye başladılar. Artık kendilerini, parçaları birbiriyle değiştirilebilen kurumlar olarak görmek yerine bireyler topluluğu olarak görmeye başladılar. Ancak, yukarıdan-aşağıya yönetim ve ayrıntılı görev tanımlamaları yerlerini koruyordu. Ama işin kendisi, daha tatminkâr bir hale gelmişti. Kronometreler hâlâ kullanılıyordu; ama sendikalar, buna ilişkin yeni kısıtlamalar getirmeye başlamıştı.

II. Dünya Savaşı süresince, sanayiden tuhaf işler talep edildi. Çünkü genç insanlar savaşa katılmışlardı ve sanayinin işgücü potansiyeli, kadınlar gibi gelenek dışı işçilerden oluşmaya başlamıştı. İnsancıl mühendislik yaklaşımları, işçilere uygun iş merkezlerinin, görevlerin ve araçların yeniden tasarlanmasını mümkün kıldı. Motivasyon, vaat ve işbirliği savaş boyunca görev başındaydı. Ürünler ve süreçlerle ilgili teknik uzmanlaşma artıyordu (örneğin, çok kısa bir zaman aralığında, özgürlük gemilerinin üretilmesi için büyük ölçekli kaynakçılık uygulanması gibi). Bu faktörler sayesinde Amerika Birleşik Devletleri, II. Dünya Savaşı sonrasında üretim alanında uluslararası üstün güç olmayı başarmıştı.

Artan gelir ve beklenti düzeyi, sendikal etkinliklerle birleşerek, üretim işçilerinin hayat standartlarıyla daha fazla ilgilenilmesine yol açtı. Ücretler ve faydalanımlar arttı. İş saatleri kısaldı, kafeteryalar, restoranlar ve çalışma mekanları yeniden düzenlendi. Gürültü seviyesi azaltıldı ve güvenlik daha fazla önemsenmeye başlandı. Otomasyon, elle yapılan sıkıcı, yorucu ve yıpratıcı ağır işin yerini aldı. Ama, üstün bir beceri isteyen ve bu nedenle tatminkar olan işleri de modası geçmiş bir hale getirdi. Bir birey olarak işçi, Model T'lerin döneminde olduğu gibi ücrete bağımlı bir köle değildi artık. Buna karşın, seri üretimin işçiler üzerindeki etkilerinin nasıl olacağı hâlâ merak konusuydu. Montaj tesislerindeki işler, tercih edilen işler listesinde pek de üst sıralarda yer almıyordu. Yine de, ücretler tatminkârdı. Böylece, Amerika Birleşik Devletleri'nde iş gücünün verimliliği artmayı sürdürdü.

Öte yandan, üretim tesislerinin ve süreçlerinin tasarımı, II. Dünya Savaşı'ndan sonra daha da uzmanlaştı. İşlem araştırma ve üretim işletmesi sahalarında çalışan uzmanlar, fabrikaların uygun alanlarda kurulmasına ve montaj tesislerinin daha iyi tasarlanmasına ilişkin teknikler ve yeni iş programlama araçları geliştirdiler. Yeni teknikler sayesinde, her bir işçi belirli bir işleve sahip olacaktı. Bu işlevler, mümkün olan en kısa sürede ve en iyi biçimde yerine getirileceklerdi. Envanterin kontrol edilmesi ve dikkatle izlenmesine yönelik daha kullanışlı yaklaşımlar geliştirildi. İstatistiksel kalite kontrol kullanımı rutinleştirildi. Bu arada dijital bilgisayarlar, bu tür verileri sadece izlemekle kalmıyordu; yanı sıra, bu verileri işletmecinin kolayca kullanabileceği biçimlere dönüştürüyordu.

Diğer ülkeler kendilerini II. Dünya Savaşı'nın olumsuz etkilerinden kurtarmaya başlamışlardı. Öte yandan, Amerika Birleşik Devletleri kendisini bu ülkelerin modern fabrikalarıyla ve yüksek motivasyonu ile rekabet edeceği zorlu bir mücadeleye girmiş buldu. Sonuçta, üretime ilişkin felsefemiz ve yaklaşımımız değişti. Bunun nedeniyse, belli ölçüde de olsa şu gerçeğin fark edilmesinden kaynaklanıyordu: Üretim, rekabet açısından kilit noktaydı. İşte sonunda bunu anlamıştık. Ama bu değişim, aynı zamanda yeni teknolojiye ve değişen toplumsal tavırlara da bağlıydı.

Örneğin, belirli durumlarda üretim işçilerinin can sıkıntısını hafifletmek uğruna onlara daha karmaşık görevler vermek zorunda olduğumuzu öğrendik. Bunu bir ölçüde Avrupa'da yaşanan deneyimlerden, örneğin Volvo'nun İsveç'in Kalmar kentindeki yaratıcı ve ilerici üretim fabrikasındaki uygulamalarından öğrendik. Burada, işçilerden oluşan ekiplere, bir otomobilin tamamını monte etme görevi verilir (Burada, standart parçaların kullanıldığını aklımızda tutarak zırh imalathanesini gözümüzde canlandıralım). İşçilerin görevlerini işletmecilerden daha iyi anladığını da gördük. *General Motors*'un Packard Bölümü, Mississippi'de yenilikçi bir fabrika kurdu. Bu fabrikadaki işçiler, vardiya usulüyle çalışıyorlardı. Görevleri, monte edilecek parçaları kesin teknik ve ekonomik özelliklerde çalışır hale getirmektir. Ekipler halinde çalıştılar, kotaj sanayileriyle alt-sözleşmeler yaptılar, görev dağılımlarını ve program listelerini benimsediler; ve amaçlarını başardılar. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki birçok şirket, kalite halkalarını ve işçilerle işletmeciler arasında daha fazla etkileşim sağlayan diğer mekanizmaları geliştirdiler. Bunların hepsi de başarılı oldu. İşlerin yapılış biçimini geliştirmek ve ürünlerin kalitesini artırmak için işçilere daha fazla sorumluluk vermemiz gerektiğini de öğrendik.

Envanterin yatırımı temsil ettiğini öğrendik ve "Tam Zamanında" (*Just-In-Time*) yaklaşımını benimsedik. Bu yaklaşım, malzemenin ihtiyaç duyulduğu miktarda fabrikaya ulaştırılmasını sağladı. Böylece, fabrikalar ile onlara malzeme ve parça sağlayan kaynaklar arasında daha iyi ilişkiler kurulması zorunlu oldu. İşletmeciler ile işçilerin tavır ve beklentilerini değiştirerek; bütün mühendislik aşamalarında ürünlere daha fazla özen göstererek; ölçümlerde daha da uzmanlaşarak; malzeme ve parça sağlayanları üretim sürecine daha iyi dahil ederek (öyle ki, bu kişiler ürünlerin kalitesinden kendilerini sorumlu tutacaklardı) ürünlerin kalitesini artırabileceğimizi öğrendik.

Bugün ise, yeni ürünleri pazara ulaştırmak için gerekli olan süreyi kısaltmaya çalışıyoruz. Ayrıca, hem maliyeti düşürmeye hem de pazara ait taleplerde meydana gelen değişikliklere daha iyi yanıt vermeye uğraşıyoruz. Amerika Birleşik Devletleri'nin üretim kapasite-

tesini geliştirmeye yönelik bugünkü hareketin bir avantajı da şu: Artık başkalarından, özellikle de Japonlardan birşeyler öğrenmeye istekli gibiyiz. Japonların imalata yönelik “Kanban” yaklaşımını inceliyoruz ve bir üründen diğeriine büyük bir hızla değişebilen çok yönlü montaj tesislerine ilişkin yeni şeyler öğreniyoruz.

Dikkat çekici bir örnek de, Milwaukee’de Allen-Bradley⁽²⁾ tarafından tasarlanmış tesisdir. Bu tesis, dört farklı tipte kontaktör (motor anahtarı) ve üç değişik tipte elektrik rölesi üretmek için tasarlanmış. Bu röleler, 1,025 değişik müşteri spesifikasyonuna sahip olabiliyor. Tesis, başlama komutunun verilmesi üzerine yirmi dört saat içinde bu ürünleri çok yüksek miktarlarda ve eski tesislerden daha ucuza üretebiliyor. Örneğin, tipik bir kontaktörün maliyeti 13,25 dolardan 8,35 dolara düşürüldü. Eski maliyetin % 10’u doğrudan iş gücüne ödeniyordu (Bu, yeni tesiste sıfıra düşürülmüştür). Bu düşük maliyet, genel masraflarda takdir edilebilir bir tasarrufu yansitmaktadır. Bu tasarruf, ambar, envanter, denetleyici elemanlar ve kontrol görevlilerine duyulan ihtiyaın ortadan kaldırılmasıyla başarılmıştır. rnler, bu yeni maliyetlere bağlı olarak, rahatlıkla global anlamda bir rekabeti teşvik edebilirler.

Komutlar, Allen-Bradley’nin bölge satış bürosundaki bilgisayara girildikten sonra, şirketin Milwaukee’de bulunan ana dağıtım bilgisayarına aktarılıyor. Her sabah saat 5:00’te, birgün öncesine ait komutlar, tesisi kontrol eden daha küçük bir bilgisayara yükleniyor. Bu küçük bilgisayar, komutları ayrıntılı üretim işlemlerine çeviriyor ve uygun bilgileri, Allen-Bradley tarafından imal edilmiş olan bir ana kontrolöre gönderiyor. Ana kontrolör, bu verileri 26 ayrı kontrolöre iletiyor ve bu kontrolörler de, fabrikadaki makinelere ne yapmaları gerektiğini bildiriyorlar. Tesis, iş yüküne bağlı olarak farklı hızlarda çalıştırılabilir ve bir saatte, kullanıma hazır 700 birim üretebiliyor. Parçalar, ihtiyaç duyulduğunda kullanılacak yedek bir stokla birlikte otomatik olarak üretiliyor. Ancak, yedek parçaların tesiste depolanabilecek kadar az olmasına zen gösteriliyor. 3,500’den fazla veri toplama noktasıyla 350 montaj test noktası içeren istatistiksel kalite kontrolü, üretim süreciyle btnleştiriliyor. Veri toplama ve montaj test noktaları, ürünleri her aşamada kontrol ediyor. Mon-

taj işleminden sonra, parçalar otomatik olarak paketleniyor, etiketleniyor ve hemen nakledilebilecek biçimde düzgün sıralarda çeşitlerine ayrılıyorlar. İmalat ve montaj sürecine fiilen hiçbir insan katılmıyor. Oysa bu işlemler otomatik olarak yapılmasalardı, 100'den fazla insana ihtiyaç duyulacaktı. Tesis, gerektiğinde makineleri onaran (herhangi bir arıza olması durumunda uyarı ışıkları yanıyor) ve hammaddelerin ulaşımını sağlayan yedi kişi tarafından idare ediliyor. Şirket, hammadde iletiminin otomatikleştirilmesiyle ve bilgisayar tabanlı ses-simulasyon sistemiyle ilgili deneyler de yapıyor. Bu sistem, tesiste herhangi bir hata olması durumunda insan/operatörlere hatayı bildiriyor. Allen-Bradley, tesisin birgün tek bir kişiyle çalıştırılabileceğini ümit ediyor. Sonuçta biz de, imalat ve üretimi eğitim sistemimize yeniden dahil ediyoruz. Mühendislik ve iş okulları, işlem işletmesine, imalata ve üretimin diğer yönlerine daha fazla önem veriyorlar. Sanayi ve üniversitenin ortaklaşa hazırladığı karma programlar ve yeni meslek programları, birçok yerde geliştiriyor. Genellikle bu programlar, konuya yeni yeni hassasiyet gösteren hükümet kuruluşları tarafından destekleniyor. Artık rekabetçilik, Amerika Birleşik Devletleri'nde uğultu çıkaran bir sözcük oldu. Üretim konusu da sürekli vurgulanıyor.

Şimdi, mühendislik ve para arasındaki ilişkiye yani, teknoloji ve iş dünyası arasındaki sıkı bağa bakalım.

Para ve İş

Parayı Veren Düdüğü Çalar mı?

Mühendisliğin sadece kendi ayakları üzerinde durmadığını biliyoruz. Kitabın önceki bölümlerinde de değindiğimiz gibi mühendislik ve teknolojinin içinde bulunduğu ortamın temel bir belirleyicisi var: İş dünyası. Ve bu dünyanın vazgeçilmez ögesi, para. Bir zamanların ünlü mucidi İskenderiyeli Heron bile, yüce amaçlarla tasarladığı mekanik tapınak kapılarının inşasında para ve teknik yardıma ihtiyaç duymuş olmalı. Sanırım, bu desteği rahiplerden sağlamıştı. Gerekli parçaların yapımında da, o zamanların teknisyenlerinden yardım talep etmişti. Günümüzdeyse durum hayli karmaşık. Modern teknoloji söz konusu olduğunda, muazzam miktarlarda para ve işgücüne ihtiyaç duyuluyor. Mühendis, bu ortamın vazgeçilmez öznesi olduğu için de para ve insan kaynaklarıyla kısıtlanıyor.

Bu durum, içten içe bir ironi taşıyor. Yaygınlaşmış bir kaniya göre mühendisler, makineye benzer ve asla para peşinde koşmazlar. Çalışmaktan, laboratuvarlardan ve zeki görünmekten hoşlanırlar. Sanırım, mühendislik eğitimi almak isteyen genç öğrenciler, genellikle bu kaniya kanıp mühendis olmayı tercih ediyorlar. Onlar

için mühendislik, iş politikası ve düşük statü gibi sıkıcı konulardan kaçmanın bir yolu. Bu tür öğrencilerle karşılaştığımda bıyık altından gülerim hep. Çünkü bilirim ki çok geçmeden “acı” gerçeği öğreneceklerdir. Gerçekten de, mühendisin değişmez bir yazgısı var sanki. Başarılı bir mühendis olmanın tek yolu da, bu yazğıdan geçiyor gibi; yani, paranın ve insanların yöneticisi olmaktan.

Yeni mezun olmuş bir mühendis, çalışma hayatına genellikle stajyer mühendis olarak başlar. Bu eğitim dönemi gereklidir; çünkü mühendisliğin çoğu yönü okulda öğretilmez. Mühendislik öğrencileri, mezun olmak üzereyken çoğunlukla bir tür karamsarlığa kapılırlar. Mühendislik yapabilmek için yeterli olmadıklarını düşünürler nendense. Yeterli pratik bilgi ve tekniği beceriyi öğrenemedik diye kaygılanmaya başlarlar. Aşırıya kaçmamak koşuluyla, bu kaygılanmalarda bir doğruluk payının bulunduğunu itiraf edeyim. Ancak, bu bilgi eksikliği uzun vadeli bir sorun olmadığı gibi, işverenler için de beklenmedik bir durum değildir. Mühendislik okulları, pratik çalışma sürecinde daha iyi öğrenebilecek şeyleri öğretmeye gerek duymazlar. Çünkü her şeyden önce bu tür bilgilerin işe özgü bir nitelik taşıdığına inanırlar. İnadıkları diğer bir görüş de şudur: Sanayi sektöründe çok sık bulunan teşvik edici ya da motivasyonel düzenekler olmaksızın bu tür bilgilerin öğretilmesi çok zordur. Örneğin, ne zaman ve nasıl yardım isteneceğini bilmek, mühendislik uğraşı açısından hayati bir önem taşır; ama bunun okulda öğretilmesi neredeyse imkansızdır. Çünkü eğitim sistemi, yapılacak işin nasıl değerlendirileceğini öğretme amacıyla kurulmuştur. Okullarda verilmek istenen düşünce biçimi ise, dayanışmadan çok rekabet anlayışına dayanır. Ayrıca, öğretim süresi de oldukça kısadır. Bu kısa eğitim süreci boyunca olabildiğince çok konuya değinilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, okullarda grup projelerine fazla zaman ayrılamamaktadır. Zaten kısıtlı olan projelere, bir de bütçe kısıtlamalarının eklenmesiyle birlikte acınası bir sonuç ortaya çıkar. Sözelimi, tekerin arabaya takılması gibi basit bir montaj projesinde bile birkaç kuruş tasarruf edilmesine çalışılır. Oysa bu tür projeler, ciddi bir eğitim açısından oldukça önemlidir. Ama bunu anlatmanın hiçbir yolu yoktur. Bunu anlayabilmek için öncenlikle işin içine girilmesi gerekmektedir. Yani, bir otomobil şirketinde çalışmak,

bir ekipte yer almak ve eğitim sisteminin cimriliğinin milyonlarca araba üzerindeki etkilerinin neler olacağını görmek gerekmektedir.

Stajyerlik ya da çıraklık döneminin süresi, yeni mezun olmuş bir mühendisin işini eğitimiyle birleştirmede ne denli başarılı olduğuna bağlıdır. Çıraklık dönemi, modern kuramlar (mekanik, yazılım tasarımı, katı-hal devresi tasarımı) gerektiren bir işte oldukça kısa olabilir; çünkü okuldan yeni mezun olan kişiler, genellikle yaşlı mühendislerden daha taze bilgilerle işe başlarlar. Daha pragmatik alanlarda ise (imalatçılık, makine tasarımı, petrol üretimi gibi), işin yolunu yordamını öğrenmek insanın yıllarını alabilir.

Ancak, aynen okul yıllarında olduğu gibi bu çıraklık döneminde de genç mühendisten beklenen şeyler vardır. Mesela, kendisine ayrılan bütçenin sınırlarını aşmaması istenir. Ya da, diğer mühendislerle, görevlilerle, müşterilerle, satın alma veya satış bölümünde çalışanlarla ve montaj işçileriyle ilişkiye girmesi beklenir. Yani, işin yapılma sürecine doğrudan veya dolaylı olarak katılan herkesle etkileşimde bulunması zorunludur. Ama çok kısa bir süre sonunda (sözgelimi, bir yıl veya daha fazla bir süre) genç mühendis, kendisinden daha genç yeni mühendislerin işe alındığını ve kendisinden yardım istediklerini görecektir. Kılavuzluk payesi, kolay ve çabuk edinilir. Sanayi sektöründe çok genç kişilerin “kıdemli mühendis” ünvanına sahip olmalarının nedeni de budur.

Bir sonraki aşama, çalışma grubu veya küçük bir proje üzerinde resmi sorumluluk alınmasıdır. Mezun olduktan altı ay sonra Hava Kuvvetleri'ne katılmış ve subay olmuştum. Ne yaptığımı bilmememe karşın, sırf kıdemli olmam nedeniyle projelerin sorumluluğu bana verilmişti. Jet İtki Laboratuvarında ise, işe girer girmez donanım parçalarının tasarımı sorumluluğuyla görevlendirildim. Üç yıl sonra, 15 kişinin sorumluluğunu üstlenerek grup danışmanlığına “terfi ettirildim”.

Kişi, resmi yöneticiliğe geçer geçmez teknik konuların yanı sıra bütçelerle, çalışma programlarıyla, çalışanların bunalımlarıyla, motivasyonla, maaşlarla, kişilik çatışmalarıyla, aşk ilişkileriyle, hastalıklarla, tutkularla ve değer yargılarıyla da uğraşmak zorunda kalır. Muhtemelen kısa bir süre sonra da, bütçelerin hazırlanması, yeni

projelerin belirlenmesi ve şirket ilkelerinin şekillendirilmesi gibi konularla ilgilenmesi gerekir. Üstlenilen sorumluluk artmaya başladıktan da, kendisini ayrıntılı teknik işler yerine genel yöneticilik yaparken bulur. Çoğu mühendislik öğrencisinin kaçınılmaz yazgısı, işte budur. Oysa üniversite yıllarında öğrencilerin çoğu, yöneticilik işini asla kabul etmeyeceklerini söylerler. Ama çok azı, kendilerine böylesi bir teklif yapıldığında bunu geri çevirir. Çünkü yöneticilikle ilgili işler, kişinin ön plana çıkmasını sağlar. Ayrıca, sıradan teknik işe kıyasla maaşın daha yüksek olması, daha fazla prestij ve nüfuz sunulması, yöneticilik işini cazip kılmaktadır.

Mühendislerin yönetici olması, iki taraflı bir nedene dayanır. Her şeyden önce, mühendislerin birçok özelliği, yöneticilik açısından değerlidir. Mühendisler analitiktir, sorunlara nicel biçimde yaklaşır, genellikle çok çalışır ve nesneleri “onarma” yeteneklerine güvenirler. Bu nedenlerden ötürü de çok sayıda mühendis, iş idaresi okullarının master programlarına kabul edilir. İkinci olarak, teknoloji tabanlı şirketlerdeki yöneticiler, proje ve araştırmaların yönelimleri hakkında ustaca karar vermek istiyorlarsa teknolojiyi anlamaları zorunludur. Kendilerine rapor veren mühendislerin saygısını kazanabilmeleri için teknik açıdan bilgili olmaları gerekir. Kuruluşlar, bu yüzden, teknik eleman olmayan genel idarecilere mühendisliği öğretmektense yöneticileri mühendisler arasından seçmeyi tercih ederler.

Bu davranış, teknoloji tabanlı şirketlerin çoğunda çatışmaya yol açmaktadır. Şirketteki üst düzey yöneticiler, başarılı mühendislerin ayrıntılı teknik işlerde kalmasını tercih ederler. Çünkü yöneticilere göre, bu mühendisler şirketin başarısı açısından paha biçilmez değerlere sahiplerdir. Böyle düşünen bazı şirketler, ikili merdiven olarak adlandırılan bir sistem uygulamaktadır. İkili merdiven sistemiyle, üstün başarı durumunda ve kıdem sisteminde, teknik görevlilerin de yöneticilerin de aynı şekilde ödüllendirilmelerine çalışılır. Bununla beraber, mühendislere yöneticilik görevi teklif edildiğinde durum değişir. Kararlara şirket politikası düzeyinde katılmanın cazibesine ve çorbada daha çok tuzunun bulunmasının çekiciliğine karşı koymak bir mühendis için çok zor olacaktır. Ayrıca, çoğu şirket, mü-

hendislerinin teknik işlerde kalmasını istediğini belirtse de, yönetici olan mühendislere daha fazla maaş, daha geniş bürolar, daha iyi park yerleri vermekte ve daha çok saygı göstermekte gibidir.

Gelin önce parayı ayrıntılı olarak ele alalım. Bir mühendisin maliyeti nedir? Amerika Birleşik Devletleri'ne baktığımızda, ülkede yaklaşık 2 milyon mühendis bulunduğunu ve gayri safi milli hasılanın 4,25 milyar dolar civarında olduğunu görüyoruz. Söz konusu gayri safi milli hasılanın yaklaşık olarak 1,5 milyar doları, inşaat, imalat, ulaşım, kamu hizmetleri ve iletişim sektörlerine aittir, ve bu sektörlerin hepsi de, büyük ölçüde mühendislikle ilgilidir. Fazladan bir 0,5 milyar doların da mühendislerin çalıştığı diğer alanlara ait olduğunu varsayalım (Böylece aritmetik hesaplama da kolaylaşacak.). Bu sektörlerdeki paranın hepsi de, ne mühendisler için ne de mühendisler tarafından harcanır. Nicel düşünme egzersizlerimizi anımsayarak, bu paranın % 20'sinin bu işe ayrıldığı tahmininde bulunabilir ve Amerika Birleşik Devletleri'nde her bir mühendisin, her yıl için harcadığı paranın 200,000 dolar olduğu sonucuna ulaşabiliriz. 1988 yılına ait Amerika Birleşik Devletleri İstatistik Özeti, özel sektördeki araştırma ve geliştirme çalışmalarına katılan her bir bilim adamı veya mühendisin maliyetinin 1985 yılı için 140,000 dolar olduğunu belirtmiştir. Enflasyonu ve bazı mühendislerin daha az bazılarının ise daha çok paraya mal olduğu gerçeğini hesaba katarsak, doğru yolda olduğumuzu söyleyebiliriz. Bu problemi başka bir yönden ele alalım. Bazı kuruluşlar, öncelikle mühendislik kuruluşlarıdır. Mesela Jet İtki Laboratuvarı, tüketim ürünleri üretmediği gibi kâr amacı da gütmmez. İş dünyasındaki yeri, sadece yeni aletlerin tasarımı, yapılması ve işler hale getirilmesiyle ilgilidir. Bu Laboratuvarda, yaklaşık 4,300 mühendis, bilim adamı ve teknisyen çalışmaktadır. Laboratuvarın yıllık bütçesi ise, hemen hemen 1 milyar dolar civarındadır. Bu rakamların dağılımı, her teknik görevli için 230,000 dolar civarında bir harcama yapıldığı sonucunu veriyor. Normalden yüksek bir rakam belki ama, uzay gemisi işi oldukça pahalıdır. Aslında, Jet İtki Laboratuvarı'ndaki bir mühendisin doğrudan maliyeti (maaş, ek ödenekler, yardımlar, hizmet tazminatı ve büro giderleri) ortalama olarak 110,000 dolar civarındadır. İki rakam arasındaki 120,000 dolarlık fark, mühen-

dislerin fikirlerini uygulamaya geçirmenin maliyetidir. Jet İtke Laboratuvarı gibi kuruluşlarda, teknik olmayan birçok görevli çalışır. (Söz konusu Laboratuvar'da, teknik olmayan görevlilerin sayısı, 1,300 civarındadır). Ancak bu görevliler, bir anlamda mühendislik işlemine yardımcı olmaktadırlar. Bu nedenle de, bu kişilerin maliyeti, 120,000 dolarlık farka dahildir.

Yelpazenin diğer ucuna ilişkin bir örnek vereyim: Jeoteknik danışmanlığı yapan bir arkadaşım, bürosunda tek bir mühendis çalıştırmasının kendisine yaklaşık olarak 100,000 dolara mal olduğunu söylüyor. Danışmanlık şirketleri, donanım kurmadığı veya yazılım üretmediği için de bu rakam, sadece büro kirası, hizmet tazminatı, maaş, ek ödenekler, yolculuk ve telefon masrafları, bilgisayarla ilgili harcamalar ve büro masraflarını kapsamaktadır.

Mühendisler, bilgisayarların en büyük tüketicilerindendir. Ayrıca, teknisyen ve teknik ressamların yardımına da ihtiyaç duyarlar. Bunların hepsi de para gerektiren şeylerdir. Diğer taraftan tasarım süreci de, modellerin ve prototiplerin yapımını gerektirir. Ama aynı tipten tek bir parçanın imali bile oldukça pahalıdır. Mühendisler, bir ürünün maliyetinin zaman içindeki değişimini gösteren öğrenme eğrisinden bahsederler. Bir ürünün maliyeti başlangıçta oldukça yüksektir. Zaman geçtikçe insanlar üretim sürecini ve üretimi basitleştirecek yeni buluşları daha kolay elde ederler. Araç ve gereçler büyük miktarlarda satın alınmaya başlandıkça, ölçek ekonomileri ortaya çıkar. Zaman içinde fabrika ve teçhizatın amortize edilmesiyle birlikte de, üretim maliyeti düşer. Üstelik, prototipler, bu eğride yer almamaktadır. Örneğin, bir otomobil prototipinin üretimi, yarım milyon dolara malolur; çünkü bütün parçaların elle şekillendirilmesi gerekmektedir.

Mühendisler, patenti alınabilecek fikirler üretirler. Daha önce de-

1902 yılında Sears Roebuck şirketinin kataloğunda gururla sunulan bir ürün. Yüzyıl dönümünde teknolojinin Amerika Birleşik Devletleri halkı üzerindeki çekim gücünü çok iyi yansıtıyor. Katalog çeşitli sanayi ürünleriyle dolu. Bu ürünlerin çoğu, müşterinin teknik kabiliyetini geliştirme amaçlı. Postayla sipariş işi, bu tür ürünlerin dağıtımına çok uygun bir işti ve bugün bile hâlâ öyle.

OUR \$18.00 Giant Power Heidelberg Electric Belt

FOR \$18.00 WE OFFER THE GENUINE 80-GAUGE CURRENT HEIDELBERG ALTERNATING, SELF-REGULATING AND ADJUSTING ELECTRIC BELT AS THE HIGHEST GRADE, VERY FIRST ELECTRIC BELT EVER MADE, AS THE ONLY SUCCESSFUL ELECTRIC BELT TREATMENT, as the most wonderful relief and cure of all chronic and nervous diseases, whether of the digestive tract or elsewhere, peculiar to men. NO MALARIA, NO WIND, NO CAUSE, OR HOW LONG STANDING.

\$18.00 IS OUR LOW PRICE. based on the actual cost to manufacture, for this highest grade electric belt, a superior belt to those usually sold, for \$10.00 to \$20.00. Our \$18.00 Giant Power Belt is the result of years of scientific study and experiment. It is the very highest grade, a belt that has all the best features of other belts, with exclusive and distinctive advantages, drawbacks, defects and discomforts, with exclusive and distinctive advantages not found in other makes. Positively wonderful in its quick cure of all nervous and organic disorders arising from any cause, whether of the digestive tract, or elsewhere, and permeates the affected parts; every nerve, tissue and current, stimulates and restores the vitality of the system, and the body responds at once to its healing, vitalizing power; best of strength, superior manliness, youthful vigor is the result.

OUR GIANT POWER 80-GAUGE CURRENT GENUINE HEIDELBERG ALTERNATING ELECTRIC BELT at \$18.00 will do you more good in one week than six months of doctoring. The Heidelberg Electric Belt for disorders of the nerves, stomach, liver and kidneys, for weakness, diseased or debilitated condition of the sexual organs from any cause whatever, is worth all the drugs and chemicals, pills, tablets, capsules, injections and other remedies put together. **HAVE YOU DOCTORED?** Have you perhaps written to some quack, so called institute or self styled men's physician, have you tried various so called remedies for temporary relief. Perhaps you are discouraged, maybe hopeless. Don't give up yet. You need. Just what you should wear. Send for our Giant Power 80-Gauge Current Heidelberg Electric Belt once, wait it according to directions. In a few days, there will be a difference in two days, there will be a marked change for the better, in three days you will experience relief, in a week or two weeks your system will be filled with the grand health giving current, in a month you will be a new man.

OUR GIANT POWER 80-GAUGE HEIDELBERG ELECTRIC BELT AT \$18.00

comes complete with the finest stomach attachment and most perfect, comfortable electric sack suspensory ever produced. The lower illustration shows the style of these attachments, but you must see and examine, wear them, to appreciate the comfort and convenience. The suspensory encircles the organ, carries the vitalizing, soothing current direct to these delicate nerves and fibers, and enlarges this part in a most wonderful manner. The sack suspensory forms part of the circuit. The electric current must traverse everyone of the innumerable nerves and fibers. Every wearing brings the current in contact with the organ; every wearing means that part of the organ is traversed through and through with the strengthening, healing current; means a liveliness imparted, a vigor induced, a tone restored, a joy restored, that thousands of words of medicine and doctors' prescriptions would never give.

DON'T SUFFER IN SILENCE, don't endure in secret. \$18.00 will buy our Giant Power 80-Gauge Current Genuine Heidelberg Electric Belt. \$18.00 will enable you to face the world anew. \$18.00 will bring to you health and strength, vigor, manliness and happiness, a bigger measure for your money, a greater bargain than you can find anywhere else.

ARE YOU IN DOUBT? Have you tried so called remedies without avail and fear to take advantage of this great offer? Do you hesitate because some unreliable firm or doctor took advantage of you? With us you run no possible risk. Let us send you one of our genuine Giant Power 80-Gauge Heidelberg Electric Belt under the liberal condition of our offer. We will send you the belt, then after ten days' fair trial if you have any reason to be dissatisfied, you are not greatly benefited, return the belt to us and we will refund your money.

HOW THE 80-GAUGE HEIDELBERG ELECTRIC BELT IS MADE, EVERY

80-Gauge Electric Belt of the Heidelberg make is the very finest belt that can be put together by scientific, skilled mechanics, hand made and finished in every part. The belt is made of a grade of rubber, particularly for the purpose, absolutely non-conducting, woven non-conducting cloth, forming the very best and perfect insulating case possible.

Sent on 10 Days' Free Trial

man, secured, made of the highest grade materials money will buy, put together by scientific, skilled mechanics, hand made and finished in every part. The belt is made of a grade of rubber, particularly for the purpose, absolutely non-conducting, woven non-conducting cloth, forming the very best and perfect insulating case possible.

THE BATTERY In our \$18.00 Giant Power Heidelberg Electric Belt we furnish the new and genuine Heidelberg battery, consisting of triple cells, producing an 80-gauge current. The battery is made of a secret, highly excitable, metal alloy and composition of silver and copper, a combination producing the quickest, most powerful and lasting current. No battery in any other make can compare in any respect to the Heidelberg. One cell of a Heidelberg battery, with its distinctive triple construction and special composition, has more strength, produces more current, than two cells of the ordinary electric belts usually advertised.

ELECTRODES. Four large and one extra large (five in all) electrodes, secure a fine equal distribution of the current to the proper organs and affected parts. The electrodes are large size, splendid conducting surface, extra full and fluidly silver plated. The four electrodes in back are 2 inches across, the front and largest electrode is 1 1/2 inches across. Wonderful in its treatment of diseases of the stomach, liver and kidneys. Carries the life giving electric fluid straight to the affected parts. The big current bearing electrodes can be adjusted for any position, any part, any organ, bringing the electric fluid in direct force of the current. For a weak or deranged nervous system the electric treatment has splendid results. It stops losses, repairs waste, gives tone to every tissue and muscle. The whole body feels the good effects. No words can describe the change in health, feeling, vitality, even character, from the result of wearing a genuine Heidelberg Giant Power Electric Belt.

EVERY BELT IS PUT OUT UNDER OUR BINDING GUARANTEE at three times the price. Simple, comfortable, efficient. Nothing clumsy about the belt, nothing uncomfortable. No one can tell if you wear it. Complete instructions for use and wear sent with each belt.

CURRENT REGULATOR. Every 80-gauge Heidelberg Electric Belt is provided with our own special and perfect current regulator, a feature imitated by every electric belt maker in the country. By means of this regulating current can be instantly adjusted to any strength desired without removing the belt from the body. You can make it mild, medium or strong, just as you like, just as your case requires. No possibility of your receiving an unpleasant shock, no chance to get a current too strong or weak, tender parts. Six different strengths, different degrees of current are possible. A simple movement of the hand is all that is required. The current is regulated by a simple movement of the hand. The current is regulated by a simple movement of the hand. The current is regulated by a simple movement of the hand.

THE 80-GAUGE CURRENT is marvelous, really magical in its power. Will cure any case, no matter how obstinate, how long standing. Comes up the system, drives out disease, fortifies the body against cold, against sick attacks of any kind. Perfect in its relief and cure of the peculiar diseases of men. For those sexually weak or impotent or suffering from any trouble of the sexual organs the Giant 80-gauge Belt affords relief when everything else has failed. The stimulating alternating current forces a vigorous circulation of blood into the genital glands, enlivening them into a healthy glow. They quickly respond to this infusion of energy, dormant nerves wake up and expand, general circulation is produced, youthful vigor displaces the tired, out feeling, extra power returns. In most cases of sexual weakness the full power of the belt is required, but a cure is certain. The 80-gauge current absolutely doubles the sexual power.

No. 8R3020 OUR 80-GAUGE CURRENT BELT.....\$18.00



FOR QUICK RELIEF

For an ultimate speedy cure of all weaknesses, no matter from what cause, nothing can equal our electric belt. It approaches the 80-gauge Heidelberg Alternating Current Electric Belt at \$18.00. Don't miss it. Don't pay \$25.00 for a cheap electric belt. Don't let a specialist take your money. Send for one of our \$18.00 Heidelberg Electric Belt at \$18.00.

SEARS, ROEBUCK & CO., Dünyanın En Ucuz Ticari İhtiyaç Karşılama Kuruluşu, Chicago, CATALOGUE No. III,

ğindiğimiz üzere, patente başvurma ve alınan patenti savunma süreci için de, ayrıca paraya ihtiyaç duyulur. Sonuçta, mühendisler imal edilebilecek, satılabilecek ve onarılabilecek tasarımlar üretirler.

Üretim süreci, fabrikaların inşa edilmesini, parçaların ve malzemelerin satın alınmasını, makinelerin kurulmasını, aletlerin kullanılmasını ve elbette ki insanlara ödeme yapılması için parayı gerektirir. Pazarlama, dağıtım, ürünlerin bakımı ve muhafaza edilmesi gibi işlerse, daha fazla sayıda insanın işe dahil edilmesini ve bütün bu giderlerin karşılanabilmesi için para sağlanmasını zorunlu kılar. Diğer bir deyişle, mühendislere destek sağlanması ve mühendislerin ürettiği fikirlerin uygulamaya geçirilmesi, devasa miktarlarda para harcanmasını gerektirir. Ama, bu fikirler olmaksızın şirketin geliri sıfır olacaktır.

Mühendisler, şirketin para kazanmasında aktif bir rol oynarlar. Normalde para, ürünlerin ve hizmetlerin bireylere, diğer şirketlere veya hükümete satılmasıyla kazanılır. Amerika Birleşik Devletleri hükümeti, mühendislik aktivitelerinin temel destekleyicisidir. Hükümet, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki araştırma ve geliştirme çalışmalarının neredeyse yarısına yakın bir bölümüne para desteği sağlar. Bunun yanı sıra, gelişkin teknolojik ürünlerden tutun da sırt çantalarına kadar hemen hemen hayal edebileceğiniz herşeyi satın alır. Bütün bu ürünlerin üretiminde ise, mühendislere ihtiyaç duyulmaktadır. Sözgelimi, 1986'da Savunma ve Enerji Bakanlıkları'nda savunmayla ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları için ayrılan federal bütçenin miktarı, 36,9 milyar dolardı. Savunma için yapılan toplam harcama ise, 273,4 milyar dolardı. Bu paranın 70,8 milyar doları uçaklara, 8,7 milyar doları gemilere, 12,2 milyar doları güdümlü füzelere, 4,0 milyar doları cephaneye ve 6,8 milyar doları da bina yapımına harlandı. Demek ki tasarımlar yeni olmasa bile, bu tür şeylerin imal edilmesi için mühendislere ihtiyaç duyuluyor.

Hükümet tarafından karşılanan paranın büyük bölümü, özel sektöre gider. Geri kalanı ise, hükümet laboratuvarları, kâr amacı gütmeyen laboratuvarlar ve üniversiteler için harlanır. Mühendisler, hükümete ait bu paranın harcanmasında olduğu kadar tasarrufunda da rol oynarlar. Hükümetin yeni gelişmeler için ayırdığı para, yapılan teklif-

lerle bağlantılı olarak tahsis edilir. Bu teklifler genellikle hükümet tarafından bir talep bildirilmesi (yani, ihale açılması) üzerine yapılır; ama herhangi bir talep bildirisi olmaksızın da teklif yapılması mümkündür. Bu teklifler, sadece önerilen ürünün veya hizmetin ayrıntılı tanımını, ayrılan bütçeleri ve çalışma programlarını içermezler. Ayrıca, önemli ölçüde mühendislik verisi gerektiren fizibilite çalışmaları da, kapsamları dahilindedir. Jet İtke Laboratuvarı bünyesinde gerçekleştirilen birçok çalışmada görevlendirildim. Bu çalışmalar, daha sonra NASA'ya yapılan tekliflere dahil edildi. Sunuşlarda ve brifinglerde bu tür tekliflerin “satışını” yapmamın istendiği de oldu. Çalışmaları hükümetin parasıyla desteklenen mühendisler için bu oldukça normal bir durumdur.

Hükümete yapılan bir teklif başarılı olunca, ikinci aşamada karmaşık sözleşme ilişkileri gündeme gelir. Bu sözleşmeler kapsamında şunlar yer alır: Tahmin edilebilen basit giderler için ayrılacak sabit ücretlerin belirlenmesi, yapılacak geri ödemeleri, hizmet ücretlerini ve çeşitli ekstra ücretleri tek yekûn altında toplayan düzenlemelerin yapılması (Bahsi geçen ekstra ücretler, işin erken teslim edilmesi, işin teklifle getirilen bütçe içinde tamamlanması, prototiplerin performansı ve bunun gibi şeyler için ödenir). Bu tür sözleşme görüşmelerine mühendisler de katılır; çünkü işin içine sonradan dahil olabilecek bilinmeyenler konusunda tek fikir sahibi olan onlardır. Ancak, Amerika Birleşik Devletleri'nde mühendisliği destekleyen en büyük para kaynağı hükümet değildir. Bu para, tüketicilere, dağıtıcı firmalara ve şebekelere ya da diğer sanayilere yapılan doğrudan satışlar sonucu elde edilir. Mühendislerin, bu konuda da, iş dünyasının parasal boyutuna doğrudan bulaşmış olduklarını görürüz. Örneğin mühendislerin çoğu, pazarlama ve satış işlerinde çalışmaktadır. Hele ürünler teknolojik açıdan uzmanlaşmışsa pazarlama ve satış, hiç tereddütsüz mühendisin işi olur. Eğer benzin kromatografları, nükleer reaktörler veya yüksek basınçlı sistemler satmaya niyetliyseniz, ürünlerin bütün detaylarını anlamış olmanız yetmez. Bunun yanı sıra, diğer mühendislerin konuştuğu dili konuşmanız gerekir. Stanford Üniversitesi'nden mezun olan mühendisler, IBM gibi bir şirkette işe girdiklerinde çalışma hayatlarına, pazarlama ve satış

bölümünlerinde başladıklarını görünce çoğunlukla şaşkına dönerler. Başarılı teknoloji tabanlı şirketlerin çoğu, pazarlama ve satış görevlilerinin mühendis olması gerektiğine inanır ve mühendislerin müşterileri anlaması gerektiğini de düşünürler. Bu nedenle, mühendislerin pazarlama ve satış alanında deneyim sahibi olması gerektiği konusunda ısrar ederler. Müşterinin dikkate alınmaması, 1970’lerde çoğu teknoloji tabanlı Amerikan şirketinin kusurlarından biriydi. Gerçekten de, birçok danışman ve yazar, 1980’li yıllar boyunca “müşteriyle yakınlaşma” mesajını satarak zengin oldu. Mühendislik ve pazarlama işlevlerinin birbirleriyle daha başarılı bir şekilde kaynaşmasını sağlamak için ve mühendislerin hedef kitle hakkında daha iyi bir anlayış geliştirmelerini sağlamak için çok çaba harcadı. Mühendislerinin müşterilerle zaman geçirmesini zorunlu kılan bir çok şirket biliyorum. Eğer satış veya hizmet bölümlerinde değilse, en azından bunu gayri resmi yollarla yapmaları bekleniyor. Sanırım, hayatını hesaplamalarla ve laboratuvarlarda geçirmeyi bekleyen genç mühendise tuhaf görünebilecek bir görev bu. Sonuçta paranın çoğu, ürünlerin satışından ve hizmetlerden gelse bile, diğer kaynaklardan para toplanması bazen gerekli bazen de çekici olur. Bu para, banka kredisinden, stok satışlarından ve girişimci kapitalistlerden sağlanır ya da, araştırma ve geliştirme, karma girişimler veya 1980’de olduğu gibi süprüntü bonoları için kurulan komandit şirketlerden sağlanır (*Süprüntü bonoları ya da junk bonds*, Kredi notları BBB’nin altında olan şirketlerce satılan bonolara verilen isimdir). Bu kaynaklardan sağlanan para, özellikle yeni işlemler veya yeni kurulan şirketler için gereklidir. Potansiyel bir yatırımcının yeni bir teknolojinin fizibilitesine inanması gerektiğini varsayarsak bu paranın toplanmasında yine mühendislerin yardımına ihtiyaç duyulduğu açıktır. Geçtiğimiz otuz yıl boyunca şirketlerin, elektronik ve bilgisayar gibi yüksek teknoloji alanlarına yönelmesinde mühendisler özellikle aktif olmuşlardır.

Böyle bir alanda işe yeni başlayan bir şirketin başarılı olabilmesi için finans, pazarlama, işletme ve teknoloji alanlarında yeterli olması gerekmektedir. Birçok büyük şirket, işe küçükten başlamıştır ve mühendis beyinlerin ürünüdür (Mösyö Hewlett ve Mösyö Packard’ın geç-

mişini düşünün). Uzmanlaşmış teknoloji alanlarında işe yeni başlayan şirketlerin çoğunda mühendisler çalışır. Bu şirketlerde mühendislere sadece ürünlerin tasarımı, imalatı veya hizmet için ihtiyaç duyulmaz. Mühendis, ayrıca, para talebini konu alan iş tekliflerinin dayanak olduğu iş planalarının hazırlanması için de gereklidir. Yeni şirketlere sermaye sağlayan kişiler toy değillerdir. Gerçekten de, girişimcilerin çoğu mühendislik birikimine sahiptir ve birçok şirkette çeşitli işlerde çalışmışlardır. Yani, güvenilir bir iş planının, teknik fizibilite ve pazar potansiyeli açısından ikna edici olması gerekir; ama bunun yanı sıra, araştırma, tasarım, geliştirme ve üretim gibi mühendislik işlevleri açısından inandırıcı olması da zorunludur.

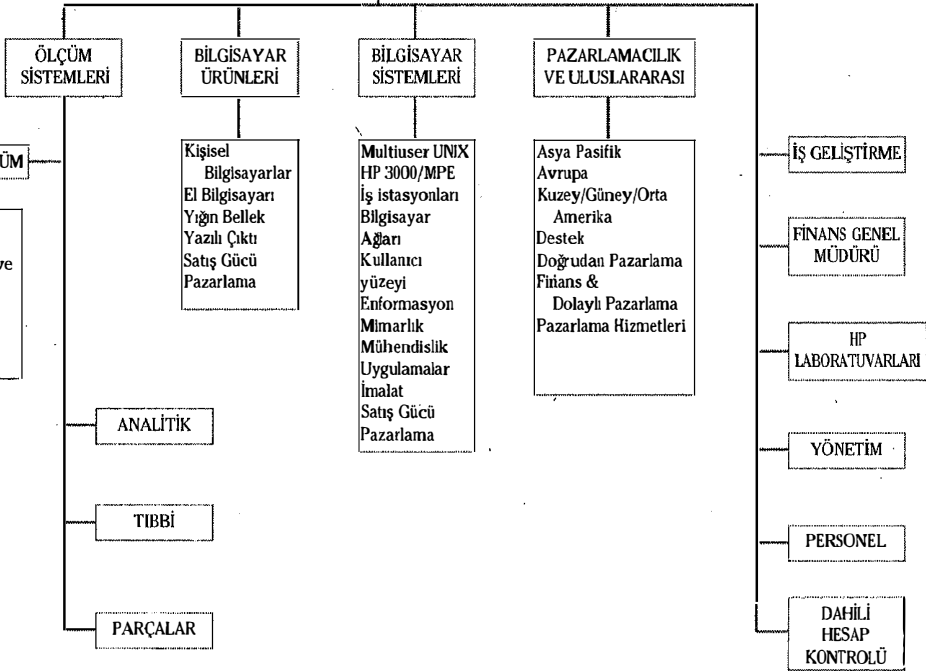
Gelin şimdi parayı bir yana bırakıp insanlara geçelim. Mühendisler genellikle ne tür ortamlarda çalışırlar ve bu ortamlarda ne tip ilişkiler yaşanır? Mühendislerin büyük bir bölümü, resmi kuruluşlarda çalışır. Bu kuruluşlar ise, ister büyük ister küçük olsun, hepsi de hiyerarşik kuruluşlardır. Ancak kuruluşlar, çizelgelerde görüldükleri kadar basit değillerdir. Örneğin, Hewlett-Packard'ın kuruluş çizelgesinde çeşitli alt-kuruluşlar bulunur (Arka sayfadaki şemaya bakınız). Ölçüm Sistemleri Sektörü, şirketin ilk yıllarını anımsatan kuruluş stilini hâlâ korumaktadır. Farklı coğrafi yerleşim birimlerinde bulunan ve belli ölçüde bağımsız olan bölümler, ürün çizgilerinin sorumluluğunu üstlenmişlerdir.

Bu bölümler, kendilerine geniş ölçüde yeterlidirler. Bağımsız küçük bir şirketin sahip olması gereken birçok işlevi yerine getirirler. Diğer taraftan, Bilgisayar Ürünleri ve Bilgisayar Sistemleri Sektörleri büyük ölçüde iç içe geçmişlerdir. Bunlar, kendi yetkilerine sahip büyük şirketlerdir. Hewlett Packard Laboratuvarları, Pazarlama Birimleri ve Uluslararası Birimler, şirket bünyesinde çeşitli görevlerde çalışan kişiler arasında karşılıklı ilişki gerektirirler. Yani bu anlamda toplu etkinliklerdir. Geri kalan kutular ise, birleşik idari gruplardır.

Günümüzde kuruluşlar, insanların içinde bulunduğu ortamların karmaşıklığının giderilmesi amacıyla, farklı işlerde çalışan kişiler arasındaki iletişimi artırmaya çalışıyorlar. Şu anki rekabet ortamı, kaskatı biçimde bir yukarıdan-aşağıya yapı ile bu yapının getirdiği

HEWLETT-PACKARD KURULUŞ ÇİZELGESİ

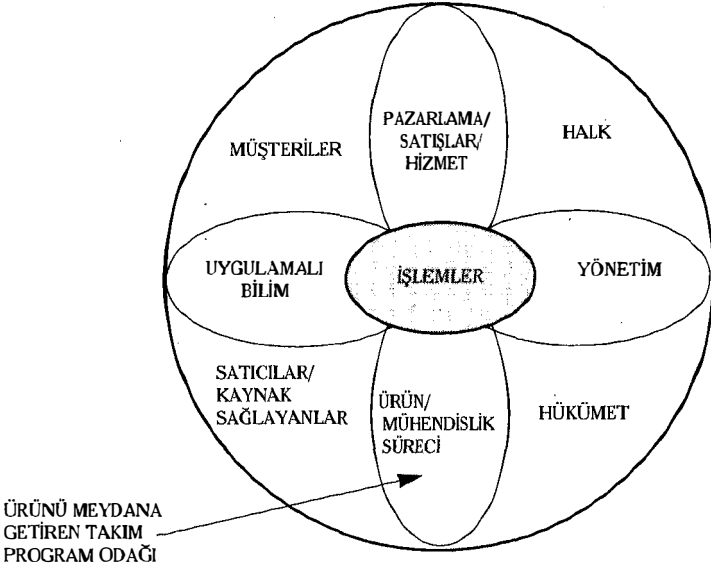
MERKEZ YÜRÜTME BÜROSU



Hewlett-Packard kuruluş çizelgesi.

tembelliğe, zaman kaybına ve yaratıcılık eksikliğine izin vermiyor. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü İmalatçılık Programı Öncülüğü (Leaders for Manufacturing Program at the Massachusetts Institute of Technology) kapsamında yaratılan diyagram, bu yeni yaklaşımın bir örneğini yansıtıyor (yan sayfadaki şekle bakınız). Sonuçta şunu belirtmemiz gerekir ki, temiz ve düzgün, geleneksel hiyerarşik kuruluş çizelgesi, günümüz dünyasında rekabet edebilme açısından görevler arasında bulunması gereken iletişimin ölçüsünü yansıtmaz.

TOPLAM YATIRIM YAKLAŞIMI



Bir imalat kuruluşundaki işlevsel etkileşimler.

Teknoloji tabanlı kuruluşlar, iki farklı iletişim tipini artırmaya çalışırlar. Birincisi, mühendislik bünyesindeki iletişimdir. Diğeri ise, kuruluşun iç ve dış işlevleri ile mühendislik arasındaki iletişimdir.

Mühendislik işlevleri, şirketin ürüne, işlem tipine ve lokasyona göre belirlenen farklı bölümlerine dağıtılabılır. Bu işlevlerin, bir baş mühendis veya yardımcısının yönetimi altında merkezileştirilmesi de mümkündür. Daha sonra mühendis sayısına bağlı olarak birimlere, kısımlara, gruplara, laboratuvarlara veya kuruluşdaki diğer düzeylere bölünebilirler. Mühendislerin teknik uzmanlığa göre gruplaştırılması, çok sık rastlanan bir durumdur (Havacılık bölümü, ısı transferi grubu gibi). Bazı mühendisler, diğer mühendislerle danışmanlık yapma yoluyla uzmanlaşmış bir role sahip olabilirler; ama bu rol, genellikle, üzerinde çalışılan projeye bağlı olarak üstlenilir.

Kişinin uzmanlık bilgisini ve tecrübesini, kendisinin de dahil ol-

duğu mühendisler topluluğu sayesinde edinmesi, mühendislik hayatının şizofrenilerinden biridir. Eğer bir şirkette yazılım tasarımcısı olarak çalışıyorsam, diğerk yazılım tasarımcılarından fikir, yaklaşım, bilgi, teknik ve belki de ilham alırım. Ama belirli bir projede çalışıyorsam, bulunacağım etkileşimlerin büyük bölümü, bu projede yer alan ve çoğu farklı disiplinlerden gelmiş diğerk mühendislerle olacaktır. Proje çalışması, disiplinler arası problemlerin üstesinden gelebilme ve çeşitli uzmanlık dillerinde iletişim kurabilme yeteneğini gerektirir. Proje çalışması, çok fazla parametre içerdii için de daha üst düzeyde bilinmeyenleri kapsar. Yönetim, mühendislikte hem düşünsel uzmanlaşmayı hem de proje çalışmasını idare etmek zorundadır.

Bu işletme sorununu çözmeye yönelik bir yaklaşım da “matriks kuruluğu” yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre, mühendisler hem bir projeyle hem de idari bir işle görevlendirilirler. Bu tür bir yaklaşım, fazlasıyla biçimsel olabilir. Örneğin, kuruluğu aít çizelgeler, kişinin hem idaredeki hem de projedeki görevini kağıt üzerinde gösterebilir. Ayrıca, hem proje hem de idare için ayrı yetkiliye bağlı olunabilir ve resmi denetlemeler hem idaredeki hem de projedeki performansa bağlı olarak yapılabilir. Ancak, daha tipik olan durum, daha az formal olandır. Yani, bir idari birimde ya da bir projede görevlendirilen kişilerin, resmi olarak görevlendirilmedikleri konularla da ilgilenmeleri beklenir. Yönetim ve projedeki idareciler, her iki tip etkileşimin gerçekleşmesini sağlama amacıyla resmi ve yarı-resmi etkinlikler düzenlerler. Büyük kuruluşlar, yönetimle ilgili olarak sürdürülen eğitim ve öğretimi teşvik ederler. Ayrıca, çeşitli disiplinlerdeki aktivitelerle ilgili konferanslar ve toplantılar düzenlerler. Aynı zamanda, proje etkinlikleri konusunda herkesin ne olup bittiğinin farkında olduğundan emin olmak isterler.

Teknoloji tabanlı şirketlerdeki proje yöneticileri, genellikle mühendislerden seçilir; çünkü bu tür bir iş, üst düzey teknik anlayış gerektirir. Proje idarecisinin sorumluluğu, farklı disiplinleri bütünlleştirmek ve projenin, çalışma programına, bütçeye ve belirtilmelere uygunluğunu sağlamaktır. İyi proje idarecilerinin çok büyük teknik karmaşaların üstesinden gelebilmeleri ve mükemmel liderler olma-

ları gerekir. Çünkü ekip üyeleri yaratıcılık ve sevinç dönemlerinin yanı sıra, çeşitli hayal kırıklıkları, panik ve bitkinlik dönemlerinden de geçerler.

Yöneticiler bir mühendislik disiplininin geldiği zaman genellikle ortaya çıkan bir sorun da, yöneticilik görevleriyle uzmanlık işlerini bağdaştırma güçlüğüdür. Mühendisler kendilerini öncelikle teknik yetkinlikleri kapsamında değerlendirirler. Ayrıca, düşünsel olarak da rekabetçi kimselerdir, bilgileri ve işlerini iyi yapma yetenekleriyle gurur duyarlar. Bu eğilim bazen çıkar çatışmalarına neden olur. Çünkü idareciler, kendilerine rapor veren insanlarla bir tür rekabete girerler ve bu durum, profesyonelce ve adilce idare etme yetilerini zayıflatır. A. Bavelas ve G. Strauss tarafından kaleme alınmış olan etkileyici bir alan çalışmasında anlatılan öykü, bu rekabeti çok güzel yansıtıyor: Bob Knowlton adlı bir mühendis, ileri düzey geliştirme üzerine çalışan bir mühendisler grubunun başıdır⁽¹⁾. Bob'un patronu, şirkete yeni alınan bir mühendisle Bob'u tanıştırtır; ve şirkette genel olarak neler yapıldığı konusunda Bob'dan bilgi vermesini ister. Sonuçta, yeni gelen kişinin işinde çok usta biri olduğu ortaya çıkar. Bu yeni mühendis, Bob'u çok sever onun grubuna katılmak ister. Bir süre sonra yeni mühendis, teknik konularda çok iyi olduğunu kanıtlar; ama nedense, grubun diğer üyeleriyle birlikte çalışmaktan ve toplantılara katılmaktan hiç hoşlanmamaktadır. Bu davranışı, bir yönetici olarak Bob'a bazı sorunlar çıkartır. Bob'un sunuş yaptığı bir toplantıda, yeni mühendis çok önemli bir sorunu çözerek dikkatleri üzerine çeker. Üstünlüğünün fazlasıyla gölgelendiği hissine kapılan Bob, görevinin bu kişiye verileceğini düşünerek istifa eder ve rakip bir firmada çalışmaya başlar. Bob'un eski patronu şaşkına döner; çünkü yeni mühendis, yöneticilikten anlamıyordur. Harika bir idareci olan Bob'un ayrılışıyla grup lidersiz kalmıştır. Bob'un hatası, şirket açısından kendi değerini sadece teknik kapasitesiyle ölçüp, asıl görevinin, teknik konuda kendinden daha iyi olan kişileri denetlemek olduğunun farkına varmamasıdır. Gerçekten de, başarılı teknik idareciler, çalıştırmak için teknik açıdan kendilerinden daha iyi kişileri aramakla yükümlüdürler.

Teknik şirketlerdeki idarecilerin diğer bir görevi de, denetimsiz

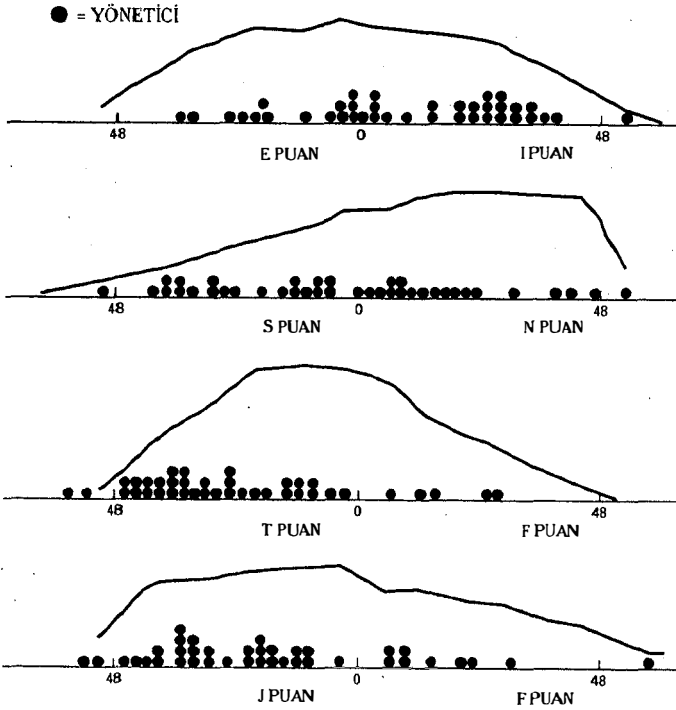
bırakıldığında amacından sapabilecek görevlerin koordinasyonudur. Ürün tasarımcılarıyla pazarlama görevlilerinin zorunlu dayanışmasını buna örnek gösterebiliriz. Tasarımcılar, ürünü işlevsel ve estetik çizgilerde geliştirmeye çalışırlar. Pazarlamacılar ise, dış görünüşe bakarlar ve insanların neyi satın alacağı kapsamında düşünürler. Başka bir örneğe, tasarım ve imalat çalışanları arasındaki ilişkidir. Tasarımcılar, kendi hallerine bırakılacak olurlarsa, imalatın zorlaşacağını önemsemeksizin şekil ve işlevde daha fazla uzmanlaşma eğilimi gösterirler. Öte yandan, imalatta yer alan kişiler, üretimin kolaylaştırılmasına daha fazla önem verirler. Yani, dayanışma ve uzlaşma bir kez daha zorunludur.

Teknoloji tabanlı şirketlerdeki yöneticilerin, farklı problem çözme biçimleri hakkında bilgi sahibi olmaları gerekir. Bazı kişiler görsel bazıları ise matematiksel düşünme eğilimindedir. Bazı insanlar önsezilerine sarılırken bazıları pragmatisttir. Bazı kişiler sorunlara karşı çözümleyici ve düşünsel bir yaklaşım izlerken diğerleri deneyime ve sezgiye güvenir. Problem çözme biçimlerindeki tercihleri ölçen “*Myers Briggs Tip Envanteri*” (*The Myers Briggs Type Inventory*) başlıklı araştırma, insanları dört eksene ayırmaktadır. Bu eksenlerdeki her bir uç, birbirine zıt problem çözme biçimlerini temsil eder⁽²⁾. Arka sayfadaki şekil, bu kataloğa göre teknoloji tabanlı şirketlerde mühendislik birikimine sahip bir grup idarecinin dağılımını gösteriyor. Şeklin en üstünde yer alan eksen, insanları ikiye ayırıyor: Bir tarafta düşünceleri uygulamaya geçirmeyi tercih edenler (E), diğer taraftaysa düşünceleri geliştirmeyi seçenler (I) yer alıyor. Ortadakiler ise, güçlü bir tercihe sahip olmayan kişiler kümesini gösteriyor. İkinci eksen, verileri, sayıları, kitapları, uzmanları ve laboratuvarları tercih eden kişilerle (S), sezgileriyle hareket eden kişilere (N) ayrılıyor. Üçüncü eksen, karar verirken geleceği düşünmeyi tercih edenlerle (T), hislerine bağlı kalmayı seçenler (F) arasında bir ayrım yapıyor. Sonuncu eksen ise, karar vermede fazlasıyla uslamlayıcı kişilerle (J), kendilerini yeni bilgilere kolayca adapte eden kişiler (P) arasında bir ayrım yapıyor.

Sonuçta toplam kişi sayısına bakıldığında, bu idareci kümeleri, I, S, T ve J kutuplarında toplanıyor. Ancak, hisleriyle karar vermeyi

tercih edenlerin sayısı dokunaklı biçimde az. Bununla beraber, kümeler arası dağılım fazlasıyla geniş ve bu tür bir sınıflandırma, bir kuruluş için oldukça sağlıklı. Çünkü bu problem çözme stratejilerinin hepsi de, başarı açısından gerekli koşulları içeriyor. Ne var ki, uç kutuplarda yer alan kişilerin birlikte çalışması her zaman kolay olmuyor. Örneğin, J-P eksenini düşünün. Bir kuruluşta hem uslamlayıcı kişilerin hem de kendilerini yeni bilgilere adapte edebilen kişilerin bulunması çok önemlidir. Çünkü yargılayıcı/uslamlayıcı kişiler, problem çözme sürecinin bir noktada yoğunlaşmasına yol açarken, kendilerini adapte edebilen kişiler de, yeni bilgilere uyum sağlarlar. Gelgelelim, işler sarpa sardığında eksenin uçlarında yer alan kişiler, diğer uçtakileri tanımlamak için “budala” ve “inatçı” gibi yakıştırmalarda bulunurlar. Bunların saygı belirten sözcükler olduğunu söylemek ise, oldukça güç. Ancak, farklı problem çözme biçimlerine sahip kişilerin, teknik uzmanlık alanlarında yöneticilerden daha bilgili olması durumunda, yöneticiler açısından bazı sorunlar açığa çıkmaktadır. Bu konuda meydana gelebilecek başka bir sorun da şudur: Örneğin, belirli bir kanat şeklinin yapılmasının istendiğini varsayalım. Yukarıda sözü geçen eksen, örneğimize uyarlayacak olursak, iki farklı düşünce biçimiyle karşılaşabiliriz. Ekte yer alan aerodinamik uzmanlar, iki farklı gruba bölünecektir. Birinci gruptakiler, kanadı doğrudan yapmak isteyen uzmanlar olacaktır. İkinci gruptakiler ise, yapılması istenen kanat şeklini daha ayrıntılı çözümlemek isteyen aerodinamik uzmanları olacaktır. Ama, iki grup arasındaki düşünce ayrılığı, söz konusu parçanın marifetleri ve kusurlarına ilişkin farklı görüşler bulunmasından ötürü meydana gelmez. Bu düşünce ayrılığına, problem çözme tercihlerindeki farklılık neden olmaktadır.

Başarılı bir yönetici, şirkette çalışan mühendisler ile şirkette teknik eleman olmayan diğer görevliler arasında yeterli iletişimi sağlamak zorundadır. Gelgelelim, burada da başka bir sorunla karşılaşılır. C. P. Snow, bunu “ikili-kültür sorunu” olarak adlandırıyor. Bu soruna, eğitim kurumlarında ve gündelik hayatta çok sık karşılarız. Sözgelimi, üniversite öğrencileri bazen birbirlerine “tekno” veya “füze” diye hitap ederlerler. Buna benzer bir durum, gündelik



FAKÜLTE ÖĞRENCİLERİNİN DAĞILIMI

hayatta da yaşanır. Örneğin, sanatı ele alalım. Sanat, çoğunlukla sanat akademilerinde değil de partilerde veya içki içilen ortamlarda tartışılır. Diğer bir deyişle, ikili kültür sorunu, meslekten olanlar ve meslekten olmayanlar arasında yaşanan kavram kargaşasını yansıtmaktadır. Mühendislik kendine özgü bir jargona ve stenografiye sahiptir. Bu jargon ve stenografi, ÜHK'lerle (Üç Harfli Kısaltmalar'la) tıka basa doludur. Teknik birikimi olmayan kişiler, anlamadıkları bir dile maruz kalmaktan hoşlanmazlar. Mühendisler de, kendileri gibi matematiksel ve bilimsel düşünmeyen kişilerle

karşılaştınca genellikle hayal kırıklığına uğrarlar. Öyleyse, yöneticiler, iş dünyasında teknik birikime sahip kişiler ile böyle bir birikime sahip olmayan kişiler arasında düzgün bir iletişimin kurulmasını sağlamakla yükümlüdürler. Ayrıca, ortaya çıkarılacak işin dayanışma gerektiren bölümlerini düzenlemek de, yöneticinin görevleri arasındadır.

Mühendisler, çalıştıkları şirketlerde paranın ve insanların idare edilmesine ek olarak, uzun vadeli teknoloji stratejilerinin formüle edilmesi ve işletilmesi gibi işlere de yardım ederler⁽³⁾. Mühendisleri istihdam eden iş dünyası, kısa vadede pazara uygun ürünler üretmek ve satmak zorundadır. Buna karşın, bu kuruluşların uzun vadede başarılı olabilmeleri için teknolojik kapasitelerini ihmal etmemeleri gerekir. Yani, başarılı biçimde rekabet edebilmek için gerekli bilgi ve beceriye sahip olduklarını kanıtlamak zorundadırlar. Eğer şirketler, bu alanlarda yeterli değillerse, pazarda başarısızlığa uğramaları kaçınılmazdır. Ancak, aşırı kapasiteye sahip olmaları da pazarda başarısız olmalarına yol açar. Çünkü para kazandıran projelerde çalıştırılmayan diğer görevlilerin ve araçların giderlerinin de karşılanması gerekmektedir.

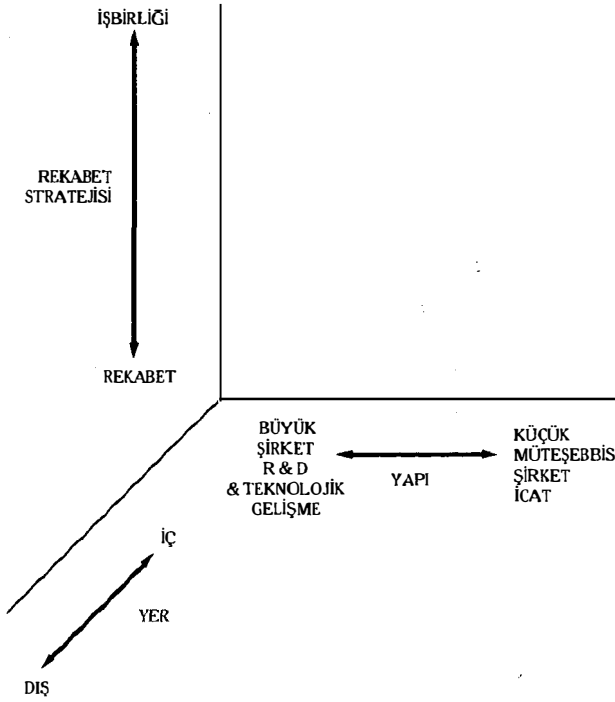
II. Dünya Savaşı'ndan hemen sonra, otomotiv ve çelik sanayileri gibi teknolojinin yavaş değiştiği sanayilerdeki firmalar, yeni birini işe almada rahat davranamıyorlardı. Sadece herhangi bir şekilde görevden ayrılanlardan boşalan yeri doldurmak veya ilerlemeyi sağlamak amacıyla yeni bir mühendisi göreve getirebiliyorlardı. Oysa, elektronik ve iletişim sanayileri gibi teknolojinin daha hızlı değiştiği sektörlerdeki firmalar ise, bünyelerindeki araştırma ve geliştirme çalışmalarını desteklemek (Bell Laboratuvarı gibi) ve üniversitelerdeki, hükümet laboratuvarlarındaki ve profesyonel literatürdeki ilgili gelişmeleri takip etmek zorundadırlar. Ama o dönemde, birçok Amerikan firması için işin kendisi, bugün olduğundan daha basitti. Bunun bir nedeni, farklı sanayi sektörlerindeki ve farklı ülkelerdeki firmalar arası iletişimin zayıf olmasıydı. Şirketler, sadece tasarım, imalat, Araştırma ve Geliştirme bölümlerindeki geleneksel kapasitelere önem vererek başarıya ulaşabilirlerdi. Yani teknolojik kapasiteyi şirket stratejisinin merkezî bir parçası olarak görmeleri gerekmiyordu.

Bu durum, günümüzde oldukça farklı bir görünüme sahip bulunuyor. 8. Bölümde ele aldığımız gibi, imalat teknolojisi hızla değişiyor ve başarıya giden yolun kapısını açıyor. Genetik mühendisliği, yarı-iletken ve bilgisayar gibi alanlarda çalışan firmalar, ellerindeki teknolojiyi temel rekabet güçleri olarak görüyorlar. İmalat ve pazarlama gibi işlevlerde güç kazanmak ve teknolojilerini geliştirmek amacıyla diğer şirketlerle stratejik ortaklıklara giriyorlar. Öte yandan, Japon firmaları gibi yabancı rakiplerin, teknolojiyi stratejik bir silah olarak gördükleri açık. Büyük Ölçekli Entegrasyon projesi (VLSI, Very Large Scale Integration project), teknoloji üzerinde temellenen ulusal stratejik hareketin bir örneğiydi.

Bu proje, Japon Uluslararası Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (MITI) tarafından destekleniyordu. Ve kısmen de olsa, “yarı-iletken malzeme” sektöründe Japonların teknolojik liderliği ele geçirmelerini sağlamıştı. Teknoloji kullanan şirketler, eğer başarılı olmayı istiyorlarsa, teknolojik kapasitelerini değerlendirirken çok sayıda farklı rakipleri ve potansiyel müttefikleri bulunduğunu unutmamalıdır.

Yandaki şekil, ürünleri gelişen teknolojiye bağlı olan kuruluşlarca değerlendirilmesi gereken üç farklı parametre içeriyor. Uygun teknolojinin, doğrudan doğruya kuruluşun laboratuvarında mı, yoksa laboratuvarın dışında mı geliştirilmesi gerekir? Ya da, tamamen farklı biçimlerde mi elde edilmesi gerekir: Örneğin sözleşme, satın alma, patent alma, bir karma girişim veya yatırım aracılığıyla? Teknoloji bir rekabet silahı olarak kullanılmalı mıdır? Yoksa rekabet, dayanışmayla geliştirilen teknoloji ile birlikte reklamcılık, görünüş, fiyat gibi diğer unsurlar temelinde mi ele alınmalıdır? Teknoloji, geniş ve ortak bir araştırma ve geliştirme çabası kapsamında mı, yoksa küçük ve daha bağımsız müteşebbis gruplar tarafından mı geliştirilmelidir?

Teknoloji, eskisiye kıyasla daha dinamik görünüyor. Bu nedenle, mühendislerin teknik kariyerlerini ağır çalışma gerektirmeyen bir işte geçirme olasılığı da oldukça düşük. Bilgisayar ve elektronik gibi teknolojiler, sanayilere öylesine sızdılar ki, bu teknolojilerden habersiz olmak, artık mühendisin kişisel sorunu haline dönüştü. Hem küçük ve büyük şirketler hem de Amerikan şirketleri ve yabancı şirketler, birbirlerinden birçok şey öğreniyorlar. Bu sayede iş



Teknoloji tabanlı şirketler için üç stratejik parametre.

dünyasının dirayeti de artıyor. Artık işe yeni başlayan bir şirketin, mühendisi tamamen özgür bırakacak denli iş dünyasından bihaber olması veya büyük bir şirketin küçük müteşebbis grup yapılarıyla çalışmayı istememesi düşünülemez. Firmalar, teknolojiyi iş stratejileriyle bütünleştirmede ve bunun nasıl yapılacağı konusunda karar vermede giderek daha da uzmanlaşıyorlar. Teknoloji, bazı açılardan ürün yetiştirmeye benzer. Eskiden insanlar, kendilerine yetecek kadarını yetiştirirlerdi. Ama günümüzde teknoloji, kaynaklar, komisyoncular ve dağıtıcılardan oluşan karmaşık bir sistem aracılığıyla “yetiştiriliyor” gibi.

Mühendislik, paradan, insanlardan ve iş stratejilerinden ayrılamaz. Teknolojik çabaların desteklenmesi için paraya ihtiyaç

duyulur. Bu paranın kaynağı önemli değildir. Para, doğrudan doğruya ürünlerin satışından veya dolaylı olarak hükümetten, bankalardan, girişimcilerden veya kamudan kazanılabilir. İnsanlar, teknolojinin tam da merkezinde yer alırlar. Farklı ve uzmanlaşmış disiplinlerden gelen insanların yönetilmesi, özel sorunlar ortaya çıkarır. Sonuçta teknoloji, iş stratejisinin bir parçası olmuştur. Teknolojik kapasite ise, sanayiler-arası ve sanayiler-içindeki dayanışma, iletişim ve uluslararası ilişkiler kanalıyla teknolojik yatırımların başarıya ulaşmasına temel teşkil etmektedir. Oyundaki bu değişikliği anlayamayan ve oyunun yeni kurallarını öğrenemeyen mühendisler, kendi yazgıları üzerinde söz sahibi olamayacaklardır.



Yasal Düzenlemeler

Sancılı Çaresizlik

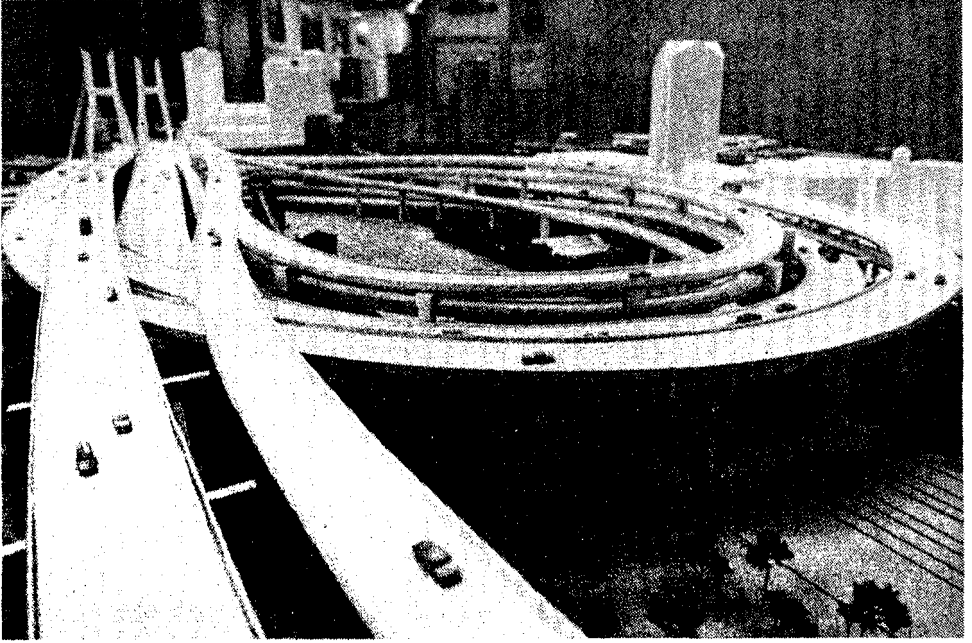
Bir zamanlar teknoloji, görece bir özgürlüğe sahipti. Bu dönemdeki başlıca kısıtlamalar uygulanabilirlik, ekonomi ve toplumsal baskıydı. Bunlar, önemlerini hâlâ koruyorlar. Uygulanabilirlik ve ekonomi yeterince tartışıldı. Toplumsal baskı konusuna gelince, teknolojiye yöneltilen kötü davranışların ve tehditlerin, bütün teknoloji tarihi boyunca amaçlarına ulaştıklarını söylememiz gerekir. Silah edinmek yasal olduğu halde Kaliforniya, Palo Alto'daki silah sahipleri, bunu açıkça söylemekten çekindiler. Oysa bugün, teknolojiyi daha farklı yollarla sınırlandırıyoruz. Sanayi Devrimi'nden önceki dönemlerde toplumlar, teknolojiyi kısıtlamak amacıyla hükümete ve yasalara başvurmaya pek gerek duymuyorlardı. Herhalde, Amerika Birleşik Devletleri'nin temelini atan kişilerin, hükümeti teknolojinin bekçi köpeği olması için kurma gibi bir dertleri yoktu. Fakat Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti, yüz yıldan daha kısa bir süre içinde, teknolojiyi denetleme amacıyla iş dünyasına müdahale etmeyi uygun buldu. Teknoloji tarihindeki ilk yasal düzenlemeler, buharlı gemi kazanlarının patlaması sonucu gündeme gelmişti. Olaylar zincirine bir göz atmak, teknolojiyle ilgili yasal düzenlemelerin niteliğini anlamamız açısından oldukça aydınlatıcı olacak⁽¹⁾.

Ondokuzuncu yüzyılda, Fulton tarafından tasarlanan ilk buharlı gemi, saatte 3-4 mil yol katederek teknoloji sahnesinde boy göstermişti. Buharlı gemiler, Watt'ın bulduğu buhar makinesiyle çalışıyorlardı. Watt'ın buhar makinesi ise, kullanışlılığını çoktan kanıtlamıştı. Buharlı gemiler, kullanılacak düzeyde geliştirildikleri andan itibaren de, ticari açıdan olağanüstü bir başarı sağladılar. Fulton'un ilk New Orleans gemisi, yapılan 40,000 dolarlık yatırıma karşılık, ilk yılında 20,000 dolarlık net kar sağladı. Böylesine büyük kârlar söz konusu olduğunda, rekabet hemen devreye girer ki, bu kaçınılmazdır. Buharlı gemiler arası rekabette avantaj sağlayan en önemli faktörlerse kuşkusuz hız olmuştur.

Yüksek basınçlı makineler, daha fazla hızı olanaklı kıldılar. Basınç ne kadar yüksek olursa, gerekli enerji miktarının sağlanması için ihtiyaç duyulan pistonlar ve diğer makine parçaları da o kadar küçük yapılabilecekti. Böylece, gemi üzerindeki yük miktarı azaltılmış olacaktı ve yükteki bu azalma da geminin performansının artmasını sağlayacaktı. Ancak bazı kişiler için bu yeterli değildi. Gemi sahipleri ve teknisyenler, makineleri tasarım düzeyini aşan basınçlarda çalıştırmaya zorlanıyorlardı. Yani yatırımcılar, ne pahasına olursa olsun, onarım ve emniyet paylarından fedakarlık edilerek maliyetin düşürülmesini istiyorlardı. Bu yersiz istek, gemi kazanlarındaki patlamalarla sonuçlandı. 1841-1848 yılları arasında gemi seferlerinde, 70 civarında patlama yaşandı ve bu patlamalarda toplam 625 kişi hayatını kaybetti. Aralık 1848'de 'patent komisyonu', 1816-1848 yılları arasında meydana gelen 233 buharlı gemi patlamasının, 2,563 kişinin ölümüne neden olduğunu bildirdi. 1850'de buhar kazanlarının patlaması sonucu hayatını kaybeden kişilerin sayısı ise 277'ydi. Bu sayı, 1851'de 407'ye yükseldi. Günümüzde, Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl 50,000 kişinin araba kazalarında öldüğü düşünülürse, buhar kazanlarının patlaması sonucu meydana gelen ölümlerin sayısı az gibi görünebilir. Ne var ki, o zamanların Amerika Birleşik Devletleri nüfusu göz önünde bulundurulduğunda, bu sayının oldukça yüksek olduğu açıktır. Kongre, kazan patlamalarının denetlenmesi amacıyla 1852 yılında 'Federal Hükümet Karma Düzenleme Kurumu'nu kurdu. Başlangıçta müfettişlerle çalışan bu kurum, başarılı oldu ve ölü sayısı, sekiz yıl için-

de, % 35'lik bir azalma gösterdi. Sonunda, buhar kazanlarının standartlarına ilişkin yasalar çıkarıldı; bu sayede, gemilerde meydana gelen patlamalar da büyük ölçüde engellenmiş oldu. Bu kurumun kuruluşuyla ilgili çok büyük tartışmalar yaşandı. Kuruma yönelik en sert eleştiriler, buharlı gemi işinde çalışanlardan geldi. Derken, aynen bugün olduğu gibi, teknoloji ve iş dünyası arasında yakınlıklar kuruldu. Serbest pazarın yararlı ve gerekli olduğuna inanan kişiler için iş dünyasına yönelik hükümet müdahaleleri, büyük bir haksızlıktı. Bu görüşü paylaşınlara göre, bu tür düzenlemeler hem ekonomik açıdan hem de düşünsel açıdan fazlasıyla kısıtlayıcıydı. Buharlı gemi işindeki rakip firmaların hepsi de, bu düzenlemelerden etkilendi. Öyle ki, rekabet atmosferi, en azından tek boyutlu biçimde değişti. Bugün ise daha karmaşık sorunlarla karşı karşıyayız. Çünkü bazı firmalar, özellikle de yabancı şirketler, bu tür düzenlemelere maruz kalmıyorlar (Mesela, fabrikalara getirilen atık kısıtlamalarını düşünün). Bugün olduğu gibi o dönemlerde de hükümetin üstlendiği bu bekçi köpeği rolüne, büyük çaplı bir tepki gösterilmişti. Teknolojiyle ilgili yasal düzenlemeler yapılmasına duyulan ihtiyaç, 1852 yılından sonra daha da arttı. Düzenlemelerle ilgili sorunlar da bu artışla bağlantılı olarak büyüdü. Bugün, federal düzeyde özel sorumluluklar taşıyan 'hükümet düzenleme kurumları'ndan bazıları şunlardır: Federal Havacılık Kurulu (FAA), Çevre Koruma Kurumu (EPA), Gıda ve İlaç Kurulu (FDA), Federal İletişim Komisyonu (FCC), Güvenlik ve Sağlık Dairesi Başkanlığı (OSHA), Eyaletler Arası Ticaret Komisyonu (ICC), Nükleer Düzenleme Komisyonu (NRC), Tüketim Maddeleri Güvenlik Komisyonu ve Karayolu Trafik Güvenlik Kurulu. Ayrıca, eyalet ve yerel yönetim düzeylerinde de, birçok kurum doğrudan ya da dolaylı olarak, teknolojiyi düzenlemektedir (Hava kirliliği kontrol kurulları ve bölgesel kurullar da dahil olmak üzere). Bu hükümet kuruluşları, genellikle belirli alanlarda teknolojiye düzenlemeler getirmektedir. Diğer bir deyişle hükümet, satış amacıyla piyasaya sürülen ürünleri kalite ve güvenlik açısından yeterli bulmadığından bu tür düzenlemelere başvurmaktadır.

Mühendisler de, standartlaşma ve kalite kontrolünün sağlanması amacıyla kendi teknik cemiyetleri kanalıyla çeşitli kurumlar kurmaktadır. Örneğin, Amerika Malzeme Deneme Derneği (ASTM),



Boston ve Charles River arasındaki karayolu için Cambridge, Massachusetts'te önerilen *Scheme Z* yonca tipi dev kavşak modeli. Boston şehrinin iş merkezi boyunca geçen şehirlerarası karayolunun altından geçecek biçimde tasarlanan karayolları ile rampalardan oluşan bu model, Boston'un 5 milyar dolarlık Central Artery/Third Harbor Tunnel Projesinin (Merkezi Ana Yol/Üçüncü Liman Tüneli Projesi) oldukça tartışmalı bölümüdür. Cambridge Belediyesi'nin yanı sıra vatandaşlar ve çevreci gruplar da, dünyanın bu en büyük -bazılarınca da en çirkin- karayolu projesinin gerçekleştirilmesini önleme amacıyla birçok dava açmışlardır.

teknoloji ürünlerinin üretiminde kullanılan malzeme ve parçaların kalitelerinin artırılmasında önemli bir rol oynar. Diğer bir örnek ise, Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü'dür (ANSI).

Bu kurum, güvenlik standartlarına ilişkin yasal düzenlemeler de getirmektedir. Düzenleme, ayrıca, satın alma gruplarınca getirilen standartlarla da yapılmaktadır. Buradaki amaç, satın alınan ürünlerin kalitesini korumaya yöneliktir. 'Ordu spesifikasyon sistemi'nden

(Milspecs) söz edildiğini duymuş olabilirsiniz. Bu sistem, Amerika Birleşik Devletleri ordusu tarafından satın alınan erzak ve teçhizatın büyük bir bölümünün özelliklerini belirlemektedir.

Teknolojiyle ilgili yasal düzenlenmelerin sayısı giderek artıyor. Bunun bir nedeni de, modern teknolojinin potansiyel tehlikeler içermesidir. İnsanı hayrete düşüren ürün ve yan-ürünler zinciri, genellikle sadece çevreyi kirletmekle kalmıyor. Onu durmaksızın değiştiriyor da. Ayrıca, teknolojinin ölçeği de öylesine büyüdü ki, teknolojiye bazı yasal düzenlemeler getirilmesi kaçınılmaz hale geldi. Artık daha büyük fabrikalara ve daha büyük ürünlere sahibiz. Bugün tek bir 'Boeing 747' kazasında hayatını kaybedenlerin sayısı, gemi kazanlarındaki patlamalar nedeniyle ölenlerin yıllık toplam sayısıyla boy ölçüşebilir. Unutmayalım ki o kazalar, bir zamanlar halkın devlet müdahalesi istemesine neden olmuştu. Şimdi de başka bir örneğe bakalım. Teknolojinin bize sunduğu modern ağaç kesme aletleri, elektrikli testereler ve kağıt fabrikalarıyla katlettiğimiz ormanlar, tehlike sinyalleri vermeye çoktan başladılar. Düzenleme taraftarı toplumsal baskının bir üçüncü nedeni de, nüfus yoğunluğu; ki bu, çok sayıda insanı teknolojinin potansiyel tehlikeleriyle yüzleşmeye zorluyor. Öte yandan, devasa iletişim sistemimiz, bütün büyük kazaların, felâketlerin ve tehlikelerin detaylarını hergün bizlere nakletmeyi sürdürüyor.

Sonuçta, teknolojiyi düzenliyoruz çünkü teknolojiden beklediğimiz şeyler giderek artıyor. Ürünlerin hem daha güvenilir olmasını hem de hiçbir zaman olmadığı kadar iyi performans göstermelerini istiyoruz. Hem hava taşımacılığının daha ucuz olmasını hem de uçak kazalarının azalmasını talep ediyoruz. Hem maliyeti düşük inşaat malzemeleri hem de fabrika işçileri için daha fazla can güvenliği sağlanmasını istiyoruz. Hem uzay uçuşlarının daha kompleks biçimde sürdürülmesini istiyoruz hem de daha az hata yapılmasında ve masrafların azaltılmasında diretiyoruz. Uzmanlaşmış bir teknoloji istiyoruz ama kurumlaşmış yabancı firmaları kesinlikle istemiyoruz. Üstelik azalan risklerle birlikte çoğalan mucizeler talep ediyoruz.

Risk anlayışı, teknolojiye ilişkin toplumsal beklentilerimiz açısından karmaşık ve önemli bir faktör. Bu nedenle, mühendisliğin

düzenlenmesi açısından da oldukça önemli. İsteyerek riske atılma, her şeyden önce, kişinin söz konusu riski nasıl algıladığına bağlıdır. Yani risk, gönüllü olarak mı yoksa zorunlu olarak mı göze alınacaktır? Mühendislik eğitimcisi ve 'Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü'nün kurucusu Chauncey Starr, şu hipotezi ileri sürüyor: Eğer risk içeren bir durum (örneğin, yakınımızda bulunan bir nükleer santral), bizi rahatsız ediyorsa, zorunlu olarak katlandığımız bu riskin, üzerlerinde hiçbir kontrolümüz olmayan deprem, tayfun ve kasırga gibi doğal felâketlerin taşıdığı riske benzemesini bekleriz. Doğal felâketler ise ortalama olarak her yıl milyonda bir kişinin ölümüne neden oluyor⁽²⁾. Diğer taraftan, risk içeren bir eyleme kendi isteğimizle katılacak olursak (örneğin, New York'ta tehlikeli bir caddede trafik kurallarına uymadan karşıdan karşıya geçmek gibi), isteyerek göze aldığımız risk düzeyi, doğal hastalık nedeniyle ölüm durumunda içerilen risk düzeyine eşit olacaktır. Yani, "gönüllü" risk, olay süresi boyunca her bir saat için, "gönülsüz" riskten 1,000 kat daha yüksek olacaktır. Eğer araba kullanıyorsanız, bir yıl içinde ölme riskiniz, yaklaşık olarak 4,000'de birdir. Yine de bu olasılık, her nasılsa sizi fazla endişelendirmez.

Riskin algılanışı hakkındaki bu yaklaşımlara başvurularak, kamuoyunun farklı tepkilerinin tahmin edilmesi mümkündür. Sözcüğümü, güçlü bir böcek zehirinin, isteğe bağlı olarak mı yoksa zorunlu olarak mı kullanıldığı konusunda, halkın vereceği tepkiler tahmin edilebilir. Buna benzer bir durum, Kaliforniya'da yaşanmıştı. Sebzelere zarar veren Akdeniz sebze sineklerinin istilasını kontrol etme amacıyla, bütün eyaleti kapsayan kampanyalar düzenlenmişti. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu alanlar, helikopterlerle "Malathion" adlı bir böcek zehiri kullanılarak havadan ilaçlandı. Büyük bir olasılıkla zehirin konsantrasyonu, insanların evlerinin arka bahçelerinde kendi istekleriyle kullandıkları zehirlerin konsantrasyonundan düşüktü. Buna karşın, "malathion" kullanılmasına gösterilen tepki, çok büyük olmuştu. Halk, bu tür kampanyaların hukuksal kurallara aykırı olduğuna ve insanların onayları alınmaksızın düzenlendiğine inanıyor. Nerdeyse teknolojinin bütünü, bu ışık altında değerlendiriliyor. Biz tüketiciler, teknolojinin biçimlendirilmesi konusunda ne ka-

dar önemli bir rol oynarsak oynayalım, teknolojiden kaynaklanan zararların bizim isteklerimize bağlı olmadığını düşünüyoruz. Yani, teknolojiyi değerlendirirken, teknolojinin yol açtığı hasarı, “gönül-süz” risk kapsamında değerlendiriyor görünüyoruz. Kendi yaptığımız bir hatanın yol açtığı araba kazasına sinirleniyoruz belki; ama bu kaza, arabanın hatasına bağlı olursa, sonuç hayli farklı oluyor!

Riske atılma ve başarısızlığı kabul etmedeki istekliliğimizi önemli ölçüde etkileyen diğer bir faktör ise potansiyel faydadır. Faydalar çoğaldıkça insanlar, çok daha büyük risklere gözü kapalı atılmak istiyorlar. Starr’a göre, faydalar paha biçilemeyecek denli fazla olduğunda insanlar, doğal felaketlere atfedilen risklerden daha fazlasına atılmak istiyorlar. Buna karşın, hastalığa bağlı ölüm oranına eşit düzeyde bir riskin göze alınabilmesi için sonuçta sağlanacak faydanın, gerçekten çok büyük olması gerekiyor. Teknolojinin faydaları saymakla bitmeyeceği içindir ki, teknolojiye ilişkin göze alınabilir bütün riskleri hiç tereddütsüz kabul edeceğimiz düşünülüyor. Hepimizin bildiği gibi, öyle bir noktada bulunuyoruz ki teknoloji olmaksızın hayatta kalabilmemiz neredeyse imkansız gibi. Yine de, teknolojinin gündelik faydalarının farkına varma eğiliminde değiliz. Kimbilir, belki de teknolojinin sürekli değiştiği bir dünyada yaşamıyor olsaydık, maliyet-fayda oranı hakkında daha iyi bir perspektife sahip olacaktık.

Halkın riske yaklaşımını etkileyen üçüncü faktör ise, hatanın varsayılan büyüklüğüdür. Belirli sayıda küçük hata, aynı kümülatif büyüklüğe eşit tek bir büyük hataya nispeten daha kolay tolere edilebilir. Amerika Birleşik Devletleri’nde 100 ya da daha fazla insanın hayatını kaybettiği her bir kazaya karşılık olarak, tek kişinin ölümüyle sonuçlanan yaklaşık 100,000 civarında kaza meydana gelmektedir. Ancak kazalarla ilgisi olmayan kişiler üzerinde daha fazla bağlayıcı etkiye sahip olanlar, tek seferde birçok kişinin ölümüne neden olan kazalardır.

Başarısızlığa yönelik tutumumuz, hatanın farkında oluşumuzdan etkilenmektedir. Bununla bağlantılı olarak, tutumumuzu etkileyen diğer bir faktör de, medyanın bu başarısızlığı nasıl değerlendirdiğidir. 1970’lerin sonlarında *Skylab*, atmosfere girdiğinde medya, tehlikeyi uluslararası bir soruna dönüştürmüştü. Oysa kişisel yaralanma riski

epeyce küçüktü. 7. Bölümde bahsi geçen DC-10 kazası yüzünden masum bir uçak, âdil bir yargılama olmaksızın medya tarafından neredeyse idam cezasına çarptırılıyordu. Medyanın, uçak kazalarını değerli “haber” sıfatıyla görmesi yüzünden insanlar, hava yolculuğu hakkında endişenmeyi sürdürüyorlar. Halbuki, eşit mesafeli bir yol için bir kıyaslama yapılacak olursa, hava taşımacılığı, araba yolculuğuna göre daha güvenlidir. Risk algılamasındaki bu özelliklerden ötürü, teknolojiye ilişkin riskler konusunda oldukça hassas davranıyoruz. Teknolojinin bizi incitmeyeceğinden emin olmak istiyoruz. Ama, başarısızlık konusunda oldukça kararsızız; üstelik hayatımızı, kolumuzu, bacağımızı ve mülkümüzü riske atmamamıza rağmen. Toplum olarak başarı yönelimli bir kültüre sahibiz. Yani, riske atılan ve kazanan kişilere saygı duyuyoruz. “Korkak bezirgân, ne kâr eder ne zıyan.” gibi atasözlerini dinleyerek büyüdük. Yetişkinler ve özellikle de mucitler olarak, “Risk ne kadar büyükse, kazanç da o kadar çoktur” gibi deyişler işittik. Riski göze alabilen ve başarıya ulaşan kişilere, toplumsal ve ekonomik ödüller biçerler. Silikon Vadisi (*Silicon Valley*) yatırımcılarına ve teknolojinin yetiştirdiği büyük tarihî kişilere, büyük hayranlık duyarız. Peki ama, iş dünyasında riski göze alabilen ancak başarısız olan kişilerin başına ne gelir? En azından, kredi veren bankalar, onlara sırtlarını dönerler. Peki ya ulusal boyuttaki başarısızlıklar? Ülkemiz, yeterince genç sayılır. Aynı zamanda, yeterince şanslı olmalı ki bugüne kadar çok az sayıda aksilikten sıkıntı çektik. Yazık ki bu aksilikler, her şeye rağmen bizi oldukça uğraştırdı (Vietnam Savaşı; bugün içiçe bulunduğumuz ticaret açığı ve bütçemizi dengelemedeki yeteneksizliğimiz; ya da Three Miles Adası, “Challenger” patlaması, Hubble Uzay Teleskobu’ndaki hatalı aynalar gibi teknolojik başarısızlıklarımız). Başarısızlık, bizim temel başarı yönelimimizle çelişiyor ve bizi ulusal kimliğimizi sorgulamaya çağırıyor. Gelecekte gerçekleşme olasılığı bulunan başarısızlıklarımızı düşünmekten bile rahatsız oluyoruz. Başarısızlıklar ortaya çıktığı zaman da, bir aşırı tepki verme sürecine giriyoruz.

Geçenlerde, çeşitli şirketlerden yetkililerin biraraya geldiği bir toplantıya katılmıştım. Toplantı sonrasında verilen akşam yemeğinde, Amerika Birleşik Devletleri şirketlerinden birkaç kişiyle, bir Ko-

re şirketinin başkan vekili olan bir beyin yanlarında oturuyordum. Masada bulunan bazı kişilerin yaşlarından ötürü söz, Kore Savaşı'ndan ve savaş sonrasında Kore'nin kendini toparlama döneminde açıldı. Amerikalı iş adamlarının eleştirileri, biraz büyüklük taslayıcıydı; ama bu, çok uzun sürmedi. Kore şirketinin, Amerikan şirketlerinininkinden oldukça büyük bir iş hacmine sahip olduğunu öğrendiklerinde işadamlarının yüzleri değişti, ve bu andan sonra Koreli yetkilinin görüşlerine, daha fazla ilgi gösterildi. Takip eden konuşmalar sırasında, Koreli yetkiliye, Koreli iş adamlarının Amerikan Sanayisi hakkında ne düşündükleri soruldu. Yanıtı şöyleydi: "Büyük bir potansiyele sahip!.." Söylemesi bile gereksiz ki o an, masayı derin bir sessizlik kapladı. Koreliler, bizim ekonomik başarıımızı, bulundukları üstün noktadan doğru değerlendiriyorlardı. Bu Koreli beye göre, Amerika Birleşik Devletleri Sanayisi, zorluklara karşı sınınamamıştı; topraklarımız üzerinde hiçbir modern savaş yapılmamıştı; asla başka bir ülkenin işgaline karşı koymak zorunda kalmamıştık; hiçbir askeri darbe atlatmamıştık; ve binlerce yıllık bir tarihimiz de yoktu. Koreli yetkili, başka uluslara olduğu gibi, bu zorlukların bizim başımıza da gelmemesi için hiçbir neden göremiyordu. Ona göre bu zorluklar, bizim esnekliğimizin ve yaratıcılığımızın gerçek anlamda sınanması olacaktı.

Biz, Amerika Birleşik Devletleri'nde bu bakış açısıyla ilgili sorunlar yaşıyoruz. Sanırım, geçmişteki veya gelecekteki başarısızlıklarımız yerine başarılarımızı düşünsek daha iyi olur. Bir işgâl veya askeri darbe, düşünülemez! Bütün bu riske girmelerin, bizi başarıya götüreceğini varsayıyoruz. Bunlardan biri başarısızlığa uğradığı zaman da bunu, yasalar ve düzenlemeler takip ediyor.

Risk ve başarısızlık karşısındaki kararsızlığımız (ve bunları yanlış anlayışımız), riski ve başarısızlığı zorunlu olarak içeren teknoloji üzerinde devâsâ bir etkiye sahip. Yenilikçi olma kabiliyetimiz, deney yapma kabiliyetimize bağlıdır. Ama deney yapma ile başarısızlık her zaman birarada bulunur. Büyük projeler söz konusu olduğunda bu başarısızlıklar, bazen, toplum açısından can sıkıcı ve dayanılmaz hale gelirler. Bunun en iyi örneklerinden biri, 1970'lerde yaşanan "enerji krizi"ydi. Ulusumuz, akıllı davranarak (ama nedense geçici

olarak), petrolün sınırlı bir kaynak olduğu gerçeğinin farkına vardı. Uzun vadede, enerji tabanımızı genişletmek zorundayız. Bu işe başlanması için 1970'lerin uygun zaman olup olmadığı, hâlâ tartışma konusu; ama o zamanlar öyle olması gerektiği düşünölmüştü. O yıllardaki kamu tepkisi ise, toplumumuzun teknolojide yaşanan değişiklikleri nasıl gördüğüne de tipik bir örnekti. Düşünölen bütün alternatif enerji kaynaklarının, risk içerdiğini gördük. Nükleer enerjinin içerdiğ risklerin bütünöyle farkında görünüyoruz. Özellikle de, radyoaktif yan-ürünlerden kurtulma sorununu yakından tanıyoruz. Bununla beraber, enerji kaynağı olarak kömürden yararlanmanın ne tür sakıncalar içerdiğini de uzun zamandır biliyoruz. Geleneksel petrol veya nükleer enerji üretimi sırasında meydana gelen kazaların ölüm oranıyla kıyaslandığında, çok daha fazla sayıda insanın maden ocaklarında ve kömürle ilgili diğer işlemler yüzünden hayatını kaybettiğini de biliyoruz. Ayrıca, zaman kaybına neden olan ufak tefek kazaların, çok fazla olması da işin bir başka yanı. Kömür kullanımını artıracak olsaydık, ayrıca şöyle bir sorunla karşılaşacaktık: Düşük maliyetli olması nedeniyle tercih edilen madencilik yöntemleri, toprağı büyük zararlar vermektedir. Dolayısıyla bu zararların üstesinden gelebilme yöntemlerini öğrenmemiz gerekecekti. Alternatif enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir. Ancak güneş enerjisi, rüzgâr enerjisinin ve biyo-kütlenin değıştirilmesini içerir. Yani, güneş enerjisi üzerinde dursaydık, bu seferde çok fazla miktarda hammaddeye ve geniş kara parçalarına ihtiyaç duyacaktık. Bu da, oldukça pahallıya malolacaktı. Öte yandan, tahıllardan alkol üretilmesi ve ağacların doğrudan dönüştürölmesi gibi yaklaşımlar, tek-ürünlü çiftçiliğı zorunlu kılacaktı. Bu durum ise, erozyon, kara parçalarının tükenmesi, gübreler ve böcek ilaçları gibi konularda yeni sorunların ortaya çıkmasına neden olacaktı. Yöneldiğimiz her yolun, riskli olduğu görölüyordu.

Enerji biçiminde temel değışiklikler meydana gelecek ve bu değışiklikler, çok farklı ekonomik ve ekolojik kollara ayrılacaklar. Bundan böyle de, bedava enerji ziyafetleri gündeme gelmeyecek. Verimliliğı artırma çabaları, genellikle artan bir uzmanlaşma ve süreçlerin karmaşıklaşmasıyla sonuçlanır. Başarısızlık potansiyeli de, bu sonu-



Appalachian Sıra Dağları'ndaki Mitchell Dağ'ında bulunan Fraser çam ormanı. Bu ormandaki çamlar, bir tehlikeyi işaret eder biçimde asit yağmuruyla yok oldular. Ayakta duran ölülerini, endüstriyel ve otomotiv pisliklere ait asitli bulutlarla kefeneye sarılmış oldukları görülebiliyor.

ca eşlik eder. Oyuncuların ne kadar dikkatli olduğu önemli değildir. Sonuçta, kaçınılmaz olarak hatalar yapılacak ve başarısızlıklar ortaya çıkacaktır.

Alternatif enerji kaynakları hakkında edindiğimiz bilgiye yönelik kamuoyu tepkisi ise, bu konudaki çalışmalarını engellemeye kalkışmak oldu. Maalesef, alternatif enerji kaynaklarına yönelmedeki riski, en kötümser açıdan değerlendirdik. Böyle bir yönelimi, "gönüllü" bir eğilim olarak görmekte zorlanıyorduk. Dolayısıyla, enerji tabanının çeşitliliğini, doğal kaynakların kısıtlılığı ve dünya ekonomisindeki değişiklikler nedeniyle yapılması gereken birşey olarak yorumlamak yerine, böyle bir yönelimin bize zorla kabul ettirilmek istendiğine inanmayı tercih ettik. Bunu yapanlar ise bize düşman yabancı çı-

karlar, petrol sanayisi, Demokratlar (veya Cumhuriyetçiler), câhil veya bencil çıkar grupları, büyük taşıtlar, aptal politikacılar ya da her ne ise onlardı... Dahası, mükâfatlar hileliydi. Örneğin, doğal kaynakları koruma yolundaki çabalar, aslında milli servetimize katkıda bulunmaya yönelik olmayacaktı. Bu çabalar sadece kayıp oranımızın artışıını yavaşlatmayı sağlayacaklardı. Bu, yüksekten atanlar için pek ilham verici bir mükâfat değil. 1970'li yıllardan bu yana, enerji sorununu birkaç kez savuşturduk -sakin bizden kaçtığını düşünmeyelim- ama şaşkın ve parmağımızı bile kıpırdatamaz bir halde kala kaldık. Başarısızlıkların ve potansiyel felâketlerin farkında olmamıza rağmen, neye sahip olduğumuzu ve sahip olduğumuz bu şeyin nasıl çalışacağını şaşılacak ölçüde unutmuş görünüyoruz. Gaz kaçaklarına, petrol atıklarına, elektrik kısıntılarına ve nükleer maddelerin israfına karşı fazlasıyla duyarlı olduk. Bu sorunlar, Amerika Birleşik Devletleri'nin bütününde sıkça yaşanıyor. Bir çoğumuz, enerji durumuz hakkında ne biliyor? Enerjimizin sağlandığı kaynakların yüzdesel olarak oranını veya bu enerjinin ne kadarının kimler tarafından kullanıldığını biliyor muyuz?

Amerika Birleşik Devletleri'nde kaç tane enerji santrali bulunduğunu biliyor muyuz? Peki ya, kaç tane kamu işletmesi olduğunu? Enerji üretiminin farklı boyutları için ne kadar yatırıma ihtiyaç duyulduğu konusunda bir fikrimiz var mı? Büyük bir sistemde, büyük değişiklikler yapılması için ne kadar zaman gerektiği konusunda ne söyleyebiliriz? Enerji krizi bugünlerde yeniden canlanıyor gibi. Ama başarısızlığa tahammül edemediğimiz için bu konuda önyargılı davranmayı sürdürüyoruz. Bilgi tabanımıza kök salan bu önyargılı tutumumuz da, uç boyutlara varan bir muhafazakârlığa yönelmemize neden oluyor. Bu yüzden, kendimizi sorunları çözebilecek tek teknolojik güç olarak görüyoruz. Ne var ki, enerji krizinin çözümü için teknolojiye başvurduğumuzda isteklerimiz, neredeyse tamamen tutucu oluyor. Gelgelelim, bu tür ikilemler, düzenleme sürecinde büyük gerilimler ve karmaşalar yaşanmasına yol açıyor.

Halkın teknolojiye yönelik tutumu, mantıktan çok başka şeylere dayanıyor gibi. Mesela, hiçbir şey vermeksizin birşey istemeye; arzulara ve düşlere; veya teknikten çok insansı faktörlere... Yasal dü-

zenlemelerin niteliği, bu tutumu açıkça yansıtıyor. Bu nedenle, yasal düzenlemelerin hepsi de, temsil edilen farklı çıkarlar arasında çok sayıda uyumsuzluğun ve tartışmanın ortaya çıkmasına yol açıyor. Teknolojiyle ilgili yasal düzenlemeler, bilimsel olduğu kadar siyasi bir düşünceyi de yansıtıyorlar. Ama teknik uygulanabilirliğin yanı sıra, umutları ve düşleri de temsil ediyorlar. Bunu aklımızda tutarak, teknolojiyle ilgili farklı düzenleme biçimlerine bir göz atalım.

Teknolojinin en büyük düzenleyicilerinden biri, tüketici talebidir. Ama bir Edsel'e, yani ev-içi kullanıma yönelik olarak tasarlanmış dış çekme aletlerine sahip olmak pek de yerinde birşey değildir. Kısacası, bu tür aletler, iyi satmaz. Bununla beraber, teknolojinin toplumsal yaptırımlar aracılığıyla düzenlenmesi de mümkündür. Örneğin, motorsikletin susturucusu inanılamayacak ölçüde gürültü çıkarıyor. Ama bunun yasaya aykırı olmadığını düşünüyorum. Yine de, motorsikletimi kullanırken, özellikle de evimin bulunduğu sokağa yaklaştığımda istimi hafifçe kısmaya özen gösteriyorum. Ama, pazarın ve toplumsal değerlerin teknolojiyi düzenlediği süreçler, eskisi kadar basit değil. Bunun nedeni de, modern medyanın varlığı ve toplumsal değerlerin reklamcılık gibi mekanizmalarla yönlendiriliyor olması. Sürdürülen sigara reklamları bunun en iyi örneklerinden biri. Sigaranın sağlığa fazlasıyla zararlı olduğu, bilinen bir gerçek. Çok az sayıda kişinin, sadece ilk birkaç sigarayı içerken zevk aldığını söylememde hiçbir sakınca olmasa gerek. Sigara tiryakileri bile, çoğu zaman "Keşke sigara içmiyorsa olsaydık" diyor. Buna karşın, sigara endüstrisi, çeşitli çekici imajlar kullanarak ürünlerini öylesine başarılı biçimde tanıtıyor ki genç insanlar, sigaraya başlamayı sürdürüyor ve sonunda da sigara bağımlısı olup çıkıyorlar. Bununla beraber, az da olsa, sigara pazarının beli büküldü. Sonunda ulaşılan noktada halkın, çeşitli düzenlemelere başvurması kaçınılmaz oldu, ve böylece, sigara reklamlarının denetlenmesi, sigara paketlerinin üzerine uyarı yazılarının konulması ve belirli yerlerde sigara içme yasağı getirilmesi gibi düzenlemeler yapıldı.

Reklamcılığın, doğal talepleri artırmayı nasıl başardığının başka bir örneği de, "PC"lerle yaşadığımız yeni aşk ilişkisi. Bilgisayar aydınlarından biri olmak için bilgisayara sahip olmak, iyi bir özellik

sayılıyor. Gerçekten de, herkesin üst düzey bir bilgisayara sahip olması gerektiği düşünülüyor. Bu kitabın ilk metnini, "TRS-80"de veya daha eski bir makinede yazmaktan çekindim. Çünkü arkadaşlarım, eski bir makine kullandığımı öğrenselerdi benimle dalga geçebilirlerdi. Bu yüzden, "5 megabyte"lık hafızaya ve "40 megabyte"lık "hard-diske" sahip gelişkin bir bilgisayarı yardıma çağırdım. Üstelik, özellikleri hakkında fazla bilgi sahibi olmadığım bir kelime işlemci program kullandım. Aslında ne bu bilgisayara ne de bu programa ihtiyacım vardı. Daha basit bir bilgisayar da rahatlıkla işimi görebilirdi. Hemen hemen hergün, yeni ve gelişkin bilgisayarları tanıtan reklamların bombardımanına uğruyoruz. Daha fazla hız ve kapasite sunan bu yeni bilgisayarlar, insanları cezbetmeyi iyi başarıyor. Bu da yetmiyor; sırada bir de "yazılım" bulunuyor. İhtiyacım olmayan ama reklamlar yüzünden satın alabileceğim "yazılım" olanakları saymakla bitmiyor. "Windows"tan tutun da, daha fazla format kabiliyetine ve sözlüklere kadar değışen, ayrıca daha birçok marifet içeren yazılım programları, insanı cezbediyor; ama elbette reklamlar sayesinde. Bu gidişat, daha uzun sürecek olursa, birkez daha şiddetli bir kamuoyu tepkisiyle karşılaşabiliriz. Sanırım bu sefer, "dürüst reklamcılık"a benzer bir sloganla bilgisayar devrimine karşı çıkılacak.

İronik olan da şu: Hükümet yerine pazarın düzenleme yapmasını ısrarla savunan iş dünyası, talebi kendi düzeyinin üzerine çıkarmak için doğal kaynaklarını genişletiyor. Aslında bu durumu, hükümet düzenlemesine daha fazla ihtiyaç duyulmasına yol açıyor. Örneğin, otomotiv sanayî, otomobilleri bizim açımızdan cazip kılma konusunda bu denli başarılı olamasaydı, senaryo tamamen farklı yazılacaktı. Bugün böylesine yoğun bir trafikle, hava kirliliğiyle ve güvenlikle ilgili düzenlemelerle boğuşmuyor olacaktık belki de. Ya da, uçak sanayî ekstra olanaklar sunarak, bedava uçak biletleri ve egzotik yolculuklar gibi imajları kullanarak bizleri "havaya" sokmayı başaramamış olsaydı, "FAA"nın duruma müdahale etmesine gerek kalmayacaktı. Biz de, uçuş seferlerindeki kronikleşmiş gecikmelerle uğraşmak zorunda kalmayacaktık. En azından kesin olan birşey var: Uçak sanayî, lüksün reklamını yapmamış olsaydı, havayolları, gecikmeler ve kaybolan valizler yüzünden böylesine sinirlenmeyecektik.

Bazı analistlerin düşüncesine göre, pazar ve kamu baskısı, teknolojiyi etkili biçimde kontrol etmeye yetmiyorsa, sanayinin bu görevi üstlenmesi gerekir. İşte bu noktada, konunun tam da özünde yer alan bir çıkar çatışmasıyla karşılaşyoruz. Özel sanayilerin amacı, kâr sağlamaya yöneliktir. Teknoloji, para kazandırır; çünkü her şeyden önce, üretim maliyetinin düşürülmesini sağlar. İkinci olarak, teknolojiyi ürünlerle bütünleştirir. Teknoloji kullanmanın bazı maliyetleri gözdardı edilebilirse kâr artırılabilir. Yani kimyasal madde atıklarının uygun biçimlerde yok edilmesi ve güvenli çalışma koşullarının sağlanması için alınacak önlemler gibi uygulamalar, kârın artırılmasını sağlayabilir. Analistlere göre, bütün teknolojik mucizelerin satılması için dayanılmaz bir istek duyulması da önemli bir sorun oluşturuyor. Pazar, kısa vadede teknolojinin bütün harikalarını satışa çıkarabilir belki. Hatta, bunların tümünü satabilir de. Ama nedense, toplumun uzun vadede ödeyeceği bedeller hemen her zaman gözdardı edilir. Özel sanayilerden tanıdığım yöneticilerin çoğu, başarılı ve iyi niyetli kişiler. Bununla beraber, kamu refahına bakış açısı, ekonomik büyümeye sıkı sıkıya bağımlı durumda. İşlerinin sağlığını her şeyin üzerinde görüyorlar ve şuna benzer sloganlar tutturuyorlar: “*General Motors* için yararlı olan herşey ülke için de yararlıdır...” Hükümet yatırımlarının başında bulunan yöneticiler için de aynısı söylenebilir. Benzerlikleri görmek için gazetelere şöyle bir göz atmak yeterli. Değınilen sorunları bir düşünün. Hükümete ait, fizyona eğilimli madde fabrikalarının neden olduğu kirlenmeler veya ordu arazilerindeki kirlenmeler gibi sürekli ele alınan sorunlar, her iki yönetici tipinin de benzer isteklere sahip olduğunu açıkça gösteriyor. Sonuçta yinelenen tema şu: Kısa dönemli amaçların başarılabilmesi için uzun dönemli sorunlar gözden çıkartılabiliyor.

Bir birey olarak mühendis hakkında ne söylenebilir? Mühendisin, bekçi köpeğı olması mı gerekiyor? Yanıt, bir kez daha kısmen verilebilir. Bu günlerde, mühendislik etiğı ve bir birey olarak mühendisin sorumluluğı hakkında çok fazla gürültü patırtı çıkarılıyor. Mühendislik cemiyetleri, etik sorumluluğına ilişkin yeni kurallar geliştiriyor. Buna karşın, sonuç oldukça belirsiz. Örneğın, bu kurallar mühendisin kamu çıkarına karşı sorumluluk taşımasını gerektiriyor.

Öte yandan, mühendislerin çoğu, büyük kuruluşlar için çalışıyor. Ne var ki, bir kuruluşun işlevini tam anlamıyla yerine getirebilmesi için mühendisin, çalıştığı kuruluşa karşı belli ölçüde sadakat göstermesi zorunludur. Ayrıca, kuruluşlar, mühendisler üzerinde bazı güçlere sahiptir. Örneğin, mühendisin maaşı veya göreve devam edip etmeyeceği, kuruluşun takdirine kalmaktadır. Kısacası mühendisler, kamu çıkarı ve kişisel çıkar çatışmasında kolayca iki ateş arasında kalabilmektedirler. Ayrıca, mühendislerin çoğu, kendisini bekçi köpeği olarak görmez. Tipik bir mühendisin hayatı, sadece işini en iyi şekilde yapmaya çalışmaktan ibaret değildir. Mühendisin çocuk yetiştirmesi, ev kirası ödemesi, tatile çıkması ve normal insanların yaptığı diğer şeylerle uğraşması gerekir. Bunlara ek olarak mühendisten bir de teknolojinin bütün sorumluluğunu üstlenmesini istemek bir tür yüzüzlük olacaktır.

Çalışmayı istiyor olabilirsiniz ama etik ve ahlaki konularda karar vermek, her zaman kolay olmaz. Sözelimi, çalıştığınız şirket, yeni bir nükleer silah geliştirmeye ilişkin bir sözleşme imzaladığında veya kimyasal atıkları okyanusa boşalttığında, yapmanız gereken “doğru” şey ne olacaktır? Şirketinizin uygunsuz davranışını herkese açıklayacak olsanız bile, hukuk sisteminin sizi destekleyeceğinden emin olabilir misiniz? Hukuk sistemi, dürüst davranışa ilişkin uyumsuzluk davalarında, doğruluğun ve adaletin belirlenmesi açısından nasıl bir rol üstlenir? Eğer yetenekli bir avukat, küçük bir şirketin sıkıntıdan kurtulmasını sağlayacak bir karar verilmesi yönünde jüriyi etkilemek için ikna edici bir savunma yaparsa ve yirmi yıllık toksik çöp pisliğin temizlenmesi yüzünden bir aile şirketinin batmasını engellerse, jürinin kararı ne ölçüde “adil” olacaktır? Dönen dolapları kamuya açıklamamanın, açıklamayı yapan kişiler adına pek de olumlu sonuçlar doğurmadığı yeterince kanıtlandı. Örneğin, “Three Bay Area Rapid Transit” (BART) şirketinde çalışan mühendisler, güvenlikle ilgili sorunlarını rapor edince işlerinden olmuşlardı. Atılma gerekçelerine gelince, listenin hayli kabarık olduğunu görüyoruz: İtaatsizlik, yetersizlik, üstlerine yalan söyleme, personel arasında bölücülüğe neden olma, kuruluş yönetmeliğine uygun davranmada başarısızlık... İşten atılan mühendisler, iki yıl sonra “BART”a karşı dava

açarak, kendilerine verilen zararın tazmin edilmesini istediler. Bu mühendisler, daha sonra, “Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü” tarafından “Kamu Yararında Karşılanmamış Hizmet Ödülü” ile ödüllendirildiler. Yine de, kısa dönemde ödedikleri bedel, yüksek olmuştu⁽³⁾. “General Electric”ten istifa eden üç mühendis de, buna benzer sıkıntılar çekmişti⁽⁴⁾. İstifa etmelerinin nedeni, nükleer enerji üretiminin tehlikelerine karşı duydukları endişeyi ifade edebilecekleri bir forumun, şirket tarafından oluşturulmamasıydı. Vicdanlarının sesini dinleyen kişilerin haklarını korumaya yönelik çalışmalar sürdürülüyor elbette. Ama büyük bir olasılıkla, bu tür eylemler, sorunun çözülmesi için yeterli olmayacaktır.

Gelgelelim bütün bunlar, birey olarak mühendisin daha fazla ahlâki sorumluluk üstlenmemesi gerektiği anlamına gelmiyor. Mühendisler, kötü uygulamaların ve tehlikeli yönelimlerin saptanması konusunda, herkesten önce birşeyler yapabilecek konumda bulunuyorlar. “Mühendisler için Etik” konulu düzenli ve kısa kurslar, giderek yaygınlaşıyor. Aynı zamanda, halk, ahlaksız uygulamalara karşı çıkan mühendisleri giderek daha fazla destekliyor. Yine de, bir birey olarak mühendis, bekçilik görevinin sadece bir bölümünü yerine getirebilir.

Teknolojiyle ilgili yasal düzenlemelerin öyküsü, buharlı gemi kazanlarının patlamasıyla başladı. Ama sonunda öyle bir noktaya ulaştık ki teknoloji, ne zaman toplumsal değerlerle çatışacak olsa, karşısında yasal engelleri buluyor. Bu hukuksal süreç, hiç değişmeden sürdü ve sürmeye de devam ediyor. Bazı yasalar, bazı kişilere biraz sorun çıkarıyor. Örneğin, motor susturucusu olmayan araçların kullanımının, uyuşturucu satın almanın veya bakkalda DDT satmanın yasadışı olması gibi. Tabii ki büyük sorunlar çıkaran yasalar da yok değil. Mesela, motorsiklet kaskı takma, silah kontrolü ve emniyet kemeri gibi konularla ilgili yasalar. Yasaların bazıları, gerçekten çok etkili. “Cenevre Sözleşmesi”nin, savaşlarda kullanılan bütün mermilere metal kılıf takılmasını öngören hükmü, hâlâ göklere çıkarılıyor. Üstelik o zamandan beri megaton füze başlıklarının, sinir gazlarının, tam otomatik silahların kullanımına ve hava saldırılarına ilişkin bütün terör biçimlerinin uygulanmasına rağmen. Ama, esrar

kullanmaya ve saatte 80 km'nin üzerinde hız yapmaya benzer şeyleri yasaklayan diğer yasalar, sonuçta hiçbir güce sahip değilmiş gibi görünüyor. *

Zaman ilerledikçe, teknolojiyle ilgili yeni düzenlemeler yapılabilmesi için sürekli yasa çıkartılıyor. Bunun yanı sıra, bu yasaların yorumlanması, tazminat ve cezaların belirlenmesi amacıyla, hükümete ve özel kuruluşlara ait çok daha fazla sayıda hukuksal işlem karara bağlanıyor. Yazık ki, yasaya ve mahkemelere bağlı olan düzenleme süreci, fazlasıyla karmaşık. Ayrıca, bu iş için harcanan paranın ve zamanın haddi hesabı yok. Nedense düzenleme süreci, teknolojiye karşı genellikle düşmansı bir tavır takınıyor ve mühendisleri çeşitli rollere sokuyor. Kaliforniya'daki nükleer güç sorunu, bunun en iyi örneklerinden biri. Nükleer güç teknolojisi, uzun yıllar süren bir mücadeleden sonra durduruldu⁽⁵⁾. Bir takım araziler, mücadeleye konu edilmişti. San Fransisko'nun kuzey sahilinde bulunan Bodega Head'de, Los Angeles'ın kuzey sahilinde bulunan Malibu'da, ve Santa Maria sahilinde bulunan Diablo Canyon'da santraller yapılması planlandı. "Vallecitos" atom santrali, zaten işler halde bulunuyordu. Bu arazilerin her biri de, kamu hizmeti kuruluşları, özel şirketler, Atom Enerjisi Komisyonu (AEC), Sierra klübü, bir takım çevreci gruplar ve arazi sahipleri, Kamu Hizmeti Kuruluşları Komisyonu, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) ve çok sayıda bağımsız danışman arasında şiddetli tartışmalara konu oldu. İlk iki santralin yapımı iptal edildi ve Diablo Canyon'daki santral, can çekişme dönemine girdi. Tıbbi izotopların imal edildiği Vallecitos santrali ise, altı yıllığına kapatıldı ve kapalı olduğu süre içinde, diğer ülkelerdeki kaynaklarla olan iş bağlantılarını kaybetti. Santrallerle ilgili olarak ileri sürülen argümanların temelinde hep aynı iddia yatıyordu. Bir deprem olması durumunda, santralin güvenliği yeterli olmayacaktı. Tartışmaların şiddetli oluşu ise, belirli ölçüde, ilgili tarafların farklı perspektiflere sahip olmasından kaynaklanıyordu.

Örneğin, uzman mühendis ve jeologlara ihtiyaç duyuluyordu ama bu uzmanların konuya bakış açıları, birbirlerinden tamamen farklıydı. Mühendisler, tehlikeli ortamların tasarımında çalışmaya

alışkındırlar. Bu ortamların çoğunun değışme hızı, tasarımda yararlı olacak tahminlerin yaklaşık olarak doğru yapılabilmesine olanak tanır. Oysa jeologlar, geniş zaman aralıklarıyla ilgilenir ve büyük yorum farklılıkları içeren verilerle çalışırlar. Örneğin, “USGS” jeologları, Bodega Head'deki alanla ilgili olarak, şu sonuca varmışlardı: Kara parçalarının yer değıştirmesi esnasında yerkürenin dış kabuğunda oluşan küçük bir çatlak, geçmiş 40,000 yıl içinde, bir ile üç fit arasında değışen bir harekete sebep olmuştu. Mühendisler, küçük sarsıntılarla başa çıkabilecek durumlardı ve bilmek istedikleri şey, gelecek 50 yıl içinde (yani, söz konusu reaktörün ömrü boyunca) gerçekleşebilecek sarsıntılardı. Bir jeolog için, 50 yıl fazla anlamlı değildir. Jeoloji gibi tarihi bir bilimi, mühendislik gibi bir alanla kaynaşmaya zorlama süreci, bunun tam anlamıyla gerçekleşmesinin güç olduğunu işte o zaman kanıtlamıştı.

Çevreci gruplar ve arazi sahipleri, tasarlanan reaktöre çeşitli gerekçelerle karşı çıkıyorlardı. Bu gerekçeler, deniz kıyılarının bozulmasından, atomik olarak üretilen enerjiye karşı çıkılmasına kadar çeşitlilik gösteriyordu. Kamu kuruluşları, santrallerin elektrik üretiminde kullanılmasını istiyorlardı. Özel şirketler ise reaktörlerin kurulmasında diretiyorlardı. Atom Enerjisi Komisyonu, karar verme yetkisine sahip görünüyordu ve belli ölçüde de olsa hâlâ, II. Dünya Savaşı sonrasında üstlendiği “Barış için Atomlar” misyonunun etkisi altında gibiydi. Hükümet kuruluşları, hükümete ait önceliklerden etkilenirler. Sıra, daha sonra seçmenlere ve farklı çıkar gruplarına gelir. “USGS”, hükümet emrinde çalışan yetkili profesyonel jeologlardan oluşan bir gruptu. Kuşkusuz, bu jeologların atom enerjisi konusunda kendi bireysel görüşleri de bulunuyordu. Danışmanlar ise, mesleki yetkinlikleri nedeniyle tutulmuşlardı; ama kişisel görüşlerinin nükleer güce karşı olmasının da, bu göreve alınmalarında payı vardı.

Herhangi bir muhalefet söz konusu olduğunda, genellikle yaşanan bir durum da şudur: Her iki yakada da, eşit güvenilirliğe sahip teknik uzmanlar bulunur. Teknolojiyle ilgili sorunların karmaşıklığı, bu tür uzmanların kendi değer yargılarına ve görüşlerine güvenmelerini zorunlu kılar. Profesör olduktan sonra, bölüm başkanlığı yaptığım sıralarda, birkaç hukuksal davada, teknik uzman olarak danış-

manlık yaptım. Bunlardan ikisinin duruşması görüldü. Bu anlaşmazlıklara ilişkin basit bir çözüm olmadığı açıkça ortadaydı. Zaten durum böyle olmasa, duruşma da yapılmayacaktı. Bu nedenle biz uzmanlar, görüşlerimizi sunuyorduk ve tartışma, bizim güvenilirliğimizin ve inanılrlığımızın etrafında dönüp duruyordu. Sonra bir anda kendimi, oldukça yetenekli ve ağız iyi laf yapan bir avukatın, benim yetkili biri olmadığımı kanıtlamaya çalışmasını dinlerken buldum. Buna ihtiyacım yoktu ve o zamandan beri duruşma salonlarından uzak durmaya çalışıyorum. Mühendislerin çoğu, uzman tanık olarak çalışmaktan, yasanın uygulanması için değerlendirmeler yapmaktan ve raporlar hazırlamaktan zevk alır. Azınlıkta kalanlarıysa, bunu fazlaşıyla sinir bozucu bulur. Kaliforniya'daki tartışmalar sırasında, nükleer enerjinin kullanılmasıyla ilgili birçok duruşma yapılmıştı.

Ancak, yalnızca dava açılmasıyla yetinilmemişti. Aynı zamanda, hükümete bağlı çok sayıda duruşma heyeti de, önerileri ve itirazları denetlemek ve davanın karara bağlanması için kanıt toplamak üzere görevlendirilmişti. Bu heyetler, Nükleer Düzenleme Komisyonu (NRC), Atom Güvenlik ve İzin Kurulu (ASLB) ve Reaktör Koruyucularla ilgili Danışma Komitesi (ACRS) gibi kurum ve kuruluşlardan oluşuyordu. Bununla beraber, alınacak kararın resmi temyiz yolu da açıktı. Kaliforniya'daki araziler uğruna verilen mücadelede, reaktör kurulmasına izin verilmesi için başvuruda bulunan kişiler, başvuru tarihinden karar verilmesine değin geçecek süreyi, en az üç yıl olarak tahmin ediyorlardı. Oysa Kaliforniya duruşması ve sürdürülen tartışmalar, bu sürenin daha da uzamasına yol açtı.

Böyle uzun ve karışık davalar, sadece masraf ve ihtilâf yaratmakla kalmazlar; aynı zamanda, Amerika Birleşik Devletleri iş dünyasına da acı çektirirler. Fransa ve Japonya gibi ülkelerdeki şirketler, reaktör kurulması sırasında kamu müdahalesine daha az maruz kalıyorlar. Reaktörün herhangi bir alana kurulması ve reaktör güvenliği gibi konular, Fransa'da, kapalı kapılar arkasında tartışılıyor ve kamuya herhangi bir açıklama yapılmıyor. Oysa Amerika Birleşik Devletleri'ndeki düzenleme süreci, nükleer reaktörlerin hem konvensiyonel enerji santralleriyle hem de diğer ülkelerdeki reaktörlerle rekabet etmesini engelleyici biçimde sürdürülüyor. Amerika Bir-

leşik Devletleri'nde nükleer santral görmek istemeyen kişilere göre bu sonuç, akla yatkın görünüyor. Öte yandan, Amerika Birleşik Devletleri'nin, teknolojiye yön verdiğini, diğer ülkelerle ticari bağları bulunduğunu vurgulayan ve nükleer gücün güvenli olduğunu düşünen kişilere göreyse bu sonuç, tamamen mantıksız olarak görülüyor.

Jet İtiki Laboratuvarında ve daha sonra da Stanford Üniversitesi'nde bulunduğum yıllarda, hava kirliliğinin denetlenmesi konusunda yapılan çalışmalara katıldım. Bu çalışmalardan bazılarını yönettiğim de oldu. Ayrıca, Kaliforniya Valiliği Toksik Atıklardan Kurtulma Geçici İşbirliği Komisyonu'nun üyesiydim. Bu tür sorunlarla ilgili komitelerde çalışan ve teknik eleman olmayan görevlilerin, mükemmel bir teknoloji istediklerini fark ettim. Bu, çok sık rastlanan bir durumdur. Yani, neredeyse hiçbir şeye malolmayacak ve gelecekte hiçbir bilinmeyen tehlikeye yol açmayacak bir teknoloji istiyorlardı. Kullanımda olan teknolojiden daha iyi bir teknoloji zaten vardır; ama bu, oldukça pahalıdır. Yeni bir teknoloji geliştirilebilir elbette. Ancak bu, oldukça masraflı olur. Üstelik daha fazla sayıda bilinmeyen yan etkinin ortaya çıkmasıyla da sonuçlanabilir. Bu tartışmalarla ilgilenen mühendisler, teknolojinin içinde olmayan kişilerin beklentileri yüzünden rahatsız olurlar. Mühendisler, bu kişilerin yeni gelişmeler için herhangi bir bedel verme konusundaki isteksizliklerine, pek de sıcak bakmazlar. Bu tür tartışmaların izdihamı ve alınçlığı ise mühendislerle hiç uygun değildir.

Mühendisler, Valilik İşbirliği vakâsında, "Temizliğin ölçütü nedir?" sorusunun yanıtlanmasını istediler. Toksik atıkların kontrolü, oldukça çetrefilli bir eylem gerektirir. Her şeyden önce, mevcut toksik atığın temizlenmesi zorunludur. İkinci olarak, biriktirilen atığın miktarının azaltılması gerekir. Son olarak da, daha iyi yok etme yöntemleri bulunmalıdır. Toksik atık hava kirliliğine benzemez çünkü toprağın kaldırabileceği toksik atık miktarını belirten bir kirlilik sınırı yoktur. Mühendisler, bir hedef belirlenene değin, teknolojik öneriler geliştirme konusunda zorluk çekerler. Ne var ki, Valilik İşbirliği vakâsında, çeşitli siyasi gerekçelerle hiçbir hedef belirlenmemişti.

Bunların yanı sıra, mühendisler, toksik atıkların yok edilmesi konusunda araştırma ve geliştirmede bulunmak için daha fazla dev-

let ödeneği talep etmişlerdi. Ancak, o zamanlarda muhafazakâr ya-
kada yer alan devlet yönetimi, teknolojinin özel sektör kanalıyla ge-
liştirilmesi gerektiğine inanıyordu. Toksik atıklardan kurtulma, faz-
lasıyla karmaşık bir iştir. Bu nedenle de özel şirketler, teknolojinin
geliştirilmesi için sağlam olmayan ödenekler kapsamında büyük ya-
tırmalar yapmaya zorlanırlar. Bahsettiğimiz olayda ise, çalışmaya
katılmış olan teknik ve teknik olmayan kişiler arasındaki bakış fark-
lılıkları, çoğunlukla hayal kırıklıklarına yol açıyordu. Çünkü, teknik-
olmayan kişilerin istediği çözümler, ne kısa dönemliydi ne de kısa
dönemli teknik güçlükleri hesaba katıyordu. Oysa teknik kişilerin ist-
ekleri tamamıyla zıt yöndeydi. Aslında toksik atıklardan kurtulma-
ya ilişkin olarak Kaliforniya'daki temel engeller, teknik olmaktan
çok hukuksal ve siyasiydi. Bu her iki tarafın da canını sıkan bir du-
rumdu. Teknik kişiler, bilmeceyi çözemediklerini gördükleri için bi-
raz bozulmuşlardı. Teknik-olmayan kişiler ise, hukuksal ve siyasi so-
runların çözülmesinin gerekmeceğini ümit ediyorlardı.

Bu sorunların hâlâ çözülememiş olmasının nedeni, kısmen de
olsa, siyasi ve hukuksal tartışmaların yüksek bedelli oluşudur.
“Rand Kurumu”, birkaç yıldan beri, “Sivil Adalet Enstitüsü” adı altın-
da bir proje yönetiyor. Burada, çeşitli biçimlerdeki hasar davaların-
da uygulanan hukuksal sürece ilişkin çalışmalar yapılıyor. Bu kuru-
mun ulaştığı bazı ilginç sonuçlar var⁽⁶⁾. Örneğin, 1985'teki hasar da-
valarına (araba hasarları hariç) ilişkin ortalamada, davacıya ait
masraflar, bütün tazminatın % 31'ini ve savunma masrafları da bü-
tünün % 28'ini oluşturuyordu. Hasara uğrayan kişiler, tazminatın sa-
dece % 41'ini alıyorlardı. Her ne kadar bu davalar, ihlâl, hakaret, ifti-
ra, ve arazi mülkiyet anlaşmazlıkları gibi konuları içeriyor olsa da,
kişisel hasar, mülk hasarı, ihmal veya hakların ihlal edilmesi sonucu
meydana gelen zararları da kapsarlar. Çalışma, doğrudan doğruya
teknolojiyle ilgili davalara yer vermiyor. Yine de giderler çok büyük.
Çalışmanın ulaştığı saptamaya göre, 1985'de Amerika Birleşik Dev-
letleri'ndeki hasar davalarına ilişkin yıllık giderler, 29 ile 36 milyar
dolar arasında bulunuyor. Hâlâ sürmekte olan “asbest davası”nda,
daha şaşırtıcı bir rakâmı karşılaşılabilirsiniz. Geçtiğimiz on yıl için-
de, tazminât ve dava masrafları için tahminen 1 milyar dolar har-

candı. Gelecek 30 yıl içinde asbest yüzünden meydana gelecek ölümlerin sayısının, 74,000 ile 265,000 arasında olması bekleniyor. Buna bağlı olarak, tazminât ve dava masraflarının milyarlarca dolar olacağı tahmin ediliyor. Şimdiye kadar, bu tür davalarda bütün taraflarca harcanan toplam paranın, ortalama % 37'sini davacı taraflar almıştır. Savunmaya ait masraflar, ortalama olarak toplamın % 37'sini oluşturmuştur. Davacılara ait masraflar ise, toplamın % 26'sını oluşturmuştur. Yasal işlem ve mahkeme masrafları, hasar gören tarafa ödenen tazminatın hemen hemen iki katıdır. Hem hasar davalarının sayısı hem de sonuca bağlanan mahkeme kararlarının sayısı, büyük bir hızla arttığı içindir ki düzenlemeye ilişkin ölçütlerden sapmalar kaçınılmaz olmaktadır. Toplumumuzun yüzleşmek zorunda kaldığı sonuç ise, cezaların belirlenmesi amacıyla yapılan hukuksal harcamalar olmuştur.

“Rand” çalışması, aynı zamanda, uzmanlık gerektiren teknolojik argümanların jüriye sunulmasının güçlüklerini de inceliyor. Aşağıdaki alıntıda bir davanın uzman tanıklarının ifadelerinin dinlenmesinden sonra bazı jüri üyelerince yapılan yorumları görüyorsunuz:

“Yalan söyleyecek kadar zeki biri gibi görünmediğinden değil de, o biraz... Tamam tamam, inanılır biri.”

“Bana göre, onda bir sorun yok.”

“Söyleyeceklerini önceden hazırlamamış.”

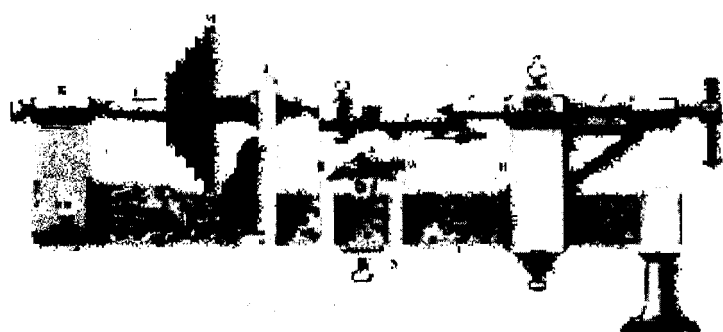
“Dürüst bir insan olduğu söylenebilir”

“İyi bir adam işte.”

“Biliyorsunuz ona kısa bir açıklama yapıldı ve konuşması istendi, ama bazı başka kişiler gibi değildi. Bilirsiniz canım, o bazıları ki sayılarını tahmin edemezsiniz... geceleri yatmadan önce kendi kendilerine ne söyleyeceklerini tekrarlıyorlardır herhalde... Onların ayna karşısında saçlarını düzeltirken söylecekleri şeyleri ezberlediklerini gözünüzde canlandırabilirsiniz.”

Gördüğünüz gibi bu yorumların, uzmanla çok az ilgisi var aslında. Teknolojinin düzenlenmesi karmaşık bir sorundur; ama bunu daha iyi yapabiliriz ve yapacağız da. Buna karşın, ilgili taraflar arasında daha iyi bir diyalogun ve eğitimin sağlanması gerekecek. İşlerin daha basit olduğu bir dönemde sorunları, hukukun muhalif yaklaşımları kanalıyla ele aldık ve hâlâ böyle yapmaya çalışıyoruz. Ne var ki, bugün bunun için daha yüksek bir bedel ödüyoruz. Yargı

sistemimiz daha fazla zorlanıyor ve adil olmayan sonuçlara ulaşıyor. Hatta, iş dünyası ve hükümet arasındaki geleneksel muhalefet ilişkisi bile artık işlemiyor gibi. İş dünyası yetkilileri, hükümet düzenlemelerine karşı çıkma eğiliminde olsalar bile, bireysel olarak başlayan programlarda bu düzenlemeleri uygun buluyor gibiler (Bu düzenlemeler, bu tür programların başlatıcılarını rekabet açısından olumsuz bir konuma yerleştiriyor). Serbest pazardan yana olduğunu yüksek sesle söyleyen birçok Amerika Birleşik Devletleri yetkilisi, şimdi görüşlerini değiştirdi. Japonya, artık dışli bir rakip olarak görülüyor. Teknoloji, olgunluk aşamasına ulaştı. Bu görüş, giderek kesinlik kazanıyor. Teknoloji öylesine olgunlaştı ki toplumsal kontrol artık hem ekonomik hem de fiziksel sağlığımız açısından temel bir önem taşıyor.



Teknolojinin İzinde

Gelecekle Hesaplaşma

Gelecek hakkında spekülasyon yapmak benim harcım değil. Bunun için bu bölümü kısa tutacağım. Teknolojinin geleceği hakkında kehanette bulunarak hayatını kazanan kişiler, bana komik gelir. Çünkü bu tür kişilerin tahminleri genellikle boş çıkar. Ahkam keserek atıp tutmalarının yanı sıra, sıkı sıkıya sarılan bireysel değerlere asılsız varsayımlarla karşı çıkmalarıysa, konumlarını daha da komikleştirir. Çoğu zaman teknoloji hakkında hararetle tartışmalara tanık olurum. Bence, bu tartışmaların da bir kusuru var. Yeterli bilgi ve tutarlı bir mantık içermelerine karşın, din veya siyaset tartışmalarına benzer bir şekilde geliíyorlar. Geçenlerde fakóltenen iki arkadaşımın bir tartışmasına kulak misafiri oldum. İkisi de bilgili kişilerdi ve nükleer enerjinin yararlarını ve zararlarını tartışıyorlardı. İlginç olan nokta, her ikisinin de savlarını doğrulamak için aynı verilere başvurmalarıydı. Beşeri bilimler fakólterinde çalışan ve siyasi görüşlerinde liberal olan arkadaşlarım, mühendis ve işadamı olan muhafazakar arkadaşlarıma göre teknolojiye daha kuşkucu yaklaşıyorlar. Bu hiç de şaşırtıcı değil. Bense, teknoloji sözkonusu olduğunda iki uç arasında bulunduğumu düşünüyorum. Teknoloji ile kendimizi yok edeceğimize

inanmıyorum; ama, teknolojik başarıların bizlere ütopyalar sunacağını da zannetmiyorum. Bu yüzden, liberal arkadaşlarım arasında aşırıya kaçanlar, benim ileri teknoloji yanlısı tehlikeli biri olduğumu düşünüyorlar. Aşırı muhafazakar arkadaşlarım ise, benim karamsar biri olduğumu söylüyorlar. Sanırım bu farklı grupların her ikisi de benim tahminlerimi fazla ciddiye almayacaktır. Yine de, teknoloji alanında şu anda yaşanan başarıları ve sorunları değerlendirerek, geleceğe ilişkin bazı teknolojik yönelimlerin doğasını anlayabileceğimize inanıyorum.

Sözgelimi, kitaplarda sözü geçen donanım ve yazılım mucizelerinin birçoğunun gelecekte gerçekleşeceğini söylemek kehanette bulunmak değildir. Bildirişim ve iletişim sistemlerinin bugünkü hızlı gelişimi, bir süre daha devam edecek. Bu da, gelişkin uydular, fiber optikler arası fiziksel bağlantılar, evrensel hücre şebekeleriyle gerçekleşecek. Teçhizatların giderek daha da küçülmesi ve uzmanlaşması da bu süreci pekiştirecek. Biyo-teknoloji ya da genetik mühendisliği bizlere yeni ilaçlar sunmayı sürdürecektir ve hayatın tıbbi olmayan birçok yönüne sızacaktır. Yazık ki, bugüne kadar kamuoyunun bütün dikkati, insan hastalıklarının tedavi edilmesi ile besin zincirini oluşturan bitkiler ve hayvanlara alternatif bulunmasında genetik mühendisliğinin avantajları ve potansiyel tehlikeleri üzerinde yoğunlaştı. Ama, genetik mühendisliğinin temel işlem sanayilerine yapabileceği katkılar gözden kaçırıldı. Fermantasyon en eski ve en iyi kimyasal işlemlerden birisi. Doğal bakteriler, büyük miktarlarda elektriğe veya variller dolusu akaryakıtı ihtiyaç duymadan bu işlemi gürültüsüzce yapıyorlar. Genetik açıdan değiştirilen bakteriler de, çeşitli işlemleri yapabilmeye gücüne sahipler. Bu tür mikroplar denize dökülen petrol artıklarını yiyiyor ve maden cevherlerini ortaya çıkarıyorlar. O halde bu bakteriler neden daha fazla iş yapacak biçimde bir mühendis gibi çalıştırılmaları? Belki de, öğrencilerimden birinin söylediği gibi genetik mühendisliği iyi bira yapmayı başardıği zaman 'hakikat' olacak.

Uzay istasyonları, belki ay üstünde kurulu bilimsel bir koloni, muhtemelen de uzay silahları gibi teknolojik olanaklara birgün sahip olacağız. Ne çatışmaların ve savaşların biteceği ne de “yıldız savaşları” teknolojisinin cazibesinin azalacağı yönünde bir belirti var. Böylece savaş meydanları, ekonominin de izniyle uzaya kayacak. Ancak,

uluslararası rekabet ile donanma füzeleri denetim altında tutulursa tehlike altındaki hayatları kurtarma şansı doğabilir. Aslında bir anlamda buna mecburuz da.

Teknolojide uzmanlaştığımız ölçüde teknolojiyi kullanma biçimlerimizin de farklılaşacağına inanıyorum. Örneğin, iletişim ve bildirişim işlemleri üzerinde artan yetkinliğimiz çok yakın bir gelecekte yeni kullanım sorunlarını açığa çıkaracak. Peki yeni kaynaklara ulaşabilme ve kişisel gizlilik gibi sorunların üstesinden nasıl geleceğiz? Haber programlarının, eğlence sektörünün eline geçmesini önleyebilecek miyiz, yoksa durum çoktan bu aşamaya geldi mi? Kim neyi bilmeye ihtiyaç duyuyor? Teknoloji akıl almaz bir hızla geliyor. Buna karşılık, insan beyninin gelişme hızına ne buyrulur? İnsan beyni teknolojinin hızını yakalayabilir mi? Birçoğumuz, haddinden fazla bilgiyle boğulmuş durumdayız. İşler öylesine karmaşıklaştı ki bütün bunları birbirinden nasıl ayıklayacağız acaba?

1990 seçimlerinde bu kaçınılmaz durumu güçlü bir biçimde hissettmiştim. Kaliforniya'daki seçim kampanyalarının değiştiği sorunlar o kadar karmaşıktı ki, sanki siyasetçilerin gerçek amaçlarının oy kullananlardan gizlenmesine çalışılıyordu. Sanayi açısından önemli sorunlara değiniliyordu. Böcek ilaçlarına ve ağaçların kesilmesine getirilen yasaklar ya da içki vergisi gibi konular üzerinde duruluyordu. Alınan tedbirleri desteklemek veya yermek amacıyla radyo ve televizyona büyük miktarlarda para yatırılmıştı. Reklamlar öylesine iyi hazırlanmışlardı ki, yarattıkları duygusal etki yüzünden sorunlar hakkında açık ve kesin biçimde düşünmek neredeyse imkansızdı. Televizyonda seyrettiğim bir reklamda, kemoterapiden kelleşen bir çocuk ve böcek ilaçlarının bilinmeyen tehlikelerinden bahseden bir genç kadının yüzünden, bahçemdeki zararlı böcekleri seveceğime dair yemin etmiştim. Beni şaşkına çeviren başka bir reklamda ise, teknolojinin müdahalesi sonucu fakirleşen bir aile görmüştüm. Hayatı pahalılaştıran teknoloji, bu aileyi köye göç etmeye zorluyordu. İşleri berbat etmek için kendi uzmanlık alanıma yöneleyim en iyisi. Bilgisayarlar yine iş başındaydı. Tedbiri elden bırakmamak için bir süre beklemeleri gerekse de, seçim sonuçlarını tahmin etmeye koyuldular. Demokrasi-mizin detayları söz konusu olduğunda modern elektronik sanki işin

içinde değildi ve kamuoyu medya tarafından oluşturulmuyordu. Gerçekten de, teknolojinin demokratikleşme sürecinde neler başarabileceğini düşünmemiz gerekiyor.

Bir gün teknolojinin kullanımları ve yönelimleri hakkında daha ayrıntılı düşünmeye başlayacağımızdan eminim. Bunun nedeni de, sadece teknolojinin gelişen olanakları olmayacak. Çünkü hayat ve hayatı algılayış biçimlerimiz de, teknolojiye bağlı olarak daha karmaşık bir hale gelecek. Örneğin, mühendisler, içinde bulunduğumuz yüzyılın ortasına kadar, sınırlı kaynakların ekonomik boyutları dışında herşeyi rahatlıkla bir kenara bırakabiliyorlardı. Ama artık işler böyle yürümüyor. Dünya nüfusu anormal bir hızla artmayı sürdürüyor. Bu artış, sadece mineral kaynaklarımızı ve yağmur ormanlarını etkilemiyor. Bunların yanı sıra, atmosferi, okyanusları ve şehirleri eşi benzeri görülmemiş tehlikelere sürüklüyor. Bu konular, mühendisliğin temel sorunları oldu. Yeryüzünün kalabalık bölgelerindeki hayat standartı düştükçe, kıtlık ve olumsuz sağlık koşulları dikkat çekmeye devam ettikçe enerji verimliliği, artıkların yeniden kullanılabilir hale dönüştürülmesi ve uygun kullanım gibi sorunlar da daha fazla önem kazanacak.

Sözgelimi, yakıt olarak kullanılan petrol ve kömür harikalar yaratmamızı sağladı. Ama bu kaynaklar, çeşitli biçimlere dönüştürülebilen (mesela plastik gibi) kompleks hidrokarbonlar olarak oldukça değerliler. Ne var ki, arabalarda, elektrik santrallerinde ve evlerimizin kaloriferlerinde uçup gidiyorlar. Ayrıca, bu kaynakların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin de farkındayız. Gelecekte, fotovoltaiik üretimin kullanıldığını veya güneş ışığının doğrudan elektriğe dönüştürüldüğünü göreceğiz. Dönüştürücü aletlerin bedeli de azalacak. Yüksek ısı süper iletkenliğinin geliştirilmesi ise, enerji tüketiminin verimli hale getirilmesinde önemli bir faktör olacak. Kısa dönemde, Amerika Birleşik Devletleri'nde nükleer enerji işine geri dönüşmesi konusunda yoğun bir baskı yaşanacağını düşünüyorum. Fizyon enerjisinin, biraz daha zamana ihtiyacı var belki; ama sonunda kolaylıkla elde edilebilir birşey olacağı da açık. Füzyon ise, zaten birçok ülkede yaygın olarak kullanılıyor. Örneğin Fransa, elektriğinin % 70'ini nükleer enerjiden sağlıyor. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise, 1976'dan beri yeni bir nükleer santralin kurulmasına izin verilmedi. Zaman hızla geçer-



1972 yılında Pruitt-Igoe'nin patlayıcılarla yıkılışı. Düşük maliyetli bu konut projesi, St. Louis şehir merkezinde inşa edilmiş, ancak daha sonra bir "ghetto"ya dönüşmüştü. İroniktir ki, "ghetto" sakinleri, binaların tasarımının bazı açılardan mükemmele yakın olduğunu belirtmişlerdi. Eğer farklı bir sosyo-ekonomik çevrede inşa edilmiş olsalardı büyük bir olasılıkla talebi yüksek konutlar olacaktı.

ken, fabrika güvenliği ve çöplerin yok edilmesiyle ilgili sorunlar da çözülüyor. Ama petrokimyasal yakıtlarla çalışan enerji santrallerinden kaynaklanan çevre kirliliği sorunları, artmaya devam ediyor. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için nükleer enerji konusunda daha ayrıntılı düşünmek zorunda kalacağız.

"Bırakınız yapınlar" devri, teknoloji için miyadını doldurmuş durumda. Artık hayalimizde yarattığımız her şeyi üretmeyi göze alamayız. Üretmeyi göze alabildiğimiz ürünlerden bazıları ise, bilinmeyen yan etkilere sahip. Toplum, teknolojinin yönelimleri konusunda bazı ciddi kararlar vermek zorunda. Ama şu anda elimizde bu kararları verecek yeterli mekanizmalar bulunmuyor.

Toplumsal ve çevresel ihtiyaçlarımızın çoğu, sadece yüksek-teknolojik düşüncenin düşük teknolojik sorunlara uyarlanmasıyla çözülemez. Yazık ki, teknolojideki göz kamaştırıcı alanlar, yetenek ve kaynakların gereğinden fazla bir bölümünü kendilerine doğru çekiyorlar. İnsanları hızlı, rahat ve ucuza taşıyacak ulaşım sistemlerine, düşük fiyatlarda barınacak yerlere, yerleşim merkezleri için yeterli içme suyunu, tıbbi bakım ile eğitime daha fazla bütçe ayrılmasına hâlâ ihtiyaç duyuyoruz. Ayrıca, yüksek kaliteli kitlesel eğlence biçimlerine, daha az çöpe ve çöplerden daha iyi yollarla kurtulmaya gereksinim duyuyoruz (Bununla, toprağa gömülmek yerine yeniden kullanılabilir hale dönüştürülebilecek veya onarılabilecek ürünleri kastediyorum): Eskiyen yollarımızın, köprülerimizin ve su borularımızın bakımını, daha akılcı biçimlerde yapmalıyız. Aynı zamanda, ormanlarımızı ve keresteden imal edilen ürünlerimizi de daha iyi korumalıyız.

Acaba bu tür değişimler, mühendislerin mesleki hayatını ne ölçüde ve nasıl etkileyecek? Giderek karmaşıklaşan teknoloji ve toplumsal sorunlar, kısıtlamaların ve zorunlulukların artmasına neden olacak. Buna bağlı olarak, mühendisler cemaati ile bu cemaati kapsayan toplum arasında daha güçlü etkileşimler yaşanması gerekecek ve mühendisler, daha iyi ürünler üretmeyi öğrenmek zorunda kalacaklar. Bu ürünlerin, işlevlerini sadece en iyi biçimde yerine getirmeleri yeterli olmayacak. Yanı sıra, duygusal ihtiyaçları tatmin etmeleri, kültürel değerlere uygun olmaları, kalite ve nitelik açısından arzularımızı karşılamaları ve çevre üzerinde en az olumsuz etkiye sahip olmaları da gerekecek. Şu anda elimizde bulunan ürünlerin çoğu, bu gereksinimlerin bir veya birkaçını karşılıyorlar; ama geri kalan ihtiyaçlara karşılık verme konusunda yetersiz kalıyorlar. Eski model “jaguar”ım, duygusal açıdan beni tatmin ediyor; ama sürekli bozuluyor ve uzun yola çıkamıyor. Amerikan yapımı, eski model bir kamyonetim var. İyi çalışır durumda ve uzun yola çıkabilir. Ne var ki boyası gün be gün dökülüyor. Kısacası bu kamyoneti kullanmak pek de zevkli olmuyor. Yeni stereo radyomun ses kalitesi mükemmel; ama ışık yetersiz olduğu zamanlarda kontrol panelinin üzerindeki yazıları okuyamıyorum ve kontrol düğmelerini radyomu çalıştıracak kadar iyi hatırlayabileceğimi zannetmiyorum. Özel hava taşıma şirketleri, gerçekten çok iyi ve hızlılar; ama,

uçuğa bindiğimde koltuğun rahatsız olduğunu görüyorum. Aktarmalı uçuşları, hava alanlarında araba park etme sorunlarını ve uçağın kalkışını saatlerce beklemeyi hesaba kattığımda, Los Angeles'a nerdeyse arabayla da aynı sürede gidebileceğim sonucuna ulaşıyorum. Elektrikli testeremin ve elektrikli çim kesme makinemin hiç bir kusuru yok; ama, çalışırken öylesine korkunç bir ses çıkarıyorlar ki duymamak için kulaklarımı tıkamak zorunda kalıyorum. Çalışır durumda kalmalarını sağlamak içinse, tecrübeli bir mühendis olmak gerekiyor. Telefonun gerekli bir araç olduğu açık; ama, sabahın köründe Doğu Sahili'nden sizi arayıp uyandırdıklarını bir düşünün. Ya da bölgesel müteşebbislerin, akşam yemeğinde arayarak sizi sofranızdan kaldırdığını ve hisse senedi satmaya çalıştığını veya polise bağış yapmanızı istediklerini gözünüzün önüne getirin. Biz mühendislerin, gelecekte geçmişte olduğundan daha iyi buluşlar ve tasarımlar yapması gerekiyor. Kısacası, teknolojinin bizi mutsuz kılarak zamanımızı ve paramızı tüketmesi değil, hayatlarımızı iyileştirmesi bekleniyor.

Matematik, mühendislere yeni araçlar ve anlayışlar kazandırmayı sürdürecektir. Bilgisayarlar ise, grafikleri analitik çalışmalarla birleştirmede ve bilgiye ulaşmada olduğu kadar çözümleme, simülasyon ve optimizasyon konularında da kapasitelerini geliştirmeye devam edecekler. Bilim, her zaman yeni kapılar açacak. Bu yönler de, fiziksel davranışın daha derinlemesine kavranmasını mümkün kılarak, daha gelişkin ürünlere ulaşmamızı sağlayacak. Kimya, maddelere, süreçlere ve tıp bilimine ilişkin yeni kavrayış biçimlerini geliştirmemizi olanaqlı kılacak. Fizik ise, elektronik devrimine, maddelerin gelişimine ve enerji üretimine katkıda bulunmayı sürdürecektir. Bu sırada biyoloji, bilgisayar hafızası ve tarım gibi farklı alanlarda yeni uygulamalar bulacak. Öte yandan jeoloji de, petrolden suya kadar değışen birçok farklı kaynak bulunmasındaki ve doğanın aşındırıcı gücüne karşı dayanıklı yapılar inşa edilmesindeki katkılarını sürdürecektir.

Geleceğin mühendisleri, belki hâlâ bazı hatalar yapıyor olacaklar. Ama kuram ve kavrayıştaki karmaşıklıkların, bilinmeyenlerin ve sınırlamaların üstesinden gelebilmek için yine deneylere ve çözümlemelere başvuracaklar. Buna karşın, giderek uzmanlaşan bilgisayar simülasyonu ve veri değerlendirmesine ilişkin güçlü yaklaşımlar, gerçek

ölçüye ve prototip deneylere duyulan ihtiyacı azaltacaklar. İmalat ve montaj, daha şimdiden Amerika Birleşik Devletleri'nde değişim geçiriyor ve eşi benzeri görülmemiş bir yaratıcılığa sahne oluyor. Esnek montaj, geleneksel seri üretimle yer değiştiriyor ve bilgisayar kontrolü, insan kontrolünün yerini alıyor. Maliyet azalırken güvenilirlik de artıyor. Sanayi, makineleşme ve otomasyon konusunda tarımı izliyor. Bu durum, toplum üzerinde henüz kestirilemeyen uzun dönemli etkilere sahip. Ticaret ve paraya baktığımızda ise, geçen bir kaç yıl içinde kapitalizme doğru global bir yönelme olduğunu görüyoruz. Ekonomik rekabet de buna bağlı olarak ivme kazanmış durumda. Bu durum, teknolojinin ticaretle daha sıkı bağlar kurmasını gerektiriyor. Az gelişmiş ülkeler, günümüzde teknolojik bilgiye ve eğitim görmüş mühendislerle kolaylıkla ulaşabiliyorlar. Az gelişmiş ülkelerin hayat standartlarını geliştirme çabaları ve uluslararası rekabeti kotarma kabiliyetleri, gelişmiş ülkelerin ucuz işgücünden ve yeni pazarlardan yararlanma istekleriyle birleştiğinde, yeni bir mühendislik biçimi ortaya çıkıyor: Uluslararası mühendislik. Buna karşın, Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerin çifte standartlı yaklaşımlarından ötürü oyunun doğası da karmaşıklıyor. Hükümetimiz, az gelişmiş ülkelere yardım etmek istiyor; ama bu ülkelerin ekonomik açıdan daha da güçlenmesini sadece idealist nedenlerle istemiyor. Aslında, bu ülkelerin siyasi dostlarımız olmalarını ve ihrac pazarlarımızı oluşturmalarını ümit ediyor. Ama bu ülkeler, uluslararası pazarda önümüze geçecek veya siyasi açıdan bize meydan okuyacak kadar güçlenirlerse, bu sonucun canımızı sıkacağından eminim. Önümüzdeki yıllarda, teknoloji politikası hakkında çok fazla tartışmaya tanık olacağız. Bu nazik dengenin korunması için Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti'nin nasıl davranması gerekiyor? Ve eğer gerçekten de bu tür bir dengenin bizim açımızdan çok önemli olduğu sonucuna varırsak, genel olarak ne yapılması gerekiyor? Amerika Birleşik Devletleri, bugüne kadar teknoloji-politikasıyla pek fazla ilgilenmedi. Hiç kuşkusuz, bu konuyla gelecekte daha çok ilgileneceğiz. Mühendisler de, teknoloji-politiğin formüle edilmesinde önemli katkılarda bulunacaklar.

Teknolojinin düzenlenmesi konusunda bir ulus olarak, başka ülkelerde olduğu kadar kendi ülkemizde de daha etkin olmalıyız. Dü-

zenleyici kuruluşlarımızın, teknoloji ve bilim hakkında daha iyi bilgilendirilmesi gerekiyor. Aynı zamanda bu kuruluşların kendilerinin de, toplumun bütün kesimlerinin taleplerine yanıt verecek biçimde düzenlenmesi gerekiyor. Düzenleme konusunda bir standart oluşturulması, bu standartın uygulamaya geçirilmesi ve suçluların cezalandırılması için oluşturulan mekanizmalar, ihtiyaçları karşılama açısından yeterli değiller. Özellikle de şu anki hukuk sistemimiz, oldukça hantal ve pahalı; üstelik bilim ve teknolojiyi değerlendirebilecek kadar uzmanlaşmış bir sistem değil.

Sonuçta, tüketiciler ve vatandaşlar olarak verimli olabilmemiz için gelecekte teknolojimizi daha iyi anlamamız gerekiyor. Daha önce toplumumuz, teknolojiye ayak uydurabilmek için yapması gerekenleri tam olarak yerine getirememişti. Bunu bir örnekle açıklayayım. Oğularımdan biri, geçenlerde eski bir traktör satın almıştı. Traktör kısa bir süre içinde bozuldu. Sorun, ateşleme sistemindeydi. Oğlum, traktörü tamir edemeyince büyükbabama ait eski bir el kitabını eline tutuşturdu. Bu kitap, 1920'lerin ve 1930'ların "makine incili"ydi (*Dykes Auto Manual*). Kitap, oğlumun aldığı traktörün ateşleme sistemini oldukça ayrıntılı biçimde anlatıyordu; ama ne benim için ne de oğlum için okuması kolay bir kitaptı. Büyükbabam ve arkadaşlarının (hiç birinin mesleki eğitimden geçmediğini de ekleyeyim), kendi araba parçalarını tamir etmek için bu kitabı kullandıklarını hatırlıyorum. En azından otomobiller söz konusu olduğunda, o zamanlar için ürünlerin teknik açıdan fazla bir uzmanlık gerektirmediklerini söyleyebilirim; ama araba sahiplerinin görelî bilgisi fazlasıyla yüksekti. O zamandan bu zamana, teknolojik uzmanlaşma inanılmaz ölçüde arttı; ama nedense, bu uzmanlaşmış teknolojiyi kullanan halkın teknik bilgisi azaldı. Gelgelelim bu durum, güvenli ve başarılı bir gelecek anlayışıyla bağdaşmıyor.

Teknoloji anlayışımızı genişletebilmenin yollarını düşünüyorum. Yazık ki, ders vermek bu yollardan biri olamaz; çünkü okullarda mühendislik ve teknoloji hakkında verilen derslerin sayısı oldukça az. Eğitim sistemiye, bu konuları cemaat yerine papazlara öğretmeyi tercih ediyor. Öte yandan papazlar da, konunun bütününe kavramak yerine, özel bilgi ve teknikleri yalayıp yutmakla vakit kaybediyorlar. Amerika Birleşik Devletleri'nde bilimsel ve teknik okur yazarlık konu-

sunda sık sık sözü geçen bu genel kanıya rağmen, değişimin yavaş gerçekleşeceğine inanıyorum. Bunun nedeni de, eğitim sistemindeki ilgili menfaatlerin oldukça köklü olması.

Hazır sırası gelmişken belirtelim: Eğer teknoloji hakkında daha fazla şey öğrenmek istiyorsanız, mühendislerden yararlanabilirsiniz. Yaygın düşüncelerin tersine, mühendislerin hepsi olmasa da büyük bir çoğunluğu konuşmaya bayılır. Hele laf kendi işlerinden açıldı mı, keyiflerine diyecek olmaz; ama nedense, bu konuda hiç cesaret verilmez kendilerine. Aradaki dil engelinin aşılması zorunludur elbette. Ama mühendisin konuştuğu dili bir kez öğrenecek olursanız, arada hiçbir engel kalmaz. Bu dil engelini aşmanın tek yolu ise, anlamadığınız bir terim duyunca anlamını sormaktır. Aslında mühendislerin kendileri de, bu sorunu sıkça yaşarlar; çünkü biz mühendisler, hayatımızın tümünü yeni şeyleri anlamaya çalışarak geçiririz. Mühendislerle, tipik bir günü nasıl geçirdiklerini sorun. En çok hangi başarılarından gurur duyarlar? Halkın teknolojiye yaklaşımı konusunda ne düşünürler? Çocuğunuzun mühendis olması gerektiğini mi düşünüyorlar? Eğer böyleyse ne mühendisi olmasını tavsiye ediyorlar?

Teknik açıdan uzmanlaşmak da çok kolay. Sözelimi, ne yaptıklarımı veya ne üzerinde çalıştıklarını basit bir dille açıklamalarını isteyin. Daha sonra da sorular sormaya başlayın. “Daha iyi bir fişekleme pim-çekeceği tasarlamaya çalışıyorum.” “Fişekleme pim-çekeceği nedir?” “Enerjisini patlayıcı bir fişekten sağlayan sıkıştırıcı bir alettir.” “Peki patlayıcı fişek nedir?” “Havai fişeğe benzeyen ve elektrikle ateşlenen birşeydir.” “Ya pimi nasıl çeker?” “Pim, bir silindirin içindeki küçük bir pistonla bağlanmıştır ve fişek ateşlendiğinde patlama, pistonu iter.” “Pardon, unuttum. Piston, aletin dışında mı yoksa içinde mi bulunuyordu?” “İçinde.” “Fişekleme pim-çekeceğini ne için kullanırsınız?”... İşte böyle sorular sorun.

Ya da artık teknoloji konusunda daha fazla cahil kalmak istemediğinizi söyleyin onlara. Yaptıkları işler, projeler ve bunun gibi şeyler hakkında nelerin bilinmesi gerektiği konusundaki düşüncelerini sorun, bu konuda bir açıklama yapacak olurlarsa bundan büyük bir zevk alacağınızı söyleyin. İnsanlar, kendileri ve yaptıkları şeyler hakkında konuşmaktan hoşlanırlar. Mühendislik eğitimine yeni başlamış

öğrencilere ders veriyorum. Öğrenciler, meslekleri hakkında daha fazla şey öğrenmek istiyorlar. Öğrencilere verdiğim ödev, genellikle, mühendisleri arayıp bulmaları ve bir gün boyunca etraflarında dolaşarak onları izlemeleri oluyor. Daha sonra, mühendislerin ne yaptığı konusunda bir rapor hazırlamalarını istiyorum. Başlangıçta, tanımadıkları birine gidip onu gözlemek, öğrencilere zor geliyor. Bazen de, yanına gittikleri mühendisler, ilk anda kendileri hakkında konuşmaktan çekiniyorlar; ama öğrencilerin gerçekten ilgili olduklarını görünce aradaki buzlar eriyor. Bundan sonra da, bir mühendisi konuşmaktan alıkoymak nerdeyse imkansızlaşıyor. Öğrenciler de mühendislerin sorulara doğrudan ilgili yanıtlar verdiklerini fark edince, daha fazla soru sormaktan çekinmiyorlar.

Çok sayıda dergi ve kitapta, mühendislik ürünleri tartışılıyor ve mühendislikle ilgili alanlardaki diğer çalışanların deneyim ve görüşlerine yer veriliyor. Eğlendirici ve aydınlatıcı kitapların bazılarının adlarını, okuma listesinde bulabilirsiniz. Bu kitaplar, meslekten olmayan zeki kişiler için yazılmışlar ve matematik, bilim veya mühendislik alanında uzmanlaşmayı şart koşmuyorlar. Ayrıca, bu kitapların çoğu, geniş bibliyografyalar içeriyor. Özel detaylar arayan okuyucular, bu bibliyografyalarda kaynak olarak gösterilen makalelerden ve araştırma raporlarından faydalanabilir.

Düzenlenmiş mühendislik ve teknoloji çalışmaları, oldukça yeni sayılır. Teknoloji tarihi gibi bazı alanlar, yan kuruluşlar ve yayınlar büyük bir hızla olgunlaşıyor. Yine de, mühendisliğin icat ve tasarım gibi birçok yönü, yerleşmiş akademik disiplinlerle tam anlamıyla bağdaştırılamıyor. Bu nedenle, mühendislik hakkında yine de çok az şey yazılıyor ve ilgili çalışmalara pek sık rastlanmıyor. Sonuçta, mühendisliğin çeşitli yönleri hakkındaki yazılı çalışmaların sayısı ile bu çalışmaların taşıdığı önem maalesef örtüşmüyor. Buna karşın, mühendislik dünyası gibi yayın dünyası da, bu duruma sessiz kalıyor. Yine de, teknoloji ve mühendislik hakkındaki genel anlayışlarımızın içerdiği boşlukları doldurma amacıyla yazdığım bu kitaba benzer daha pek çok kitabın gelecekte başkalarınınca yazılacağından kuşku yok.

Alfred P. Sloan Vakfı'na ve özellikle de "Yeni Liberal Sanatlar Programı" sorumlusu Samuel Goldberg'e teşekkürlerimi dile getirmek istiyorum. Vakıf, Stanford Üniversitesi'nde "Teknoloji, Bilim ve Matematik" konularında genel çalışmalardan oluşan 1 yıllık bir ders serisinin geliştirilmesini destekledi. Eğitimci olarak katıldığım bu dersler için hazırladığım notlar, bu kitabın oluşmasına büyük bir katkıda bulundu. Vakıf, bana yeterli boş zamanı sağlayarak bu kitabı yazma konusunda dönüşü olmayan bir noktaya ulaşmamı da mümkün kıldı. Ayrıca, kendilerinden öğrendiğim birçok şeyden ötürü Stanford Üniversitesi Mühendislik Okulu'nun "Değer Yargıları, Teknoloji, Bilim ve Toplum Programı"ndaki çalışma arkadaşlarıma teşekkür etmek istiyorum. Özellikle de, ders dizisini birlikte hazırlayıp verdiğimiz Sandy Fetter ve Bob Osserman ile mühendislik ufkumu genişletmemi sağlayan Barry Kartz ve Robert McGinn'e olan gönül borcumu belirtmek istiyorum.

Çeşitli bilgilere ulaşmamı sağlayarak, kitapta yer alan fotoğrafları göndererek ve beni teşvik ederek yardımlarını benden esirgemeyen, çeşitli şirketlerde ve laboratuvarlarda çalışmakta olan arkadaş-

ların olmasalardı bu kitabı asla yazamazdım. Aynı zamanda, Harvard Üniversitesi Matbaası çalışanlarına, bu kitabın hazırlanması esnasında gösterdikleri şevk, organizasyon, tasarım ve üretim için teşekkürlerimi bildirmek istiyorum. Ayrıca, bu kişilerle tanışmamı sağlayan Jonathan Dolger'e de teşekkürü borç bilirim. Kitabın basılma sürecinin en başından en sonuna kadar beni cesaretlendirmesinden ötürü Harvard Matbaası baş yayın yönetmeni Howard Boyer'e en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Beni hem heyecanlandıran hem de umutlandıran bir şevkle kitabın basılma hazırlanması işini üstlenen Susan Wallace'e özellikle teşekkür etmek istiyorum. İşini iyi yapan insanlarla çalışmasını gerçekten çok seviyorum ve Susan bu konuda listenin en üstünde yer alıyor.

Son olarak, kitabı yazma sürecinde içine girdiğim psikozlu çalışma halimi ve kitabın tashihlerinin yapılmasındaki aşırı isteklerimi, sevgisi ve destekleriyle eğlenceli bir havaya sokarak bana yardımcı olan eşim Marian'a olan gönül borcumu dile getirmek istiyorum. İlk taslağı kendisine gösterdiğimde "Kitabın dili güzel ama mühendislik hakkında birşey bilmek istemiyorum" diyerek, sesleneceğim hedef kitleyi belirlememe yardımcı olduğunu da belirteyim.

Kaynaklar

Önerilen Kitaplar

Teknolojinin Kısa Tarihi

1. J. K. Finch, Mühendisliğin Öyküsü (The Story of Engineering) (New York: Doubleday, 1960). Ünlü mühendisler ve projelerin esprili kısa öyküleriyle dolu, ilginç anekdotları ve başarıları anlatan bir kitap.
2. R. Engelbach, Dikili Taş Problemi (The Problem of Obelisks) (London: T. Fisher Unwin, 1923). Mısır'ın dikili taşlarının tasarımı, yapımı ve dikilmesini ele alan eski ama ilginç bir çalışma.
3. G. R. Driver ve J. C. Miles, Babil Yasaları (The Babylonian Laws) (New York: Oxford University Press, 1955).
4. Finch, Mühendisliğin Öyküsü
5. G. F. C. Rogers, Mühendisliğin Doğası (The Nature of Engineering) (London: Macmillan Press, Ltd, 1983). Mühendislik hakkında kısa ve kolay okunur bir kitap. Mühendisliğin felsefesi ile oldukça paralel olan bu kitap, aynı zamanda mühendislik ve bilim, tasarım, yaratıcılık ve teknolojinin denetlenmesi arasındaki ilişkiye de değiniyor.
6. J. G. Landels, Antik Dünyada Mühendislik (Engineering in the Ancient World) (Berkeley: University of California Press, 1978). Eski dönemlerde, ulaşım, mancınık, su sistemleri ve enerji kaynakları gibi konular hakkında şaşırtıcı bilgiler içeren bir kitap.
7. C. Singer, E. Holmyard, A. Hill, T. Williams, Teknolojinin Tarihi, 2. Cilt (A History of Technology, Vol. 2) (New York: Oxford University Press, 1957). Çok eski zamanlardan on dokuzuncu yüzyılın sonuna değin teknoloji hakkındaki bilgileri içeren beş ciltlik muazzam eserin ikinci cildi. Eser, firavunların mumyalanmasından ilk denizaltıların yapımına kadar herşeyi ayrıntısıyla ele alıyor.
8. L. White, Ortaçağ Teknolojisi ve Toplumsal Değişme (Medieval Technology and Social Change) (New York: Oxford University Press, 1964). Çeşitli toplumsal ve teknolojik "devrimleri" içeren ve oldukça kolay okunan önemli bir kitap.
9. J. Gimpal, Ortaçağ Makinesi (The Medieval Machine) (New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976). Kitap, Ortaçağ döneminde şaşırtıcı bir üst düzey teknolojik uzmanlaşma bulunduğu görüşünü destekleyen bir argümanı inceliyor.

10. R. Mark, Işık, Rüzgâr ve Yapı (Light, Wind and Structure) (Cambridge: MIT Press, 1990). Estetik değerler ve Gotik katedrallerin yapısı arasındaki etkileşime ilişkin oldukça aydınlatıcı bir tartışma.
11. R. Marten, Onaltıncı Yüzyıl İngiltere'sinde Bilim, Teknoloji ve Toplum (Science, Technology and Society in Sixteen Century England) (London: Howard Fertig, Inc., 1870).
12. S. Pollard, Modern İşletmeciliğin Yaratılışı (The Genesis of Modern Management) (Cambridge: Harvard University Press, 1963).
13. D. Pletta, Mühendislik Mesleği (The Engineering Profession) (Lanham, MD: University Press of America, 1984). Mühendislerle ilişkin sosyolojik bir çalışma.

İlgili Diğer Yapıtlar

- A. Pacey, Maharetin Şaşırtıcılığı (Maze of Ingenuity) (Cambridge: MIT Press, 1985). Ortaçağ döneminde başlayarak ondokuzuncu yüzyıla kadar süren birçok önemli teknolojik gelişmeyi ele alan çok rahat okunabilecek kitaplardan biri.
- W. H. G. Armytage, Mühendisliğin Toplumsal Tarihi (A Social History of Engineering) (London: Faber and Faber, 1961). Doğu'dan alınan teknolojik "miraslarla" başlayan bu kitap, teknolojinin İngiltere'deki gelişmesine kadar geliyor.
- E. T. Layton, Mühendislerin İsyanı (The Revolt of Engineers) (Cleveland: Case Western Reserve Press, 1971). Amerika Birleşik Devletlerindeki eski mühendislik mesleklerinin, mühendislerin 1920'lerdeki toplumsal refaha yönelik çabaları ve sonuçta kriz dönemindeki çöküşlerinin ilginç öyküsü.
- C. W. Pursell, Jr., der., Amerika'daki Teknoloji (Technology in America) (Cambridge: MIT Press, 1981). Önemli bireyler ve düşünceler hakkında kimi makaleler.

Hesap Makinesinin Ötesinde

1. R. Perucci ve J. Gerstl, Cemiyetsiz Meslek: Amerikan Cemiyetindeki Mühendisler (Profession Without Community: Engineers in American Society) (New York: Random House, 1969). Mühendislik mesleği ve bu meslekte yer alan insanlara ilişkin bir çalışma.
2. S. J. Kline, "Buluş doğrusal bir süreç değildir" ("Innovation is not a linear process"), Research Management, cilt 28, no. 4 (July-August 1985); 36.
3. "İngiltere'nin EMI şirketi, Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşayabilir mi?" ("Can Britain's EMI stay ahead in the U.S.?") Business Week, April 19, 1976, sf. 122. "Fizyoloji ya da tıp alanındaki 1979 Nobel Ödülü", Science, cilt 206, Kasım 30, 1979, sf. 1069; "General Electric, CT tarayıcılarda rakip oluyor," Business Week, Mayıs 19, 1980, sf. 40. "EMI ve CT tarayıcı," Harvard Business School Case 383-194, bölüm A ve B (1983).

İlgili Diğer Yapıtlar

- W. Vincetti, Mühendisler Ne Bilirler ve Bunu Nasıl Bilirler (What Engineers Know and How They Know It) (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1990). Mühendislik başarılarına ilişkin çeşitli örneklerin, mühendislerin problem çözme yaklaşımlarını açıklamak için kullanıldığı bir çalışma.
- R. McGinn, Bilim, Teknoloji ve Toplum (Science, Technology and Society) (Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990). STS olarak bilinen çalışma alanının genel bir değerlendirmesi L. Hickman, der., Bir İnsan Olayı Olarak Teknoloji (Technology as a Human Affair) (New York: McGraw-Hill, 1990). Teknoloji ve toplum arasındaki ilişki hakkında mükemmel bir araştırma.
- Florman, Mühendisliğin Varoluşsal Hazları (The Existential Pleasures of Engineering) (New York: St. Martins Press, 1976). Teknolojideki zevki vurgulayan ve teknoloji karşıtı hareketleri çürüten, yarı klasik bir kitap.
- J. D. Kemper, Mühendis ve Mesleği (The Engineer and His Profession) (New York: Holt, Rinehart and Winston, 1975). Mühendisliğe yeni başlayan öğrencilere yönelik giriş derslerinde kullanılmak üzere seçilebilecek çeşitli kitaplardan biri.

H. Queisser, Mikroçipin Fethi (The Conquest of Microchip) (Cambridge: Harvard University Press, 1988). Önemli bir teknolojik gelişmenin bilimsel ve iş dünyasına ait boyutu hakkında ayrıntılı bir çalışma.

Sorunların Kökeni

1. R. Meehan, Atom ve Fay (The Atom and the Fault) (Cambridge: MIT Press, 1984). Bu ve bir sonraki kitap, danışmanlık yapan bir mühendis olarak yazarın kendi kariyerinde tasvir edilen öykülerden oluşuyor ve mühendislere getirilen kimi kısıtlamalar ve motivasyonları mükemmel biçimde açıklıyor.
2. R. Meehan, Açılan Davalar ve Mühendislik Hayatının Diğer Öyküleri (Getting Sued and Other Tales of the Engineering Life) (Cambridge: MIT Press, 1984). Bknz. 1. not
3. J. Adams, Kavramsal Galeyanaya Getirme (Conceptual Blockbusting) 3. baskı der. (Reading, MA: Addison Wesley, 1986). Yaratıcılık üzerine bir kitap. Bazı zamanlarda düşünsel miyopluktan ıstırap çeken mühendislerle birlikte çalışırken edindiğim deneyimlerimden ötürü bu kitaptan bahsettim.
4. L. White, Ortaçağ Teknolojisi ve Toplumsal Değişme (Medieval Technology and Social Change) (New York: Oxford University Press, 1962).
5. N. Perrin, Silahları Bırakırken (Giving Up the Gun) (Boston: David R. Godine, 1979). Japonya'nın ateşli silah kullanmayı çok uzun yıllar boyunca reddetmesi hakkında kısa, hoş bir kitap.
6. N. Rosenberg, Kara Kutunun İçinde: Teknoloji ve Ekonomi (Inside the Black Box: Technology and Economics) (New York: Cambridge University Press, 1986). Aynı zamanda tarihte de olan bir iktisatçının teknoloji hakkında yaptığı mükemmel bir çalışma.
7. J. Burke, Bağlantılar (Connections) (Boston: Little, Brown and Co., 1978). Çok başarılı ve popüler televizyon dizisinin aynı isimli kitabı.
8. A. Pacey, Teknoloji Kültürü (The Culture of Technology) (Cambridge: MIT Press, 1984). Teknoloji üzerindeki kültürel güçler ve bu güçler üzerinde teknolojiye ilişkin etkileyici bir tartışma.

Tasarım ve İcat

1. C. Singer, E. Holmyard, A. Hall, T. Williams, Teknolojinin Tarihi, 3. Cilt (A History of Technology, Vol. 3), (New York: Oxford University Press, 1958).

İlgili Diğer Yapılar

- T. Kidder, Yeni Bir Makinenin Ruhu (The Soul of a New Machine) (New York: Avon Books, 1981). Data General Corporation tarafından yeni bir bilgisayarın geliştirilmesi hikayesini anlatan çok güzel bir kitap -bence kesinlikle okunması gerekiyor.
- E. Morrison, Yöntemini Bilmeden Hiçbir Yere Gidilemez (From Know-How to Nowhere) (New York: Basic Books, 1974). Teknik olmayan faktörlere de değinerek, mühendislik teknolojisindeki çeşitli gelişmeleri ele alan etkili bir çalışma.

Matematik

1. J. Reuhl ve R. Schutt, "Kaliforniya, Fresno'da güneş enerjili bir fotovoltaik depoya sahip ve elektrikle çalışan melez bir arabanın enerji performansının simülasyonu" ("Simulation of the energy performance of a solar photovoltaic residence and hybrid electric automobile in Fresno, California"), Sandia National Laboratory Report SAND81-7044 (Albuquerque, NM: 1982).
2. P. Davis ve R. Hersch, Matematiksel Deneyim (The Mathematical Experience) (Boston: Houghton Mifflin Co., 1981). Matematiğin doğası ile ilgilenenler için oldukça önemli bir kitap. Çok çarpıcı bilgiler ve örneklerle dolu, ayrıca çok güzel kaleme alınmış.

3. S. Ulam, Bir Matematikçinin Serüvenleri (Adventures of a Mathematician) (New York: Scribners & Sons, 1976).
4. J. Dodds ve J. Moore, Yelkenli Ahşap Gemilerin Yapımı (Building the Wooden Sailing Ships) (New York: Facts on File Publications, 1984). Bir matematik kitabı değil bu, daha çok yelkenli ahşap gemilerin nasıl yapıldığının büyüleyici bir değerlendirmesi.

İlgili Diğer Yapılar

- Gleick, Kaos: Yeni Bir Bilim Yapmak (Chaos: Making a New Science) (New York: Penguin Books, 1987). Yeni bir matematik alanı hakkında bir best-seller.
- R. Rucker, Sonsuzluk ve Beyin (Infinity and the Mind) (Cambridge: Birkhauser, 1982).
- J. R. Newman, der., Matematiğin Dünyası, 4 cilt (The World of Mathematics, 4 vols.) (New York: Tempus Books, 1987). Dört ciltlik bu seri (ve aşağıdaki), çağlar boyunca matematiğe ilişkin bilgilerle dolu.
- M. Kline, Eski zamanlardan Modern Zamanlara Matematiksel Düşünce 3 cilt (Mathematical Thought from Ancient to Modern Times, 3 vols.) (New York: Oxford University Press, 1990).
- H. O. Peitgen ve P. H. Richeter, Fractals'ın Güzelliği (Beauty of Fractals) (Berlin: Springer-Verlag, 1988). İlginç uygulamaların yanı sıra büyüleyici resimler içeren bir kitap.
- D. J. Albers ve G. L. Alexanderson, Matematikle İlgili İnsanlar (Mathematical People) (New York: Contemporary Books, 1990). Matematikçiler ve matematiğe kapılmış diğer kişilerle, başarılı bir şekilde yapılmış röportajlar.

Bilim ve Araştırma

1. S. Richards, Bilim Felsefesi ve Sosyolojisi (Philosophy and Sociology of Science) (London: Basil Blackwell, 1987). Bilimin doğası hakkında, çok güzel yazılmış genel bir kitap.
2. T. Kuhn, Bilimsel Devrimlerin Yapısı (The Structure of Scientific Revolutions) (Chicago: University of Chicago Press, 1962). İnsanların bilim hakkındaki düşüncelerini değiştirmiş olan modern bir klasik.
3. D. de Solla Price, Büyük Bilim, Küçük Bilim (Big Science, Little Science) (New York: Columbia University Press, 1963). Bilim alanındaki değişiklikler üzerine bir çalışma.
4. Richards, Bilim Felsefesi ve Sosyolojisi (Philosophy and Sociology of Science).
5. Bilimsel ve Teknik Faaliyetlerin Ölçümü (The Measurement of Scientific and Technical Activities) (Washington, D.C.: Organization for Economic Cooperation and Development, 1970).
6. G. Moore, "VSL: Gelecek ne getirir?" ("VSL: What does the future hold?") Electronics Australia 42 (1980):14.
7. R. N. Noyce, "Mikroelektronik" ("Microelectronics," içinde, The Microelectronics Revolution, der. T. Forester (Cambridge: MIT Press, 1981).
8. 1987 Elektronik Pazarı Veri Kitabı (1987 Electronic Market Data Book) (Washington, D.C.: Electronic Industries Association, 1987).
9. A. L. Robinson, "Elektronik ve istihdam: yer değiştirme etkisi" ("Electronics and employment: displacement effect," içinde, Mikroelektronik Devrimi (The Microelectronic Revolution), der. T. Forester (Cambridge: MIT Press, 1981), sf. 318.
10. J. Watson, İkili Helezon (The Double Helix), der. G. Stent (New York: Norton, 1980). Genç bilim adamlarının hayatları ve motivasyonları hakkında açıklayıcı bir anlayış kazandıran eğlenceli ve bazen de karşı çıkıcı bir öykü.

İlgili Diğer Yapılar

- R. Feynman, Kesinlikle dalga geçiyorsunuz Bay Feynman (Surely You're Joking Mr. Feynman) (New York: Norton, 1985). Çok ünlü bir fizikçinin eğlenceli otobiyografisi.
- Weinberg, İlk Üç dakika (The First Three Minutes) (New York: Basic Books, 1977). Büyük patlamadan hemen sonraki esrarlı evren.

R. Rhodes, Atom Bombasını Yaparken (The Making of the Atomic Bomb) (New York: Simon and Schuster, 1986). İnsanların ve projenin öyküsünü anlatan harika bir çalışma.
R. March, Şairler için Fizik (Pyhsics for Poets) (New York: Contemporary Books, 1983). Alandan olmayan üniversite öğrencilerine yönelik fizik dersleri için standart bir ders kitabı.
C. Djerassi, Cantor'un İkilemi (Cantor's Dilemma) (New York: Penguin Books, 1989). Araştırma yapan bir kimyacı ile etik bir problem hakkında yazılmış bir roman.
J. Goldberg, Bilimsel Bir Keşfin Anatomisi (Anatomy of a Scientific Discovery) (New York: Bantam, 1989): Bilimsel sürece ilişkin bir anlayış.
Jeremy Bernstein (fizik), Freeman Dyson (fizik), Stephan Jay Gould (biyoloji), Alan Lightman (kozmojoloji) ve Paul Ehrlich (popülasyon biyoloji), oldukça kolay okunabilen kitaplar yazmış olan beş yazardır. Bu yazarların bazı kitapları gözden geçirilebilir.

Geliştirme, Deneme ve Yanılma

1. T. Kidder, Yeni Bir Makinenin Ruhu (The Soul of a New Machine) (New York: Avon Books, 1981).
2. "Mekiğe ilişkin bulgular" ("The shuttle findings"), New York Times gazetesi, 10 Haziran 1986, sf. C11. Ayrıca, Uzay Mekiği Kazası Başkanlık Komisyonu Son Raporu (William Rogers başkanlığında), 6 Haziran, 1986.
3. H. Petrosky, Mühendis olarak Çalışmak İnsana Özgüdür (To Engineer Is Human) (New York: St. Martins Press, 1985). Büyük hataları işleyen mükemmel bir çalışma.
4. Bakınız, 17 Aralık 1983 tarihli New York Times gazetesi, 1. Bölüm, sf. 41 ve aynı kaynağın 8 Ocak 1987 tarihli nüshası, 2. bölüm, sf. 12.

İlgili Diğer Yapılar

Three Miles Island Özel Araştırma Grubu'nun son raporu (Mitchell Rogovin başkanlığında). Nükleer Düzenleme Komisyonu (NUREG CR-1250). Bu rapor ve Challenger raporu, çok iyi hazırlanmıştır ve oldukça iyi bilinen iki başarısızlığı ilişkin çok ayrıntılı bir anlayış sunmaktadır.

C. Perrow, Normal Kazalar (Normal Accidents) (New York: Basic Books, 1984). Teknolojik hataların bir sosyal bilimci tarafından incelenmesi.

D. Kahneman, P. Slovic ve A. Tversky, Belirsizliğe bağlı Karar (Judgement under Uncertainty) (Cambridge: Cambridge University Press, 1982). Karmaşık durumlarda insanların tepki verme biçimine teknik bir bakış. Hatanın daha iyi anlaşılması açısından çok faydalı olacağına inanıyorum.

İmalat ve Montaj

1. S. Miell, İngiliz Kimya Sanayisinin Tarihi, 1634-1928 (History of the British Chemical Industry, 1634-1928) (London: Benn, 1931).
2. "Allen-Bradley'in sade görüşü", New York Times, 6 Ekim 1986. S. Goldstein ve J. Klein, Harvard Business School case 9-687- 073, 1987.

İlgili Diğer Yapılar

J. P. Womack, D. T. Jones ve D. Roos, Dünyayı Değiştiren Makine (The Machine that Changed the World) (New York: Rawson Associates, 1990). Japon ve Amerika Birleşik Devletleri sanayilerinin genel olarak otomobil imalatı ve montajı hakkında güncel bir yapıt.

E. M. Goldratt ve J. Cox, Amaç (The Goal) (Croton on Hudson, NYB North River Press, 1986). Üretim hakkındaki temel gerçeklerin roman tarzında bir sunumu.

Para ve İş

1. Öğreti amacıyla A. Bavelas ve G. Strauss tarafından oldukça ilginç biçimde yazılmış olan Bob Knowlton'un öyküsü, Round Table Film Productions tarafından hazırlanmış bir film olarak bulunabilir.
2. Myers Briggs Tip Envanteri (Myers Briggs Type Inventory) Consulting Psychologist's Matbaasından bulunabilir. D. Kiersy ve M. Bates'in yazdıkları Lütfen Beni Anla (Please Understand Me) (Buffalo:Prometheus, 1978) adlı kitapta özetlenmiştir.
3. J. Friar ve M. Horwitch, "Teknolojik stratejinin ortaya çıkışı" ("The emergence of technology strategy"), Technology in Society, 7 (1985): 143-178.

İlgili Diğer Yapılar

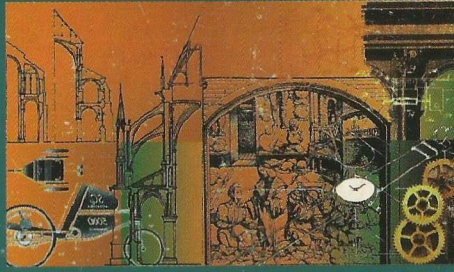
- N. Rosenberg ve L. E. Birdzell, Jr., Batı Nasıl Zenginleşti (How the West Grew Rich) (New York: Basic Books, 1986). Ortaçağ'dan başlayarak Batı Dünyasında ekonomi ve teknolojinin etkilişimini anlatan bir çalışma.
- P. Freiburger & M. Swaine, Vadideki Ateş (Fire in the Valley) (New York: McGraw Hill, 1984). Silikon Vadisi'nin büyüüşünü ve başarısını ele alan çeşitli kitaplardan biri.
- D. P. Levin, Uzlaştırılmaz Farklılıklar (Irreconcilable Differences) (New York: Penguin Books, 1990). H.Ross Perot ve General Motors arasındaki anlaşmazlığı anlatan bir yapıt.

Yasal Düzenlemeler

1. J. G. Burke, "Patlayan kazanlar ve federal güç" ("Brusting boilers and federal power"), Technology and Culture, cilt 7, no. 1 (Winter 1966): 18.
2. C. Starr, Sosyo-teknik sistemlerde fayda- maliyet çalışmaları ("Benefit-cost studies in socio-technical systems"). Perspectives on Benefit-Risk Decision Making'den alınmıştır. (Washington, DC: The National Academy of Engineering, 1972).
3. R. M. Anderson, R. Perrucci, D. E. Schendal ve L. E. Trachtman, Bölünmüş sadakatler (Divided Loyalties) (West Lafayette, IN: Purdue Press, 1980). BART projesinde dönen dolapları açıklayan bir öykü.
4. "Nükleer güç konusunda dönen dolapları açıklama: GE'den ayrılan üç kişi" ("Blowing the whistle on nuclear power:threeleave GE"). New Engineer, Mayıs 1976, sf. 34.
5. Meehan, Atom ve Fay (Atom and the Fault).
6. "İlk yedi program yılına genel bir bakış: Nisan 1, 1980-Mart 1987" ("An overview of the first seven program years: Apr. 1, 1980 -March 1987"), RAND Kuruluşu Sivil Adalet Enstitüsü.

İlgili Diğer Yapılar

- M. Martin ve R. Schinzinger, Mühendisliğin Etiği (Ethics in Engineering) (New York: McGraw Hill, 1983). Konuyla ilgili kapsamlı iyi bir çalışma.



Yapımı yirmi yıl süren Büyük Piramit'in mühendisleri hangi şartlar altında çalışıyorlardı? Rakamlar nerde mühendislerin yardımına koşar? Neden sokaklarda güneş enerjisiyle çalışan arabalara rastlamıyoruz? Uzay mekiği Challenger'ın fırlatıldığı gün öncesinde mühendisler hangi konuda şirket yöneticilerini ikna edememişlerdi? Pazar koşulları teknolojinin yönelimlerini belirler mi? İyi mühendis, iyi yönetici midir? James L. Adams mühendisliğin doğasını çözümlerken, yaşadığımız çağın temel motifleri hakkında da önemli ipuçları veriyor.

Eder: 500.000 TL (KDV Dahil)

ISBN 975-403-019-7

