

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>

PETER ATKINS

TÜRKÇESİ: FERHAT SARI

KİMYA

K I S A B İ R G İ R İ Ş



GINKO BİLİM

Ünlü İngiliz kimyacı Peter Atkins *Evreni Yöneten Dört Yasa* ve *Galileo'nun Parmağı* gibi eserlerinden sonra Türkiyeli okuyucuların karşısına elinizdeki popüler kimya kitabıyla birlikte bir kez daha çıkıyor. Atkins bu kitapta kimyanın ne olduğuna dair kısa ama kapsamlı bir özet sunuyor. Kimyanın temel kavramlarını, ilkelerini, geleneksel ve yeni nesil uygulamalarını teknik olmayan ve herkesin anlayabileceği bir dilde anlatan Atkins, çoğumuzun kimya ile ilgili okul günlerinden kalma kötü anılarını silmeyi hedefliyor. Bu konuda oldukça başarılı bir iş çıkartan Atkins okuyucuları kimyanın büyüleyici dünyasına farklı bir gözle bakmaya teşvik ediyor. Atkins kimyanın hayatımızdaki önemine dair en şüphecilerin bile reddemeyeceği örnekler sunarken, aynı zamanda onun çevre kirliliği, kitle imha silahları ve patlayıcıların geliştirilmesi gibi konulardaki kötü şöhretini de göz ardı etmiyor. Ciddi ve samimi bir yüzleşmeye girişen Atkins, kimyanın insanlığın iyiliği için kullanıldığında başardıklarına ve başarabileceklerine dikkat çekiyor. Soluksuz okuyacağımızı düşündüğümüz bu kitap kimyayı anlamak isteyen herkes için ideal bir giriş özelliği taşıyor.



ISBN-978-605-67322-5-6



15t

PETER WILLIAM ATKINS

İngiliz kimyacı ve akademisyen Peter William Atkins 10 Ağustos 1940 tarihinde İngiltere’de doğdu. Lisans eğitimini Leicester Üniversitesi’nde tamamlayan Atkins 1964 yılında aynı üniversiteden doktorasını aldı. Misafir araştırmacı olarak bir yıl boyunca ABD’de bulunduktan sonra İngiltere’ye geri dönen Atkins, 1965 yılında fizikokimya öğretim üyesi olarak Oxford Üniversitesi’ne bağlı Lincoln College’e girdi ve 2007 yılında emekli oluncaya kadar burada görev yaptı. Kuantum mekaniğinin kimyasal problemlere uygulanması ve manyetik rezonansın teorik yönleri üzerine uzmanlaşmış olan Atkins, IUPAC Kimya Eğitimi Komitesi’nin kurucu başkanlığında bulunmuş ve gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere kimya öğretiminin dünya çapında geliştirilmesi noktasında sorumluluklar üstlenmiştir. Atkins 70’e yakın kitap yazmış, bu kitaplar dünya çapında pek çok dile çevrilmiştir. Özellikle fizikokimya ve genel kimya alanlarında kült haline gelmiş ders kitaplarının yazarı olan Atkins aynı zamanda pek çok popüler bilim kitabına da imza atmıştır. Atkins’in Türkçeye kazandırılan eserleri şunlardır: *Fizikokimya*, *Genel Kimya: İlkeler ve İçyüzünü Kavrama*, *Temel Kimya 1-2: Moleküller, Maddeler ve Değişimler*, *Evreni Yöneten Dört Yasa*, *Galileo’nun Parmağı*.

FERHAT SARI

1982 Bandırma doğumlu. 2007 yılında Trakya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü’nden mezun oldu. 2009-2014 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi’nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2011 yılında İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsünde “Aliskirenin Tabletlerde Tayini İçin Yeni Bir Spektrofluorimetrik Yöntem” başlıklı tezi ile yüksek lisansını bitirdi. 2014-2016 yılları arasında Hayatın Sesi televizyonunda Dış Haberler Editörü olarak çalıştı. Kor Kitap’tan çıkan Sean Sayers’in *Marx ve Yabancılaşma* kitabını Türkçeye kazandırdı.

GİNKO BİLİM - 6

BİLİM DANIŞMA KURULU
KEREM CANKOÇAK • GÜNSELİ BAYRAM AKÇAPINAR • FERHAT SARI

KİMYA: KISA BİR GİRİŞ PETER WILLIAM ATKINS

"Kimya: Kusa Bir Giriş kitabı orijinal olarak 2015 yılında İngilizce yayımlanmıştır. Bu çeviri Oxford University Press ile yapılan anlaşma doğrultusunda basıma hazırlanmıştır. Ginko Kitap orijinal çalışmadan gerçekleştirilen çeviriden tek taraflı yükümlüdür. Oxford University Press'in olası herhangi bir çeviri hatası veya eksikliğinde sorumluluğu yoktur."

© Peter Atkins Limited, 2013, 2015

TÜRKÇESİ • FERHAT SARI

KAPAK ve İÇ TASARIM • DEVRİM KOÇLAN

ISBN 978-605-67322-5-6
Birinci Basım Ekim 2018

© Ginko Kitap Ltd. Şti. 2018

Baskı: Ezgi Matbaacılık Tekstil Pors. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.
Sanayi Cd. Altay Sk. No. 14 Yenibosna / İstanbul • Sertifika No. 12142
T: 0212 452 23 02 • www.ezgimatbaa.net

Ginko: Osmanağa Mah. Ali Suavi Sk. No: 10 D. 3 Kadıköy / İstanbul • Sertifika No: 35054
T: 0216 449 20 99 • F: 0216 449 21 00
www.ginkokitap.com • posta@ginkokitap.com



PETER WILLIAM ATKINS

KİMYA

KISA BİR GİRİŞ

TÜRKÇESİ: FERHAT SARI



GINKO BİLİM

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	07
1. BÖLÜM / Kimyanın Kökenleri, Kapsamı ve Organizasyonu	11
2. BÖLÜM / Kimyanın Prensipleri: Atomlar ve Moleküller	22
3. BÖLÜM / Kimyanın Prensipleri: Enerji ve Entropi	36
4. BÖLÜM / Kimyanın Reaksiyonları	47
5. BÖLÜM / Kimyanın Teknikleri	61
6. BÖLÜM / Kimyanın Başarıları	73
7. BÖLÜM / Kimyanın Geleceği	91
Terimler Sözlüğü	101
Okuma Önerileri	105
Dizin	107

Önsöz

Gözlerinizi açmayı ve sizlere büyüleyici, entelektüel ve ekonomik açıdan önemli bir dünyayı; kimya dünyasını göstermeyi umuyorum. Kabul etmeliyim ki, kimya kötü bir şöhrete sahip. İnsanlar kimyayı okul günlerinden; büyük ölçüde anlaşılmaz, olgusal açıdan zengin ama bilgi bakımından fakir, kötü kokulu ve de gerçek dünyanın olay ve eğlencelerinden son derece kopuk köhnemiş kavramlara, tılsımlara, reçetelere ve kurallara sahip bir ders olarak hatırlıyorlar. Vahşi doğaya karışıp kıpkırmızı gelinciklere ve dans eden kelebeklere ev sahipliği yapmış yemyeşil yoncalarla kaplı pastoral çayırlara felaket getiren, bir zamanlar yabani kekiğin yetiştiği bayırları yaşanmaz bataklıklara dönüştüren, berrak akarsuların geçtiği yerleri toksik çamura ve zehirli balçığa çeviren, rüzgâr keyfinin yerine keskin kokulu hava temizleyicilerini geçiren ve genel olarak ortamı mahveden tehlikeli kimyasalların çevresel etkisinin farkındalığıyla birlikte, bu kötü şöhret sonraki yıllarda çoğunlukla daha da kötüleşti.

Tüm bunları değiştirmek istiyorum. Sizleri modern önyargısız gözlerle, bu anı ve tutumların ortadan kalkıp anlayış ve takdirle yer değiştirdiği bir şekilde, kimyaya yeniden bakmaya teşvik etmek istiyorum. Dünyanın temel kavramlarını anlayabilmek için sizlere onu bir kimyacının gözünden göstermek ve kimyacıların sadece maddi gönencimize değil aynı zamanda insanlık kültürüne nasıl katkıda bulunduklarını görmeyi istiyorum. Kimyacıların nasıl düşündüklerini ve maddeyle ilgili ortaya çıkardıkları şeylerin (kayalardan insanlara kadar her türlü madde biçiminin) dünyayı algılayışımıza nasıl keyif kattığını açıklamak istiyorum. Kimyacıların bizleri giydirmek, beslemek veya rahatlatmak için topraktan veya gökyüzünden maddenin bir biçimini alıp nasıl başka bir biçime dönüştürdüklerini sizlere göstermek istiyorum.

Kimyanın modern dünyanın altyapısını sağladığı düşüncesini sizlerle paylaşmak istiyorum. Gündelik hayatın parçası olup da kimya tarafından tedarik edilmeyen veya onun ürettiği malzemelere dayanmayan bir madde neredeyse yoktur. Kimyayı ve onun işlevsel kolu olan kimya endüstrisini ortadan kaldırın; metalleri ve diğer inşaat malzemelerini, hesaplamanın ve haberleşmenin yarıiletkenlerini, ısıtma yakıtlarını, enerji üretimi ve iletimini, giysilik ve döşemelik kumaşları ve ısıtılı, renkli dünyamızın yapay pigmentlerini ortadan kaldırmış olursunuz. Kimyanın tarıma olan katkılarını ortadan kaldırın; insanların ölmesine izin vermiş olursunuz. Çünkü kimya endüstrisi azalan tarım topraklarının artan nüfusu desteklemesini mümkün kılan gübreleri ve böcek ilaçlarını sağlamaktadır. Kimyanın farmasötik kanadını ortadan kaldırın; anesteziklerin ve ilaçların yok edilmesi sonucu ağrıya izin vermiş ve insanları iyileşme ihtimalinden yoksun bırakmış olursunuz. Hiçbir kimya ürününün (saf su dahil) olmadığı bir dünya düşünün: Bronz Çağı'nın öncesine, Taş Devri'ne geri dönmüş olursunuz. Hiçbir metal yok, odun hariç hiçbir yakıt yok, hayvan derisi hariç hiçbir giysi yok, otlar hariç hiçbir ilaç yok, parmaklarınız hariç hiçbir hesaplama yöntemi yok ve ilave-ten çok az yiyecek var.

Teknolojideki ilerlemeler yeni ve gelişmiş niteliklere sahip malzemelerin kullanılmasını talep etmektedir. İster daha iyi elektiriksel, manyetik, optik veya mekanik özellikler gösterebilir isterse de sadece daha fazla saf olsun. Hastanelerin fiziki altyapısına ve onların karmaşık, pahalı ekipmana ihtiyacı azaltılabilecek olan insan sağlığının korunması hususundaki ilerlemeler, daha iyi ve daha gelişmiş ilaçların keşfine ve üretilmesine bağlıdır. Enerji üretimi, kullanımı ve korunumu konusunda, onun maddi altyapısını sağlayan kimya olmadan hiçbir ilerleme olmayacaktır.

Bununla birlikte ham doğa ile kimyanın hayatımızı geliştirmek ve genişletmek amacıyla onu dönüştürdüğü şey arasındaki olağanüstü farkın bir bedeli olduğunu, bizi endişelendiren ve kimyanın çevresel etkisi konusundaki kaygımızın temelindeki şeyin de bu bedel olduğunu söylemeye gerek yoktur. En kaba şekilde belirtecek olursak, kimya ürünleri öldürme ve sakatlama kabiliyetimizi artırır. Çünkü silahlar; yeni patlayıcılar ve diğer ajanlar mükemmelleştirildiği zaman gelişir. Çoğunlukla daha

kalıcı olan ve daha sesli dile getirilen endişe, üretilen şeyin ve üretim süreçlerinin yadsınamaz çevresel etkisidir. Kimya toplumlara; yönetsel bir tercih olarak daha etkili bir şekilde savaş yürütme, ticari baskılar nedeniyle daha agresif bir şekilde yapay malzemeler üretme ve kişisel tercihe bağlı olarak daha savurgan bir şekilde tüketme ve böylece eşsiz ve yeri doldurulamaz ekosistemimize zarar verme kabiliyetini verir.

Bu sayfalarda yukarıda bahsi geçen endişeyle yüzleşeceğim. Çünkü bu endişe kimyasal üretimdeki ilerlemenin ve aynı zamanda çevrede sadece üretim ürünlerinin değil imalat atıklarının da bulunmasının dolaysız bir sonucudur. Yine de, madalyonun sadece siyah yüzünü değil diğer yüzünü de akılda tutmak önemlidir. Kimya olmadan hayat çirkin, yabani ve kısa olurdu, kimyayla ise rahat ve eğlenceli. Kimya sayesinde beslenme daha iyi, ulaşım daha etkili, kıyafetler daha cazip, hayatlar daha uzun olabilir. Kimyanın karanlık ve olumsuz yanını göz ardı etmeden, sizleri onun aydınlatıcı ve olumlu yanını da takdir etmeye teşvik edeceğim.

Bütün bu katkıların başka bir boyutu daha var: idrak ediş. Kimya, şeylerin nasıl olduklarını göstererek maddenin özüne ilişkin içgörü sunar. Bir kimyacı bir gülü inceleyip onun neden kırmızı olduğunu ve bir yaprağı inceleyip onun neden yeşil olduğunu anlayabilir. Bir kimyacı camı inceleyip onun neden kırılğan olduğunu ve bir kumaşı inceleyip onun neden esnek olduğunu anlayabilir. Doğanın güzellikleri hiç kuşkusuz bu içsel bilgi olmadan da deneyimlenebilir, tıpkı müziğin keyfinin analiz olmadan çıkarılması gibi. Ancak tüm biçimleriyle maddenin özelliklerine ilişkin kimyanın sunduğu bu içgörü, eğer durum uygunsa tatbik edilebilir ve böylece daha büyük bir keyif elde edilebilir. Bu içgörünün bazılarını sizlerle paylaşmaya ve kimyanın çok azının bile günlük keyfinize katkıda bulunacağını göstermeye çalışacağım.

Sizleri çıkaracağım yolculuk genel olarak bu olacak. Kimyayla ilk karşılaşmanızın yarım yamalak hatırlanan, belki de hoş olmayan anılarından sizleri uzaklaşturmaya çalışacağım. Bu bölümleri okuduğunuzda bir kimya diplomanız olmayacak. Çünkü kimya kapsamlı olduğu kadar derin, hem nicel hem de nitel, yüzeysel olmasının yanı sıra inceliklidir. Bununla birlikte, umuyorum ki;

onun yapısını, temel kavramlarını ve kültüre, eğlenceye, ekonomiye ve dünyaya olan katkılarını takdir edeceksiniz.

Son olarak, bu kitaba ilişkin sunduğu bir dizi faydalı görüş nedeniyle Imperial College'dan Profesör David Phillips'e teşekkürlerimi bildirmek istiyorum.

Peter Atkins, Oxford, 2014

1. BÖLÜM

Kimyanın Kökenleri, Kapsamı ve Organizasyonu

Hırs... Hırs, bugün herkesi etkileyen olağanüstü bir yolculuğa başlamak için insanlığa ilham verdi. Hırsın akılda tuttuğum özel çeşitleri, ölümsüzlüğe ve sınırsız zenginliklere ulaşma arayışıydı. Her ikisi için de varsayılan yol, bedensel rahatsızlıkların üstesinden gelip ölümsüzlüğü elde etmek amacıyla maddenin “yaşam iksiri” sunacak şekilde yönlendirilmesi ve ister renk –idrar ve kum gibi– isterse de ağırlık –kurşun gibi– bakımından az çok altını andıran her şeyin altının kendisine dönüştürülmesi için reçetelerin hazırlanması idi. Her iki hedefe de asla ulaşılamadı ancak maddeyle sürekli haşır neşir oluşları simyacılar madde konusunda büyük bir aşinalık sağladı ve içinden gerçek bir bilimin –kimyanın– ortaya çıkacağı, çoğu zaman kelimenin asıl anlamıyla, kompostu* sundu.

Simyadan kimyaya geçişin başlıca aracı terazi idi. Nesneleri hassas bir şekilde tartma yeteneği, insanlığın ellerine sayıları maddeyle ilişkilendirme potansiyelini verdi. Bu başarının önemi gözlerden kaçmamalıdır çünkü anlamlı sayıların hava, su, altın ve diğer her madde biçimiyle ilişkilendirilmesi gerçekte oldukça sıradışıdır. Bu sayede, madde ve onun geçirebileceği dönüşümlere (kimyanın mevcut faaliyet alanı) yönelik araştırma, nitel kavramların nicel olarak yorumlanabildikleri ve kendilerini kuşatıp

* Kompost, biyokimyasal olarak ayrışabilir bitkisel ve hayvansal kökenli organik maddelerin teknolojik bir metoda göre mikroorganizmalar tarafından mineralize edilip olgunlaştırılmasıyla elde edilen ürünlerdir. Kompost tarımda hem organik gübre hem de toprak aktivatörü ve toprak düzenleyicisi olarak kullanılır. -ç.n.

aydınlatan kuramlara karşı titizlikle test edilebildikleri doğa bilimleri alanının kapsamı içine alındı.

Maddeyi bir cisimden diğerine geçirdiği dönüşümden önce ve sonra tartma, kimyadaki tüm açıklamaların altında yatan başlıca kavramın –atomun– doğuşuna yol açtı. “Atom” kavramı, antik Yunanların en ufak bir delil göstermeksizin temelinde bir tür bölünemeyen nihai parçacığın olduğu tanecikli dünya spekülasyonlarından bu yana iki bin yıldan fazla bir süredir insan bilincinde temelsiz bir şekilde dolaşmıştı. Bu spekülasyonlar John Dalton (1766-1844) eliyle bilim alanında temellendirildi. Cisimlerin reaksiyona girmeden önceki ve sonraki ağırlıklarını analiz eden Dalton, maddenin temel yapı taşları olan elementlerin değiştirilemez atomlardan oluştukları ve bu elementlerin kaydının bir cisim diğerine dönüştüğünde basit tartım vasıtasıyla tutulabileceği sonucuna vardı.

Atomlar kimyada artık çok revaçtadır. Kimyadaki hemen hemen her açıklama, ya münferit ya da birbirlerine bağlanıp *molekül* dediğimiz birleşimler halinde, atomları işaret etmektedir. Atomlar, bütün maddelerin yapı taşıdır. Görebileceğiniz ve dokunabileceğiniz her şey atomlardan oluşur. Ne kadar küçük olsalar da, onların çıplak gözle görülemez olduklarını söylemek oldukça yanlıştır. Bir ağaca bakın; atomları görürsünüz. Bir sandalyeye bakın; atomları görürsünüz. Bu sayfaya bakın (ekran üzerinde de olsa); atomları görürsünüz. Yüzünüze dokunun; atomlara dokunursunuz. Bir kumaşa dokunun; atomlara dokunursunuz. Kuşkusuz tek bir atom göremeyeceğiniz kadar küçüktür ama madde onların kıtalarından oluşur ve kümelenmiş bu kıtalar bizi çevreleyen maddeler olarak çıplak gözle görülebilir. Bununla birlikte kitabın ilerleyen sayfalarında (5. Bölümde) kimyacıların artık *münferit atomların* görüntülerini bile nasıl görebildiklerini açıklayacağım.

Sadece 100’ün üzerinde farklı atom türü vardır. “Tür” kelimesiyle tam olarak neyi kastettiğimi 2. Bölümde, birlikte bu atomların içlerine bakıp onları değişik kılan farklı içsel yapılarını tanımladığımızda açıklayacağım. Her bir farklı atom türü farklı bir elemente karşılık gelir. Dolayısıyla nasıl ki hidrojen, karbon, demir, vb. elementü vardır; öyleyse hidrojen atomları, karbon atomları, demir atomları, vb. de vardır. Bu silsile en son keşfedi-

len element olan livermoryuma kadar gitmektedir. 2013 yılında keşfedilip tümüyle faydasız ve son derece kısa ömürlü olan livermoryum 114. elementtir. (Doğrusunu söylemek gerekirse livermoryum 116. elementtir ancak ondan önceki iki element henüz keşfedilmeyi beklemektedir.)* Kimyadaki anahtar fikir, bir madde diğerine dönüştüğü zaman atomların kendilerinin değişmeyip sadece partnerlerini değiştirdikleri veya yeni dizilişlere giriştikleridir. Kimya tamamen boşanma ve yeniden evlenmeyle ilgilidir.

“Atom” kelimesi bölünemez anlamına gelse de, atomlar aslında bölünebilirler. Hariçten gazel spekülasyonlar” bile bu sonuca varırlar. Çünkü farklı türdeki atomların varlığı farklı yapılarla sahip olmayı gerektirir. Bu nedenle yeterli marifetle bir atomun parçalanabilmesi ve bunun sonucunda oluşan *atomaltı parçacıkların* saptanabilmesi oldukça muhtemeldir. Deneyler bu spekülasyonu doğrulamaktadır. 2. Bölümde atomların içsel bir kısmını ve böylece sahip oldukları farklı özelliklerin kökenlerini göreceğiz. Kimya burada en çok fizikten yararlanmaktadır. Zira atomların yapılarını fizikçiler aydınlatmıştır. Kimyacılar bu bilgiyi atomların oluşturdukları molekülleri ve gerçekleştirdikleri reaksiyonları açıklamak için kullanılmaktadırlar.

Bu son görüş kimyanın faaliyet alanına işaret etmekte, kimyayı anlamak için kavramların fizikten alınması gerektiğini ima etmektedir. Durum gerçekten de böyledir. Kimya ciddi ölçüde fizikçiler tarafından geliştirilen çeşitli kavramlara dayanır (Bunun karşılığında biz kimyacılar onlara içeriği açığa çıkarılacak nesneyi sağlarız). Tüm bu alışveriş içinde iki büyük alım vardır. Bunlardan biri münferit atomların ve bunların atomaltı bileşenlerinin davranışlarıyla, diğeri ise yığınla, yani bir sürahi su veya bir demir bloğu gibi fiziksel olarak büyük madde biçimleriyle ilgilidir. Daha teknik olarak ifade etmek gerekirse, bunlar sırasıyla *mikroskobik* ve *makroskobik* dünyalardır.

* Hem 114., hem de 115. elementler resmen onaylanmış durumdadır. 114. elementin ismi “flerovyum”, 115. elementin ismi ise “moskovyum” olarak adlandırılmıştır. -ç.n.

** Türkçeye bu şekilde çevirdiğimiz söz konusu ifadenin İngilizce orijinali “armchair speculation” olup, hakkında çok şey bilmediği ve haşır neşir olmadığı bir konu, problem, vs. hakkında mevcut bilgilerin analizi ve sentezi yoluyla yorumda bulunmak anlamına gelmektedir. -ç.n.

Münferit atomların ve moleküllerin mikroskobik dünyasının özelliklerini açıklamak için fizikten alınan kritik şey *kuantum mekaniğidir*. Her ne kadar kimyanın büyük bir kısmı on dokuzuncu yüzyılda gelişse de, neden bazı şeylerin meydana gelip diğerlerinin meydana gelmediğine ilişkin çok az bilgi vardı. O zamanlar Isaac Newton'ın "klasik mekaniği" –makroskopik cisimlerin hareketlerinin hesaplanmasına yönelik matematiksel işlemler– kraldı çünkü gezegenlerin yörüngelerini ve güllerin menzilini izah etmekte çok başarılıydı. Gezegenler ve güller atomlara indirgendiğinde kimyanın açıklamalarının bulunacağı ve Newton'ın çalışma alanının kimyayı da kapsayacağı beklentisi vardı. Newton'ın simya işlemlerine yönelik sonuç getirmeyen odaklanması muhtemelen onun da böyle düşündüğünün bir göstergesiydi. Ne var ki on dokuzuncu yüzyılın sonları ve yirminci yüzyılın başlarında, gezegenlerin ve güllerin atomlara indirgenmesinin klasik mekaniğin tümünden başarısızlığıyla sonuçlandığı bulundu. Newton mekaniğinin dayandığı kavramlar bile atomlara ve onların bileşenlerine uygulandığında un ufak oldular. Bunlar ihtiyatsız ekstrapolasyonun* doğurduğu tehlikelerdir.

Daha sonra, yirminci yüzyılın ilk döneminde (1927 civarında) yeni bir mekanik doğdu. Atomların ve atom altı parçacıkların nasıl işlediklerini açıklamada oldukça başarılı olan kuantum mekaniği kuramı kestirim gücü ve sayısal kesinlik bakımından bugüne kadar aşılamadı. Anlaşılmazlığını büyük ölçüde sürdürmesi hiç kuşkusuz can sıkıcı bir eksikliktir ancak zamanı geldiğinde, atomların davranışını ve dolayısıyla tüm kimyayı anlamak için gerekli olan şeyleri ondan süzmek için elimden gelenin en iyisini yapacağım. Kimyacıların sıvılarını karıştırıp kaynatırları esnada, atomları kuantum mekaniğinin tuhaf kanunlarına göre davranmaları için ikna ettiklerini göreceğiz.

Fizikten alınan diğer kritik şeyse, yığın halindeki maddenin makroskopik dünyasının özelliklerini açıklamak üzere *termodinamiktir*. Enerjinin ve onun geçirebileceği dönüşümlerin bilimi olan termodinamik büyük ölçüde, toplumları hem kelimenin gerçek anlamıyla hem de ekonomik olarak hareket ettirme noktasında Victoria döneminin** buhar makinesine olan bağımlılığı saye-

* Ekstrapolasyon, bilinene dayanıp gözlemlerin ötesindeki şeyleri tahmin etmek için yapılan kestirimlerdir. -ç.n.

** Büyük Britanya Kraliçesi Victoria'nın (1819-1901) tahta çıktığı 1837 yı-

sinde ortaya çıktı ancak kısa süre içinde kimya sisteminin önemli bir parçası olduğunu kanıtladı. Konumuzun maddi dokusu atomlardır ancak onların geçirdikleri değişimler enerjinin kontrolü ve itici gücü altındadır. Bu kitapta sadece yakıtın yanmasıyla enerji açığa çıktığını –enerjinin kimyayla ilişkisinin bariz, kullanışlı ama ilkel bir yönü– öğrenmeyeceğiz. Aynı zamanda enerjinin; atomların genelde nasıl davrandıklarına, hangi yapıları oluşturabileceklerine, diziliş bakımından hangi değişimlerden geçebileceklerine ve bu değişimlerin hangi hızda gerçekleşebileceğine yön verdiğini de göreceğiz. Enerjinin hemen göze çarpmayan bir özelliği de, 3. Bölümde açıklayacağım bir şekilde reaksiyonları ileri doğru hareket ettirerek kimyanın devindirici gücü olarak ortaya çıkmasıdır. Enerji kimyasal yapıya çok derinlemesine dolanır. Bu yüzden termodinamiğin mühendislik kökenli olmasına rağmen kimya üzerinde rol oynaması şaşırtıcı olmamalıdır.

Kimya kendi açıklamaları için fizikten (ve nicel formülasyonu için fizik üzerinden matematikten) yardım alsa da, en sıradışı uygulamalarının çoğunda biyolojiye başvurur. Bu şaşırtıcı olmamalı çünkü biyoloji tümüyle kimyanın bir ayrıntısıdır. Biyologlar bu açıklamaya, ki bu sosyolojinin parçacık fiziğinin bir ayrıntısı olduğunu iddia etmek gibi görünebilir, öfkelenmeden önce kendimi daha iyi anlatayım. Organizmalar atomlardan ve moleküllerden inşa olurlar ve bu yapılar da kimya tarafından açıklanır. Canlı organizmalar, içlerinde meydana gelen karmaşık reaksiyonlar ağı sayesinde işlev görürler. Bu reaksiyonlar kimya tarafından açıklanır. Organizmalar, her ikisi de kimyanın birer parçası olan moleküler yapıları ve reaksiyonları kullanarak çoğalırlar. Organizmaların çevrelerine yönelik tepkileri –koku alma ve görme gibi– moleküler yapıdaki değişimler yoluyla gerçekleşir. Bu tepkiler –beş veya daha fazla duyumumuzun tamamı– kimyanın ayrıntılarıdır. Hipermakroskopik fenomenler olan evrim ve türlerin kökeni bile termodinamiğin ikinci kanununun sonuçlarının ayrıntılı bir çözümü olarak kabul edilebilirler ve bu nedenle de kimyanın bir yönüdürler. Bazı organizmalar, esas olarak insanlar, dünyanın doğası üzerine enine boyuna düşünürler. Bu düşüncelerin altında yatan ve böyle tezahür eden zihinsel süreçler,

İnsan ölümüne kadar geçen dönemdir. Victoria döneminde İngiliz sanayi devrimi yükselişe geçmiş ve Britanya İmparatorluğu en parlak günlerini yaşamıştır. -ç.n.

ayrıntılı kimyasal reaksiyon ağlarından kaynaklanırlar. Dolayısıyla biyoloji gerçekten de kimyanın bir ayrıntısıdır. Her ne kadar böyle olduğunu düşünsem de, hayvanların genel davranışları gibi biyologların ilgisini çeken bütün meselelerin aslında tümüyle kimyanın bir ayrıntısı olduğu şeklindeki görüşü dayatmayacağım ve kendimi organizmaların tüm yapılarının, tepkilerinin ve süreçlerinin kimyasal olduğu iddiasıyla sınırlandıracam. Kimya, biyolojiye yayılmış ve organizma kavrayışımıza ölçülemez bir katkıda bulunmuştur.

Biz insanlar toplumsal olarak organizmaları ayrıntılandırır, nesneler inşa eder ve yapay şeyler üretiriz. Yerkürenin taşlarını çıkartır, derinliklerden sıvılar çeker, gökyüzünün gazlarını toplar ve tüm bu hammaddeyi istediğimiz her neyse ona dönüştürmeyi amaçlarız. Bu hammaddelerin kalıba dökülebilen, dövülebilen, bükülebilen, birbirine yapıştırılabilen, yenilebilen veya sadece yakılabilen maddelere dönüştürülmesi kimyanın bir parçasıdır. Kimyacılar kenara geçebilirler ve kalıpçıların kalıba dökmelelerine, demircilerin çekiçle dövmelelerine, tesviyecilerin şekil vermelerine ve genel olarak imalatçıların imal etmelerine, nihai ürünü yaratmalarına izin verebilirler. Ancak hammaddeyi, yani modern teknolojik toplumumuzun altyapısını sunan ve böylece dünya ekonomilerine ve bireyler ile milletlerin gidişatlarına devasa katkıda bulunanlar onlardır.

Önsöz’de vurguladığım üzere, tüm bu aydınlığın arasında hiç kuşkusuz karanlık benekler ve lekeler vardır. Kimya, insanoğlunun sakatlama ve öldürme kabiliyetine kesinlikle katkıda bulunmuştur. Kimyanın ne olduğu hakkındaki bu çalışmada, onun tedarik ettiği patlayıcıları, sinir gazlarını ve kırılgan çevremize kazara ve kasıtlı olarak getirdiği külfetleri halı altına süpürmek uygunsuz olacaktır. Bu meselelerle daha sonra yüzleşeceğim ama bu aşamada –kişisel yargının önemini vurgulamak için– sizleri kimyanın modern dünyaya olan tüm katkılarını ortadan kaldırmaya, ki bu sizleri acı dolu, tehlikeli, rahatsız edici, isteklerin sınırlı olduğu Taş Devri dönemine geri götürecektir; ve kendinize mevcut karanlığın aydınlığa üstün gelip gelmediği sorusunu sormaya davet ediyorum.

Kimyanın Temel Dalları

O halde, kimyanın kapsamı o kadar büyüktür ki, bir tür yapı olmaksızın bu kitap ve kimyanın kendisi karaya vuran güçsüz bir

balına gibi biçimsizce debelenirdi. Kimyacılar faaliyetlerini yürütmelerine, benzer fikirli birliklerde toplanmalarına ve her bir eyaletin kendi politikasını ve ekonomisini belirlemesine çok benzer bir şekilde kendi yöntemlerini geliştirmelerine yardımcı olan bir yapının içine sürüklenmişlerdir. Çoğu eyaletten farklı olarak burada sınırlar bulanıktır ve genellikle iki kültürün örtüştüğü yerlerde çarpıcı ilerlemeler kaydedilmektedir. Bu özellikle araştırma konusunun kendisi kimyanın şu anki olgunluk seviyesine geldiği zaman, her bir faaliyet alanı derinlemesine araştırıldığı ve ilhamın tıpkı sanatta olduğu gibi en bereketli haliyle verimli ortak sınırlarda ve kimyanın diğer disiplinlerle örtüştüğü hudutlarda ortaya çıkabildiğinde vuku bulmaktadır.

Amaçlarımız uğruna ve bu kitap bağlamında kimyanın genel yapısını anlamak için, onun çeşitli dallara bölünmesini değerlendirmek ve ilgi alanlarına geniş bir perspektiften bakmak faydalı olacaktır. Kimyanın dalları hâlâ üniversite bölümlerini, dersleri ve keşiflerin bildirildiği dergileri işgal etmektedir. Dolayısıyla bu dallara ait tanımlar ziyaretçi rehberinin önemli bir parçası olmaya devam etmektedirler. Ancak bir uyarıda bulunayım: Hem entelektüel hem de bölümler arası sınırlar eriyorlar.

Kimyanın en geniş, en önemli, en geleneksel ve hâlâ yaygın olarak gözlemlenen bölünmesi; fizikokimya, organik kimya ve anorganik kimya şeklindedir.

Fizikokimya, isminden de anlaşılacağı gibi fizik ile kimyanın arayüzünde yer alır ve daha önce gördüğümüz üzere büyük ölçüde kuantum mekaniğinden (atomların ve moleküllerin yapılarını açıklamak için) ve termodinamikten (enerjinin rolünü ve yayılımını için) oluşan kimya prensipleriyle ilgilidir. Fizikokimya ayrıca, hem makroskobik hem de mikroskobik düzeyde reaksiyonların gerçekleşme hızlarıyla uğraşır. Fizikokimya mikroskobik düzeyde münferit moleküllerin içsel yaşamlarını takip etmeye çabalar. Çünkü bunlar parçalanıp sonrasında reaksiyonlar vasıtasıyla farklı maddeler olarak yeniden yapılanırlar. Fizikokimyanın temel bir faaliyeti de, başta “spektroskopi” olmak üzere araştırma tekniklerinin yorumlanmasına katkı sunmaktır.

5. Bölümde göreceğimiz üzere, spektroskopi, moleküllerin içinden gözlemcinin giderek daha çok sentetik hale gelen gözlerine bilgi taşımak için çeşitli ışık türlerini kullanır. Bu tekniklerin

mevcut karmaşıklığı, fizikokimyacıların verileri yorumlamak için başta kuantum mekaniği olmak üzere tüm cephanelerini kullanmalarını gerektirmektedir. Gerçekten de, kimyacılar ile fizikçilerin bu alandaki faaliyetleri o kadar bulanıklaşmıştır ki; bir fizikçinin yöntemine yakın bir şekilde münferit moleküllerin davranışlarını inceleyen kimselerce fizikokimya ismi yerine çoğu kez *kimyasal fizik* kullanılır.

Organik kimya, kimyanın karbon bileşikleriyle ilgili olan kısmıdır. Bir elementin bütün bir bilim dalına komuta edebilmesi, karbonun yaratıcı sıradanlığının bir kanıtıdır. Karbon, elementlerin kimyasal özellikleri konusunda kimyacının haritası olan Periyodik Tablonun orta noktasında bulunur ve kurduğu bağlara karşı büyük ölçüde ilgisizdir. Bilhassa kendisine bağlanmaktan hoşnuttur. İlmli ve saldırgan olmayan karakterinin bir sonucu olarak, şaşırtıcı karmaşıklıkta zincirler ve halkalar oluşturabilir. Bu karmaşıklık, organizmaların canlı olarak kabul edilmeleri için tam olarak ihtiyaç duyduğu şeydir. Bu nedenle karbon bileşikleri yaşamın yapısal ve reaktif altyapısıdır. Sayıları şu anda milyonlarla ifade edilen karbon bileşikleri o kadar geniştir ki; bir kimya dalının tümünün bu bileşikler çalışmak için evrimleşmesi ve özel teknikler, isimlendirme sistemleri ve yaklaşımlar geliştirmesi şaşırtıcı değildir.

Neden “organik”? Karbonun iştirak ettiği moleküller (karbondioksit gibi aykırılık gösteren birkaç basit bileşik hariç) öylesine karmaşıktır ki, başlangıçta onları sadece doğanın oluşturabileceği düşünülürdü. Bu “dirimselci” görüşe göre söz konusu moleküller organizmaların ürünleriydi. Dirimselciliğin sonu, 1828 yılında basit bir mineralin karakteristik bir “organik” bileşiğe (yani üreye) dönüştürülebildiğinin kanıtlanmasıyla başladı.* Anlaşmazlık bir süre daha devam etse de o zamandan beri organik kimyadaki “organik” ibaresi bir arkaizm haline gelmiştir. Ne var ki kullanışlı arkaizimlerin yerinden edilmesi zordur ve terim yaşamaya devam etmektedir ama şimdi bir karbon bileşiğinden daha fazla bir şey ifade etmemektedir.

* Alman kimyacı Friedrich Wöhler anorganik bir madde olan amonyum siyanatı ısıtarak üre elde etmiştir. Wöhler sentezine göre önce potasyum siyanür ile kurşun (II) oksit karışımı ısıtılıp potasyum siyanat elde edilmiş, sonrasında ise bu bileşik amonyum sülfatla reaksiyona sokulup ortaya çıkan amonyum siyanat kızdırılarak üreye dönüştürülmüştür. -ç.n.

Geriye karbon haricindeki yüzden fazla element kalmaktadır. Bunların araştırılması *anorganik kimyanın* alanıdır. Büyük ölçüde farklı karakterleri olan yüzden fazla elementi ele alan bir bilim dalından beklenebileceği üzere, anorganik kimya çok önemli ancak henüz yeterince büyümemiş bir çalışma alanıdır. Büyüme çeşitli alt dallarla sınırlıdır. Temel bir alt dal *katı hal kimyasıdır*. Bu alandaki çalışmanın konusu, süperiletkenler olarak davranan malzemeler ve evrensel hesaplamayı mümkün kılan yarıiletkenler gibi anorganik katılardır. Enstrümanları uygun bir şekilde sıralayıp kombinasyonlardan senfoniler çıkartan kimyacı orkestra şefi-ne sahip yüz kişilik bir orkestra ile anorganik kimya arasındaki benzerliğe direnmek çok zordur.

Karbon, anorganik kimyacıların Periyodik Tabloyu tarayan gözlerine karşı güvende değildir. Daha önce bahsettiğim karbondioksit, öldürücü bir gaz olan karbonmonoksit ve manzaralarımızı süsleyen tebeşir ve kireç taşı gibi daha basit karbon bileşiklerine ilgi duymayan organik kimyacılar bunları seve seve kendi alanlarından çıkarmışlardır. Söz konusu bileşikler genel kabulle “anorganik” olarak görülürler. Bununla birlikte bu iki dal arasındaki sınırda karmaşık karbon atomları topluluğundan oluşan ama çeşitli metallerin atomlarını da içeren bileşikler bulunur. Bu bileşiklerin bir kısmı kimya endüstrisindeki başlıca katalizörlerdir. Bazılarıysa organizmaların işleyişi için çok önemlidir. Bu dallar arası alanda, organik ve anorganik kimyacılar arasında son derece verimli bir işbirliğini temsil eden *organometalik kimya* yer almaktadır.

Kimyanın Diğer Disiplinlerle Örtüşmesi

Yukarıda bahsi geçenler, kimyanın üç temel dalıdır. Bu liste, kimyacıların daha iyi anlayabilmek amacıyla araştırma konularını bölmelerine olanak sağlayan yolları hiçbir şekilde tüketmez. Geri kalanlar bu üç daldan çeşitli oranlarda teknik, kavram ve ilham alıp karışımlarını diğerlerinin bakış açılarıyla harmanlar. Bunların tümünü listelemek büyük bir iş olurdu. Bundan dolayı en yaygın olanlarını bilmek daha uygundur.

Analitik kimya, bir şeyin içinde ne olduğu sorusunun cevabını öğrenmeye yönelik asırlık arayışın modern mirasçısıdır. Bir mineralin içinde ne var? Bu mineral altın olabilir mi yoksa hafniyum mu? Ham petrolün içinde ne var? Hangi hidrokarbonlar var ve ham

hidrokarbonlar haricinde başka neler var? Yaptığınız bu bileşik nedir? Atomlarının dizilişlerini ortaya çıkarabilir misiniz? Bunların tümü analitik kimyacıların cevaplamaya çalışabilecekleri sorular. Yöntemlerinde deney tüplerini, balonları ve imbikleri kullanmaya devam etmelerine rağmen, analitik kimyacılar araştırmalarının çoğunu gelişmiş makinelerle gerçekleştiriyorlar. Bu makinelerin bir kısmı anorganik ve fizikokimya dallarındaki kimyacılar tarafından geliştirilen spektroskopiyi ve diğer teknikleri kullanıyor. Bu teknikleri 4. Bölümde inceleyeceğim. Analitik kimya kendi içinden *adli kimyayı* çıkartmıştır. Adli kimyada, şüphelilerin takibi veya temize çıkarılması ve olay yerlerinin analiz edilmesi gibi yasal amaçlar için analitik kimya teknikleri kullanılır.

Biyokimya, organik kimyanın bazen içine bir tutam anorganik kimya da ilave edilerek biyolojiye geri bağlanmasıdır. Bütünüyle canlıları meydana getiren yapılar ve reaksiyonlarla ilgilenen biyokimya, gıdayı aksiyona (beynin aksiyonu olan düşünme dahil) çeviren metabolik yolları analiz eder. Doğanın yapısal nişleri keşfetmesi milyarlarca yılı bulmuş olmasından ötürü, organizmalar hâlâ büyük öneme sahip birer organik molekül deposudurlar. Biyokimyacılar hem bu deponun içinde ne olduğunu bulmada hem de onun, vücudun işçi arıları olan “enzim” dediğimiz proteinlerin kontrolü altında nasıl oluştuğunu çözümlemede merkezi bir rol oynarlar. Türlerin tükenişi konusundaki insan merkezli ama önemli bir endişe, ortaya çıkmaları milyonlarca yıl almış karmaşık molekül kaynaklarının bu tükeniş tarafından yok edilmesidir.

Endüstriyel kimya isminden de açıkça anlaşılabilir. Burada kimyacı ile mühendis bir araya gelir, deney tüpleri ve onların akrabaları içinde gerçekleştirilen reaksiyonlar devasa boyuta yükseltilip ticarete katkıda bulunmaya uygun hale getirilir. Endüstriyel kimyacılar ekonomiye ve milletler arasındaki ticarete muazzam bir destek sağlarlar. Kimyasallar sadece Birleşik Krallık’ta gayrisafi yurtiçi hasılaya %20 katkıda bulunmaktadır. ABD’de üretilen tüm ürünlerin %96’sından fazlasında doğrudan kimyanın eli vardır. Bu rakamlar hiç de yabana atılacak cinsten değildir. Mevcut endüstriyel kimyanın başlıca endişelerinden biri *yeşil kimya* dır. Yeşil kimyanın amacı; atık üretimini en aza indirip ekonomiyi geliştirmek, çevresel etkiyi minimize edip kabul edilebilirliği ve sürdürülebilirliği artırmaktır.

Kimyanın Diğer Disiplinlere Katkısı

Kimya entelektüel alanda onu çevreleyen disiplinlere çok şey borçludur. Ancak onlar da kimyaya borçludur.

Fizik, özellikle elektronik ve giderek artan oranda fotonik alanında (bilginin iletimi ve verinin işlenmesi için elektronların yerine ışığın kullanılması) kimyaya borçludur. Kimyacılar yarıiletkenleri üretirler. Söz konusu yarıiletkenler olmasaydı; bilgisayarlı hesaplama ilk ortaya çıktığı endüstriyel ölçekle sınırlı kalırdı. Kimyacılar ayrıca optik fiberlerde kullanılan camları üretirler. Bu camlar olmasaydı; bilgi transferi aksamaya uğradı.

Biyoloji, özellikle de *moleküler biyolojinin* ortaya çıkmasından bu yana kimyaya muazzam derecede borçludur. Bu büyük oranda, DNA'nın yapısının belirlenmesinden ve nesilden nesile geçen genetik bilginin taşıyıcısı olarak yorumlanmasından kaynaklanmaktadır. Temel karakteristiğinin –çoğalmanın– kimyasal bileşeninin saptanmasından sonra, biyolojinin doğa bilimlerinin bir parçası haline geldiğini söylemek hiç de abartı değildir. Moleküler biyoloji gerçekten de kimyanın bir versiyonudur. Kimyanın mevcut olgunluğu biyolojinin daha önce hiç olmadığı kadar canlanmasını sağlamıştır. Biyoloji ve kimya arasındaki işbirliğinin adı olan *ilaç kimyası*, kimyanın topluma sunduğu büyük ve tartışmasızca kabul edilen katkılardan biridir.

Toplumun kimyaya başka bir büyük borcu daha bulunur. Önsöz'de de ifade ettiğim üzere, kimya toplumsal yaşamın her alanında; tıpta, tarımda, iletişimde, ulaştırmada ve her türlü inşaat, imalat ve dekorasyonda maddi katkılar sağlar. Bizler de ona borçluyuz çünkü yine Önsöz'de iddia ettiğim üzere, kimya dünyadan keyif almak noktasında her birimize bir içgörü sağlar.

Bütün bunlar şimdi açmaya başlayacağım kimya bilgisinden kaynaklanır.

2. BÖLÜM

Kimyanın Prensipleri: Atomlar ve Moleküller

Kimyayla ilgili her türlü tartışmanın merkezinde Periyodik Tablo bulunmaktadır. Dmitri Mendeleev (1834-1907) tarafından on dokuzuncu yüzyılda formüle edilmiş olan bu organizasyon başyapıtının temeli, yirminci yüzyılda atomların yapıları açıklandıktan sonra anlaşılmıştır. Periyodik Tablonun önemi, onun yaygın şekilde kullanılmasıyla doğrulanmıştır: Laboratuvar ve konferans odası duvarlarına asılmış, her kimyaya giriş ders kitabına basılmıştır. Bu kitabın sonlarında Periyodik Tablonun bir örneği bulunmaktadır. Ne var ki bu tablonun önemi abartılmamalı. İş hayatındaki kimyacılar her sabah ilham almak için Periyodik Tabloya bakmazlar veya gün içinde ona sıkça başvurmazlar. Kuşkusuz onu akıllarında tutarlar çünkü Periyodik Tablonun asıl önemi, elementler arasındaki ilişkileri özetlemesi ve onlar hakkındaki bilgiyi düzenlemede çok önemli bir rol oynamasıdır. Belki de onun en önemli rolü kimya öğretimindedir. Periyodik Tablo, yüzün üzerinde elementin tek tek özelliklerini öğrenmek gibi zorlu bir görevin yerine, bu özelliklerin elementlerin tabloda ki yerlerinden anlaşılmasını ve eğilimlerin belirlenip kolayca hatırlanmasını mümkün kılmıştır. Gerçekten de, Mendeleev kimyaya giriş mahiyetinde bir ders kitabı yazmaya hazırlanırken tablosunu formüle etmiştir.

Periyodik Tablo maddenin olağanüstü bir özelliğini, elementlerin birbiriyle ilişkili olmasını gösterir. Bu tabloya artık o kadar aşinayız ki, bu özellik kolayca unutuldu. Ama bir de kendinizi tablonun formüle edilmesinden önceki bir dönemde hayal edin. Bu durumda gaz haldeki oksijeni ve katı haldeki sarı renkli kükürtü biliyor olacak ancak bunların arasında bir ilişki olabileceğini tahmin etmeyecektiniz. Büyük ölçüde inert (atıl) olan gaz haldeki

azotu ve parlayan katı haldeki fosforu biliyor olacak ancak bunların ilişkili olduklarını düşünmeyecektiniz. Peki ya kırmızı bakır, parlak gümüş ve altın? Bunlar bir aile mi? Kesinlikle değil! Hakikaten, farklı maddeler arasında aile ilişkileri olduğu düşüncesi bile tasavvur edilememişken, farklı madde biçimlerinin bile kardeş veya kuzen olmaları nasıl mümkün olmaktadır?

Ne var ki Periyodik Tablo elementlerin gerçekten birbiriyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Oksijen ve kükürt kuzendirler ve tabloda yan yana dururlar; azot ve fosfor da öyle. Bakır, gümüş ve altın aynı ailenin üyeleridir ve birlikte aşağıya doğru uzanır. Onların çok farklı görünüşleri yüzeysel farklılıklardır çünkü katıldıkları reaksiyonlar ve oluşturdıkları moleküller araştırıldığında, bu akrabalar arasında derin benzerlikler olduğu ortaya çıkar. Bu benzerlikler atomlarının yapılarından kaynaklanır ve onları anlamak için şimdi bu atomlara dikkat vermemiz gerekmektedir.

Atomların Yapısı

1. Bölümde atomların yapılarını anlayabilmek için kuantum mekaniğine ve onun tüm anlaşılmazlıklarına başvurmanın gerekli olduğundan bahsetmek belki de biraz rahatsızlık vericiydi. Bununla birlikte bu olağanüstü kuramdan sadece bizi ilgilendiren kavramları ve bilgileri süzeceğimi söylemişim. Bu kısıtlama akılda tutulduğunda atomların oldukça basit bir yapıya sahip oldukları; elementler arasındaki ilişkileri ve neden bazı atom birleşimlerine izin verilip bazılarına izin verilmediğini anlamanın oldukça kolay olduğu ortaya çıkar.

Bir atomun temel yapısı, bir elektron bulutu tarafından çevrelenmiş bir çekirdekten oluşur. Bu “çekirdekli atom” modeli, ilk kez 1911’de Ernest Rutherford (1871-1937) tarafından saptanmıştır. Çekirdek pozitif, elektronlar ise negatif yüklüdür. Atomun varlığından ve bu varlığı sürdürmesinden sorumlu olan, bu zıt yükler arasındaki çekimdir. İyi bilindiği üzere atomlar çok küçüktürler: Bu cümlemin (metnin basılı versiyonunda) sonundaki noktada bir milyondan fazla karbon atomu vardır. Bir çekirdek ise daha da küçüktür: Eğer bir atom bir futbol stadyumu ebatına büyütülebilseydi, çekirdek bu stadyumun merkezindeki bir sineğin büyüklüğü kadar olurdu.

Araştırmama atomun merkezinden başlayacağım. Bir çekirdek, iki tür atom altı parçacıktan oluşur: protonlar ve nötronlar. Protonlar pozitif yüklüdürler ve p şeklinde gösterilirler. Nötronlarsa elektriksel olarak nötrdürler ve n şeklinde gösterilirler. Bunun dışında, neredeyse aynı kütleye sahip olup birbirlerine çok benzerler. Çekirdekte sıkıca tutulurlar ve serbest kalmaları için büyük bir enerji –nükleer bir patlama gibi bir şey– gerekir. Nispeten cılız enerji salınımlarına sahip çoğu kimya olayında çekirdek değişmeden kalır. Söz konusu çekirdek; deney tüpleri, beherler ve balonlar içinde kendi etrafında gerçekleşen süreçlerde pasif ama önemli bir katılımcıdır.

Çekirdekteki proton sayısı atomun kimyasal kimliğini belirler. Dolayısıyla bir hidrojen atomunun bir, bir helyum atomunun iki, bir karbon atomunun altı, bir azot atomunun yedi, bir oksijen atomunun sekiz protonu vardır ve bu sıralama 116 protonlu livermoryuma kadar bu şekilde gider. Çekirdekteki proton sayısına elementin *atom numarası* denir. Elementlerin ilk sıradışı özelliğine gelmiş bulunuyoruz: Elementler atom numaralarına göre sıralanabilirler. Elementler artık rastgele bir karmaşa içinde olmayıp belirli bir sıra halinde dizilirler: hidrojen, helyum, ... livermoryum. Dahası, atom numarası bir tür yoklama gibi kullanılabilirdiği için, kimyacılar ve fizikçiler 113 ve 115 hariç olmak üzere 116'ya kadarki tüm atom numaralarının hangi elemente ait olduğunu saptadıklarını ve bu ikisi ile 116'nın ötesindekiler haricinde hiçbir elementin eksik olmadığını bilmektedirler.*

Nötronlar bu yoklamada önemsiz bir konumdadırlar. Çekirdek, sahip olduğu protonla hemen hemen aynı sayıda nötron içerir ve bu sayı çok küçük miktarlarda değişebilir. Nötron sayısı atom numarası gibi etki etmediği için, aynı element nötron sayıları çok az değişiklik gösteren atomlara ve dolayısıyla farklı kütlelere sahip olabilir. Aynı elementin atomlarının bu farklı versiyonları, Periyodik Tabloda aynı yerde (*isos* = “aynı” + *topos* = “yer”) bulundukları için *izotop* olarak adlandırılır. Dolayısıyla hidrojenin

* Bu kitap basıldıktan bir yıl sonra (2016 Kasım ayında), IUPAC (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği) 113., 115., 117. ve 118. elementlerin keşfini resmen onaylamıştır. Buna göre 113. elementin ismi “nihonyum”, 115. elementin ismi “moskovyum”, 117. elementin ismi “tenessin”, 118. elementin ismi ise “oganesson” olmuştur. -ç.n.

üç izotopu vardır: hidrojenin kendisi (bir proton, nötron yok), döteryum (bir proton, bir nötron) ve trityum (bir proton, iki nötron). Hidrojenin bu izotoplarının ilki açık ara en bol olandır. Güç bela bir arada duran trityum çekirdeği ise “radyoaktif” ve birkaç yıl sonra parçalanıp (“yarı ömrü” 12,3 yıldır) ışıma yayar. Döteryum “ağır hidrojen”dir, her bir atomu normal hidrojen atomunun iki katı ağırlığa sahiptir. Oksijenle birleşerek “ağır su” oluşturur. Döteryum atomları hidrojen atomlarından daha ağır olduğu için, bu su normal sudan yaklaşık %10 daha ağırdır.

Atom numarası, yani proton sayısı ve dolayısıyla çekirdeğin pozitif yükü onu çevreleyen elektronların sayısını belirler. Bir *elektron*, bir protonla aynı büyüklükte ama zıt işaretli elektrik yüküne sahiptir. Dolayısıyla bir atomun elektriksel olarak nötr olması için, çekirdeğin dışındaki elektronların sayısı çekirdeğin içindeki protonların sayısı ile aynı olmalıdır. Yani elektron sayısı atom numarasına eşittir. Bu nedenle, hidrojen (atom numarası 1) bir elektrona sahiptir, karbon (atom numarası 6) altı elektrona sahiptir. Bu durum 116 elektronlu livermoryuma kadar böyle gider. Elektronlar, protonlar ve nötronlardan çok daha hafiftirler (yaklaşık 2000 kat). Bundan ötürü onların varlığı atomun kütlesini çok az etkiler. Elementlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerinde elektronların derin bir etkisi vardır ve kimya biliminin hemen hemen tümünde onların davranışlarının izi sürülebilir.

Kimyacılar çekirdeklerle, kaç elektronun onları çevrelediğini tespit etmede üstlendikleri rol haricinde çok az ilgilenirler. Bunun tek istisnası, tek bir protondan ibaret bir hidrojen atomu çekirdeğinin çok özel durumudur. 4. Bölümde bu çekirdeğin özel rolünü açıklayacağım.

Daha önce bahsettiğim üzere, tüm kimyasal reaksiyonlar çekirdekleri bozulmamış halde bırakırlar. Başka bir deyişle, kimyasal reaksiyonlar elementlerin kimliklerini değiştirmezler. Tek bir bakışla, simyacıların kurşunu (82 protona sahip 82. element), altına (79 protona sahip 79. element) dönüştürme noktasındaki umutsuz arayışlarının neden başarısızlığa mahkûm olduğunu anlayabiliriz. Hayal kırıklığı içinde ısıtma, karıştırma, dövme ve ezme işlemleri “transmutasyon”, yani bir elementin bir diğerine dönüşmesi için elzem olan sıkıca bağlı üç protonu çekirdekten çıkaramazdı. Transmutasyon ancak *nükleer* reaksiyonlar sonu-

cunda meydana gelebilir ve bu da nükleer enerji ile nükleer fiziğin alanıdır. Nükleer yakıtların hazırlanması ve nükleer atıkların üstesinden gelinmesi başta olmak üzere nükleer işlemlerin sonuçlarıyla uğraşırken kimyacılar hayati bir rol oynarlar. Ama bu aşamada bizim için sadece kimyasal reaksiyonlar önemli.

Atomlardaki Elektronlar

Elektronlar, üst üste yığılan gerçek bulutlar gibi, katmanlar halinde çekirdeği çevrelerler ve atomun tümünü kuşatırlar. Bir “bulut” oluşturan elektron kavramı çabucak bir açıklamaya ihtiyaç duyar. Söz konusu bulut aslında bir olasılık bulutudur: Yoğun olduğu yerde elektronun bulunması olası iken, seyrek olduğu yerde elektronun bulunması olası değildir.

Kuantum mekaniğinin kanunları çekirdeği en alt katmanda en fazla 2 elektronun, sonraki katmanda en fazla 8 elektronun, bir sonraki katmanda ise en fazla 18 elektronun çevrelemesini buyurur. Daha ötesine gitmemize gerek yok ancak elektronların sayısı arttıkça bazı değişikliklerle birlikte benzer bir düzen kesintisiz olarak devam eder. Bu düzenin anlamı, hidrojen atomunda çekirdeği tek bir elektronun çevrelediğidir. Altı elektrona sahip karbon atomunda iki elektron en alt katmandaki bulutu, dört elektron ise dış katmandaki bulutları oluşturur. Atomları, soğan benzeri bulut katmanları tarafından çevrelenmiş çekirdekler olarak düşünebilirsiniz. Bir sonraki katman başlamadan önce her bir iç katman dolar. Ardışık katmanlar için neden bu karakteristik sayıların (2, 8, 18 ...) söz konusu olduğuyla ilgilenmemize gerek yok. Yine de, bu durum tam olarak kuantum mekaniği sayesinde anlaşılır.

Artık Periyodik Tablonun yapısının ve elementlerin aile ilişkilerinin açıklamasıyla yüz yüzesiniz. Bu kitabın sonundaki tabloya bir göz atın ve tek elektronu olan hidrojenle başlayın. Sonrasında iki elektronu olan helyuma gidin. Helyumla birlikte ilk bulut katmanı dolar ve aynı anda kendimizi tablonun en sağında buluruz. Lityum tarafından ihtiyaç duyulan sıradaki elektron, bir sonraki katmanda bir bulut haline gelmelidir. Elektronlar eklendikçe tablo boyunca ilerleyip yolumuz üzerindeki karbon, azot ve oksijeni geçer ve bu katmanı helyum benzeri bir başka gazda, neonda doldururuz. Sıradaki elektron bir sonraki bulut katmanı ile başla-

malı ve bizi tablonun en solundaki sodyuma götürmelidir. Sodyum bir üst satırdaki lityumla kuvvetli bir benzerlik gösterir. Her ikisinin de dolmuş haldeki iç elektron bulutlarının dışarısında tek bir elektronu bulunur.

Artık her şey açık olmalıdır: Tablonun yerleşim planı bulut katmanlarının dolumunu temsil eder. Tablonun solundaki katmanda bir elektron bulunur ve bu katman tablonun sağında dolar. Tümüyle anlaşılır ama burada dikkati dağıtacak teknik nedenlerden ötürü, bulut katmanlarının dolma düzeni tablonun ilk iki satırından sonra biraz karışır. Satır uzunlukları kolaylıkla fark edilebileceği üzere daha önce gördüğümüz sayılar, yani 2, 8, 18 ... olmalarına rağmen, katmanlar tuhaf ama anlaşılır bir düzende (Periyodik Tablonun düzeni 2, 8, 8, 18, 18 ... şeklindedir) sıralanırlar.

En önemli nokta, alt alta sıralanan elementlerin çok benzer bulut düzenlerine sahip olmasıdır. Aile ilişkilerinin kökeni budur: Oksijen ve onun alt periyodunda yer alan kuzeni kükürt aynı bulut düzenine sahiptir. Tek fark, kükürtün son altı elektronunun oksijenin son altı elektronundan daha yüksek bir düzeyde bulunmasıdır. Aynı şekilde, fosforun son beş elektronu bir üstteki satırda yer alan azotun son beş elektronundan daha yüksek bir düzeyde bulunur.

Atomların büyük oranda boş alandan ibaret oldukları sık sık söylenir. Basitçe söylemek gerekirse bu doğru değildir. Elektronların bulutvari dağılımları, bir stadyumdaki ufacak sinek ebatına sahip çekirdeğin etrafındaki bütün boşluğu kaplar. Kuşkusuz bu bulut kısım kısım çok incedir ama yine de oradadır ve her yere nüfuz etmiştir. Bir atomun büyük oranda boş alandan ibaret olduğu iddiası; çekirdeğin etrafındaki elektronların ondan çok uzak mesafelerde hızla dolaşan küçücük, nokta benzeri gezegenler gibi oldukları ve bu elektronların aralarında çok büyük boşlukların bulunduğu şeklindeki miadını doldurmuş düşünceden kaynaklanır. Kuantum mekaniği bu tasviri, açıklamakta olduğum bulutvari dağılımlarla değiştirir. Bulutlar kısım kısım çok incelemelerine rağmen tüm boşluğu kaplarlar.

Atomlar Nasıl Bağ Oluştururlar?

Kimyanın başlıca ilgi alanı münferit atomlar değil, onların birbirleriyle çok çeşitli bağlar kurarak oluşturdukları bileşiklerdir.

Şimdiye kadar saptanmış abartısız milyonlarca bağ vardır. Bildiğimiz bundan çok daha fazlasıdır ama henüz saptanamamışlar ve isimlendirilememişlerdir. Çevremizin zenginliği bu devasa bileşik koleksiyonundan kaynaklanmaktadır ve kimyacılar zamanlarının çoğunu, yeni atom birleşimleri oluşturmak veya bileşikler nasıl oluştuklarını öğrenmek için parçalara ayırarak geçirmektedirler. Kimyacılar bunu etkin bir şekilde gerçekleştirmek için, atomların birbirine nasıl bağlandıklarını ve onların kendi aralarında oluşturabildikleri bu bağlantıları –*kimyasal bağlar*– neyin kontrol ettiğini anlamaya ihtiyaç duyarlar.

Su, tuz, metan ve DNA gibi tanımlanabilir bileşikler oluşturmak üzere atomları bir arada tutan şey nedir? Atomlar her türlü birleşimi oluşturabilirler mi yoksa doğanın, kimyacıların tüm müdahalelerine rağmen üstün gelemeyeceği kısıtlamaları var mıdır? Niye maddeler dünyasında çeşitlilik vardır ve bu çeşitlilik görünüşe göre rastgele değildir? Bu sorular tersine çevrilebilir: Neden evrenin tüm atomları tek bir devasa katı kütle içinde toplanmamaktadırlar?

Bütün bu soruların cevabı bahsi geçen bulut katmanlarında yatar. Genellikle, bir atomun dolu bir bulut katmanına sahip olmasının getirdiği enerji avantajları vardır. Atom bunu çeşitli şekillerde yapabilir. İlki, en dış katmandan elektron vermektir. Bunun gerçekleşmesi öncelikle söz konusu katmanda çok sayıda elektron bulunmuyorsa mümkündür. Periyodik Tablonun solundaki, her yeni satırın ve bulut katmanının başlangıcındaki elementlerin atomları için bu çok daha olasıdır. Alternatif olarak, eğer atom halihazırda en dış katmanında çok sayıda elektrona sahipse, o zaman başka bir yerden elektron alabilir ve böylece katmanını doldurabilir. Bunun gerçekleşmesi, söz konusu katman neredeyse doluysa mümkündür. Periyodik Tablonun sağında yer alan elementlerin (her bir satırın en sağındakiler hariç) atomları için bu çok daha olasıdır. Bu atomların katmanlarını doldurmalarının başka bir yolu daha vardır: Birbirlerinin en dış katmanındaki elektronları paylaşmak. Bu durum, enerji avantajı sağlamadığından ötürü atomun elektronunu serbest bırakmaya isteksiz olduğunda gerçekleşebilir. Hünerli bir sıradanlığa sahip karbon elementi sıra dışı bağlarının çoğunu bu şekilde oluşturur.

Daha önce gördüğümüz üzere, atomlar elektriksel olarak nötrdürler. Sahip oldukları elektronların toplam negatif yükü, çekirdekteki tüm protonların toplam pozitif yükünü dengeler ve nötrleştirir. Bir atom bir elektron kazandığında veya kaybettiğinde, yük dengesi bozulur ve atom bir *iyon* haline gelir. İyon basitçe elektriksel olarak yüklü bir atomdur. Ona böyle denmesinin sebebi, bir elektrik alanına tepki olarak hareket etmesidir. “İyon”, Yunanca “giden” anlamına gelir. Bir veya daha fazla elektron kazanmış bir atom negatif yüklü hale gelir ve *anyon* olarak adlandırılır. Bir veya daha fazla elektron kaybetmiş bir atom ise pozitif yüklü hale gelir ve *katyon* (kat + iyon) olarak adlandırılır. “An” ve “kat” ön ekleri, Yunanca “yukarı doğru” ve “aşağı doğru” kelimelerinden gelmektedir ve zıt yüklü iyonların bir elektrik alanı varlığında zıt yönlerde hareket ettikleri gerçeğini yansıtmaktadır. Bir önceki paragrafta yer alan ifadeleri şu şekilde özetleyebilirim: Periyodik Tablonun solundaki elementlerin en dıştaki birkaç elektronunu kaybetmeleri ve dolayısıyla katyon haline gelmeleri, sağ tarafta yer alan ve en dış bulutları neredeyse dolu olan elementlerin ise elektron kazanmaları ve dolayısıyla anyon haline gelmeleri kuvvetle muhtemeldir.

Şimdi temel bağlanma mekanizmalarından biriyle karşılaşmış durumdayız: Zıt yükler birbirini çektiklerinden ve katyonlar ile anyonlar da zıt yüklü olduklarından ötürü, bu iyonları oluşturan atomlar bir bileşik oluşturacak şekilde kümelenirler. Sofra tuzu, sodyum klorür, bu tip bir bileşik oluşumunun mükemmel bir örneğidir. Sodyum (Latince adı *natrium* olduğundan dolayı simgesi Na’dır) tablonun solunda yer alır ve Na⁺ şeklinde gösterilen bir sodyum katyonu oluşturmak üzere en dıştaki tek bir elektronunu kolayca serbest bırakır. Tablonun sağında bulunan klor (Cl) ise en dış katmanını doldurmak ve böylece Cl⁻ sembolüyle gösterilen bir klorür anyonu haline gelmek üzere seve seve bir elektron daha alır (Klor ile klorür isimleri arasındaki ufak değişikliğe dikkat edin). İyonlar bir araya toplanırlar ve karşılıklı çekimlerinin bir arada tuttuğu katı, sert bir iyon kitlesinden ibaret sodyum klorür bileşiğini oluştururlar. Atomların çok küçük olduklarını ve bir cismin küçücük miktarlarında bile çok sayıda atom bulunduğunu daha önce vurgulamıştım. İyonlar söz konusu olduğunda

yıldızlar arasındaki bir Atlas* gibisinizdir. Çünkü bir tuz tanesini elinize aldığınızda, görünür evrendeki yıldızlardan daha fazla iyonu tutmaktasınızdır.

Dünyanın bir yerindeki bir yeraltı noktasından veya denizden çıkarılmış tuzun, dünyanın diğer bir yerinden elde edilmiş olan başka bir örnekle neden aynı bileşime sahip olduğunu artık görecek bir pozisyondasınız. Bir sodyum atomunun en dış katmanında tek bir elektron bulunurken, bir klor atomunun en dış katmanında ise tek bir boş yer vardır. Dolayısıyla mümkün olan tek birleşim, bir sodyum atomuyla bir klor atomunun aralarında elektron alışverişi gerçekleştirip iyon haline gelmeleri ve böylece birbirleriyle bağ yapmalarıdır. Sofra tuzu, yani NaCl evrensel olarak 1:1 oranında sodyum ve klorür iyonları içerir. Na₂Cl (2:1 oranındaki iyonlar) veya Na₂Cl₃ (2:3 oranındaki iyonlar) gibi bileşikler meydana gelemezler. Hangi bağların oluşabileceği ve hangilerinin oluşamayacağı konusunda doğanın kurallarının olduğu netleşiyor olmalıdır.

Şimdiye kadar anlattığım bağ türüne *iyonik bağ* denir. Bu bağ tipik olarak sadece yüksek sıcaklıklarda eriyen sert, kırılğan katılar meydana getirir. Manzaralarımızı süsleyen granit ve kireçtaşı, iyonik bağlarla bir arada tutulan atomlardan oluşmuş malzemelere birer örneklerdir. Üzerlerinde durduğumuzda bunların içine batmamamızın sebebi, söz konusu malzemelerin artık iyonlar halinde var olan atomlarının çekirdekleri etrafındaki elektron katmanlarının dolmuş olması ve atom bulutlarımızın onların atom bulutlarıyla aynı alanı işgal edememesidir. Bunun dışında, kemiklerimiz de büyük ölçüde iyoniktir ve organlarımız için makul sertlikte bir iskelet sunmaktadır.

Yumuşak organlarımız, tenimiz, tenimizin kumaşlarla kaplanması, kireçtaşının bitki örtüsüyle kumaş benzeri kaplanması, manzaralarımızın kaplanması; bunların tümü bariz bir biçimde farklı bir özelliğe sahiptir. İyonlar mevcut olabilse de, bu yapıların asli özelliklerinden sorumlu değildirler. İşte şimdi başka bir alana; atomların elektron

* Atlas, Taurus (Boğa) takımıyıldızında yer alan Pleiades (Ülker) açık yıldız kümesindeki yıldızlardan biridir. Mavi renkli dev yıldızın ismi Yunan mitolojisinden gelmektedir. Bir Titan olan Atlas, Olimposlular ile Titanlar arasındaki Tanrılar Savaşı'nda Titanların yanında yer almış ve savaşı Olimpos Tanrılarının kazanmasının ardından Zeus tarafından göğü sonsuza dek omuzlarında taşımakla cezalandırılmıştır. -ç.n.

paylaşarak bulut katmanlarını tamamladıkları ve bu sayede bir arada durdukları yere geldik. Bu bağ türü *kovalent bağ* olarak adlandırılır. “Ko” öneki ortaklığa işaret ederken, “valent” kelimesi ise Latince “güç” anlamına gelen kelimeden türetilmiştir. “*Valete!*” ifadesi Roman dillerinde “Hoşça kal! Güçlü ol!” demektir.

Hemen herkesin bildiği gibi yapısı H_2O olan bir su molekülünün oluşumundan sorumlu bağ, kovalent bağın basit bir örneğidir. En dış katmanında altı elektronu olan oksijen atomu, bu bulut katmanını (en fazla sekiz elektron bulundurabildiğini hatırlayın) doldurmak üzere iki elektron daha alabilir. Tek bir hidrojen atomu ise bir elektron verebilir ve en dıştaki katmanını (sahip olduğu tek katmanı) bir elektron daha alarak doldurabilir (İlk ve en içteki katmanın sadece iki elektron bulundurabildiğini hatırlayın). Bu paylaşım iki hidrojen atomunun iki elektronu oksijenle paylaşmaktan memnun olması şartıyla tamamlanabilir: Hidrojen atomlarının her biri iki elektrona, oksijen atomu da sekiz elektrona kavuşacak şekilde paylaşımları alırlar. Bir bakışta suyun H_2O veya HO_2 şeklinde olmayacağını anlıyoruz. Su molekülündeki tüm atomların en dıştaki bulut katmanlarının dolmasıyla sonuçlanabilecek tek bağlanma düzeni H_2O ’dur. Amonyak, yani NH_3 (N azotu simgeleri) de benzer bir duruma sahiptir. Çünkü azot atomunun en dış katmanında beş elektron vardır ve dolayısıyla bu katmanı doldurmak için üç adet daha elektron gerekir. Bu ihtiyaç, her bir elektronunu paylaşmaya istekli üç hidrojen atomu tarafından giderilir. Metan, yani CH_4 de benzer bir durumdadır çünkü karbonun dört adet açığı vardır.

Sizlerin de kimyacılar gibi iyonik ve kovalent bağlar arasındaki çok önemli bir ayrımın farkında olmanız gerekir. İyonik bağ devasa iyon kümelenmelerini, maddenin özsel yığınlarını meydana getirir. Kovalent bağ ise genellikle, H_2O örneğinde olduğu gibi, ayrık haldeki atomik birliklerle sonuçlanır. Yani kovalent bağ münferit moleküller oluşturur. Oldukça önemli olan bu ayrımı akılda tutmanız gerekir. Gazların tümü bu nedenle moleküler yapıdadırlar. Örneğin oksijen (O_2 molekülleri) ve karbondioksit (CO_2 molekülleri). İyonik bağlı bir gaz diye bir şey yoktur! Böyle bir gaz oluşsa bile, tüm iyonlar hemen bir katı oluşturacak şekilde toplanırlar. Normal sıcaklıklarda sıvı olan tüm maddeler moleküller yapıdadırlar. Çünkü moleküller birbirlerinin yanından geçebilmeye ve komşularına güçlü bir çekimle tutunup bulundukları

yerde kalmamaya ihtiyaç duyarlar. Su bariz bir örnektir; benzin ise diğer bir örnek.

Kovalent bağ, katı bileşikler de meydana getirebilir. Bu nedenle, “her katı iyoniktir” şeklinde bir çıkarımda bulunmamalısınız. Bütün iyonik bileşikler normal sıcaklıklarda katıdır ama bütün katı maddeler iyonik değildirler. Kovalent olarak bağlanmış bir katı bileşik örneği sakkarozdur.* Karbon, oksijen ve hidrojen atomlarından oluşan kovalent bir bileşik olan sakkaroz $C_{12}H_{22}O_{11}$ bileşimine sahiptir. Sakkarozun her bir molekülündeki atomlar karmaşık bir ağ oluşturacak şekilde kovalent bağlarla birbirlerine bağlanmışlardır.

Kovalent bağ oluşumunun çok mühim bir yönü de, elektron çiftlerinin taşıdığı büyük önemdir. Söz konusu önemi yirminci yüzyılın en büyük kimyacılarından biri olan Gilbert Lewis (1875-1946) saptamış ama buna bir açıklama getirmek kuantum mekaniğine kalmıştır. Her paylaşılan elektron çifti bir kovalent bağ olarak kabul edilir. Dolayısıyla herhangi bir atomun oluşturduğu bağ sayısı, bu atomun paylaştığı elektron çiftlerinin sayısı hesaplanarak kolaylıkla belirlenebilir. Paylaşılan bir elektron çifti “tekli bağ” (– şeklinde gösterilir), iki elektron çifti “ikili bağ” (= şeklinde gösterilir), üç elektron çifti ise “üçlü bağ” ($\equiv$ şeklinde gösterilir) olarak adlandırılır. Paylaşım sadece çok nadir durumlarda ilerlemeye devam eder. Dolayısıyla tüm bilmemiz gereken bu üç paylaşım türüdür. H_2O molekülündeki her bir hidrojen atomu oksijen atomuna tekli bağla bağlanır. Karbondioksit iki adet ikili bağa sahip bir moleküldür ve $O=C=O$ şeklinde gösterilebilir. Üçlü bağlar ise daha nadirdir. Oksiasetilen kaynağında kullanılan ve formülü $H-C\equiv C-H$ olan asetilen gazını örnek olarak vermek dışında onları daha fazla tartışmayacağım.

Bu anlatımın ardında gizlenen soru, iki elektronun (bir “elektron çifti”) kovalent bağ oluşumu açısından neden bu kadar önemli olduğudur. Açıklama kuantum mekaniğinin derinliklerinde yatmaktadır. İpucu, tüm elektronların kendi eksenleri etrafındaki dönmelerinde (spin hareketi) yatmaktadır. Eğer iki elektron zıt yönlerde dönerek kendi spinlerini birbirine kilitlerse, o zaman daha düşük bir enerji elde edebilirler. Bu spin kilitlemenin öneminin bir başka tezahürü de,

* “Çay şekeri” olarak bilinen sakkaroz bir disakkarit çeşididir. “Glikoz” ve “fruktoz” adlı iki monosakkaritin bir adet glikozit bağı vasıtasıyla birleşmesinden oluşur. -ç.n.

daha önce gördüğümüz üzere, bulut katmanlarının her birinin çift sayıda elektron (2, 8, vb.) içermesidir. Fransızcada eşleşmemiş bir elektron için kullanılan *electron célibataire** ifadesi, belki de eşleşmenin önemine yönelik tipik bir Galyaca göndermedir.

Metaller

Üçüncü bir bağ türünün varlığını şimdiye kadar gözlerden gizledim. Elementlerin çoğunluğu metaldir. Demir, alüminyum, bakır, gümüş ve altını düşünün. Göreceğimiz üzere metaller kimyada çok özel bir rol oynarlar. Bir metal blok atom plakalarından oluşur. Peki bu atomlar iyonik veya kovalent bağlarla mı bir arada tutulurlar? Önümüze hemen bir sorun çıkmıştır. Bloktaki bütün atomlar aynıdır. Dolayısıyla bunların yarısının katyon, diğer yarısının anyon oluşturması ihtimal dışıdır. Bu yüzden iyonik bağ elenir. Eğer tüm atomlar kovalent olarak bağlanmış olsaydı, karışımızda sert bir katı (örneğin karbon atomları birbirine sıkı sıkıya bağlı olan elmas gibi) beklerdik. Ama metaller dövülerek farklı şekiller alabilirler (“dövülgendirler”) ve tel haline getirilebilirler (“telleşebilirler”). Metaller ayrıca parlakturlar (ışığı yansıturlar) ve elektrik akımlarını, yani elektronların akışını iletirler.

Metal atomları *metalik bağ* aracılığıyla birbirine bağlanırlar. Bu sadece bir totoloji değildir. Bu bağın doğasıyla ilgili ipucu; tüm metallerin Periyodik Tablonun sol tarafına doğru uzandıkları, daha önce gördüğümüz üzere buradaki elementlerin atomlarının en dıştaki bulut katmanlarında sadece birkaç elektrona sahip oldukları ve bunları kolayca kaybedebildikleri gerçeğindedir. Metalik bağ tasavvur etmek için, en dıştaki tüm bu elektronların ana atoma doğru kaydıklarını ve tüm atom plakasını saran bir denizde toplandıklarını düşünün. Arkada bırakılan katyonlar bu denizin içinde yer alırlar ve onunla etkileşime girerler. Sonuç olarak, tüm katyonlar katı bir kütle halinde birbirine bağlanırlar. Bu kütle dövülgendir çünkü katyonların üzerlerine bir çekiçle vurulduğunda, söz konusu kütle bu katyonların pozisyonlarında meydana gelen bir kaymaya gerçek bir deniz gibi kolayca cevap verebilir. Elektronlar ayrıca katyonların yer değiştirmesine derhal cevap vererek, metalin tel haline getirilebilmesini de sağlarlar. Denizdeki elektronlar belirli

* Bekâr elektron. -ç.n

atomlara tutturulmadıkları için hareketlidirler ve bir elektrik alanına tepki olarak katı boyunca göç edebilirler. Metaller parlaktırlar çünkü denizdeki elektronlar bir gelen ışık ışınının elektrik alanının neden olduğu sarsıntıya tepki verebilirler. Denizdeki bu salınım buna karşılık olarak bizim yansıma şeklinde algıladığımız ışığı üretir. Bir aynanın metal kaplamasına baktığımızda, metalin elektron denizindeki dalgalarını izleriz.

Anlatımımızın bu aşamasındaki kimya dersi şudur: Doğal halinde metal olan elementler, en dış katmanlarındaki elektronları kolayca kaybedebilen elementlerdir. Dolayısıyla bu elementler aynı zamanda, ortamda anyon oluşturucular bulunduğu ve bunlar boşa çıkarılmış elektronları kabul edebildiği zaman, katyon oluşturan elementlerdir. Periyodik Tablonun en sağındaki elementler elektron alıcılardır çünkü bunlar en dış bulut katmanlarında bir veya iki boşluk bulundurlar ve katyonları oluşturan atomların verdiği elektronları alabilirler. Bu nedenle iyonik bileşikler (sodyum klorürü aklınıza getirin) tipik olarak, tablonun solundaki metalik bir element ile tablonun sağındaki ametalik bir element arasında oluşurlar.

Aklınızdaki bu özetle birlikte artık bir kimyacı gibi düşünmeye başlayabilir, herhangi bir element birleşiminin oluşturabileceği muhtemel bileşik türünü ve onun özelliklerini tahmin edebilirsiniz. Dahası, Periyodik Tablonun elementlerin özellikleri ve bu elementlerin oluşturdukları bileşiklerle nasıl ilişki kurduğunu, bulutvari elektronlardan ve benzer dizilişlerin periyodik tekrardan kaynaklanan komşular arasındaki aile ilişkilerinin pratikte nasıl gerçekleştiğini anlamaya da başlayabilirsiniz.

Olduğumuz Yer ve Bir Sonraki Adım

Yapılar söz konusu olduğunda kimyanın temel prensipleri bunlardır. Bu prensipler atomların hayatı, onların yapılarının tanınması ve elektronların davranışından ibarettir. Bir sonraki bölümde kimyanın “havuç ve yular”ı olan enerjinin üzerine eğileceğiz.

* İngilizce orijinali “carrot and the cart” olan bu ifade, “havuç ve sopa” olarak bildiğimiz deyimden bir versiyonudur. Okuyucunun anlamasını kolaylaştırmak için söz konusu ifade “havuç ve araba” yerine “havuç ve yular” şeklinde çevrilmiştir. Okuyucu bunun nedenini 3. Bölümün sonunda daha iyi anlayacaktır. -ç.n.

3. BÖLÜM

Kimyanın Prensipleri: Enerji ve Entropi

Atomlar kimyadaki büyük bir bilgi nehridir; diğer nehir ise enerjiden oluşur. Reaksiyonların neden ve nasıl meydana geldiklerini ve tüm çeşitliliğiyle bağların neden ve nasıl oluştuklarını anlamak için, kimyacılar süreçler gerçekleştiği sırada ortaya çıkan enerji değişimleri üzerine kafa yorarlar. Kimyacılar, bir yakıtın yakıldığı veya biyolojik bir yakıt olan gıdanın bir organizma içinde kullanıldığı zamanlarda olduğu gibi, enerjinin bizzat kendisiyle de ilgilenirler. 1. Bölümde belirttiğim gibi, enerjinin ve geçirebileceği değişimlerin araştırılması şimdi dikkatimizi vereceğimiz termodinamiğin dünyasıdır.

Termodinamiğin kanunları üzerine daha önce kapsamlı bir şekilde yazmıştım. Tartışmayı burada yeniden açma niyetinde değilim. 2. Bölümde kuantum mekaniği konusunda yaptığım gibi, sadece ihtiyacımız olanı ve kimyacıların işlerini yaparken genellikle akıllarında tuttuklarını veya en azından akıllarının bir köşesinde bulundurdıklarını süzeceğim.

Biraz Termodinamik

Kimyasal termodinamiğin özü şudur: Enerjinin nicelik ve nitelik olmak üzere akılda tutulması gereken iki yönü vardır. Termodinamiğin *Birinci Kanunu*, evrenin toplam enerjisinin sabit olduğunu ve bunun değiştirilemeyeceğini ileri sürer. Enerji farklı biçimler alabilir ve bir biçimden diğerine dönüştürülebilir. Ancak hiçbir süreç toplam miktarı değiştiremez. Dolayısıyla Birinci Kanun değişimin kanuni sınırlarını belirler: Evrendeki toplam enerji miktarını değiştirecek hiçbir değişim meydana gelemez. Termodinamiğin *İkinci Kanunu*, herhangi bir kendiliğinden değişimde enerjinin niteliğinin azaldığını ileri

sürer. Bu kanun daha çok *entropi* şeklinde ifade edilir. Entropi, enerjinin niteliğinin bir ölçüsüdür ve kendisi arttıkça bu nitelik azalır. İkinci Kanun, “evrenin entropisi artma eğilimindedir” şeklinde ifade edilir. Entropi, “düzensizliğin” bir ölçüsüdür. Düzensizliğin artması entropinin artması anlamına gelir. İkinci Kanun, kimyasal reaksiyonlar da dahil olmak üzere kendiliğinden değişimin itici gücünün bir özeti olarak kabul edilebilir. Çünkü sadece evrenin toplam enerjisinin niteliğinin bozulmasına yol açan reaksiyonlar kendiliğinden meydana gelebilir. Kısacası, düzensizlik artar, işler daha da kötüye gider. Bu nedenle, termodinamiğin oldukça özlü bir özetini vermek gerekir. Buna göre, Birinci Kanun tüm muhtemel değişimlerden mümkün olanları (toplam enerjide bir değişiklik olmaz), İkinci Kanun ise bu mümkün değişimler arasındaki kendiliğinden değişimleri tanımlar (Entropi artmalıdır).

Enerjinin Rolü

Kimyacılar bu iki görüşü çeşitli şekillerde uygularlar. Geleneksel düşünüş biçimlerinde, eğer bir reaksiyon sırasında atomların yeniden organizasyonu enerjide bir azalmaya yol açıyorsa, mevcut bağların yeni bağlar oluşturdıkları veya bu bağlarla yer değiştirdikleri görüşünü benimserler. Bu görüş benim gibi bir müşkülpesent bakımdan oldukça yanlış olmasına rağmen, birçok yanlış açıklama gibi kullanışlı ve akılda kalır bir ampirik kuraldır. Söz konusu görüş yanlıştır çünkü Birinci Kanunun kanun otoritesi onun aleyhindedir: Toplam enerji değişmez. Doğru açıklama şudur: Bağ oluşumu gibi bir süreç çevreye enerji salması durumunda, enerjinin niteliğinde bir azalmayı temsil eder. Çünkü enerji yayılır ve daha az kullanışlı hale gelir. Enerji salınımı evrenin entropisini artırır, dolayısıyla bu salınım kendiliğinden bir süreçtir. “Bağ oluşumu enerjiyi azaltır” şeklindeki ampirik kural çoğu zaman işler çünkü salınmış enerjinin yayılımı entropi artışına yol açar. İş hayatındaki kimyacılar bu ampirik kuralı her seferinde çok makul bir şekilde kullanırlar. Ben de onları takip edeceğim. Bununla birlikte onu kullandığım zamanlarda içimden kendime, Dünya’nın Güneş’in etrafındaki hareketiyle ilgili Galilei’nin fısıldadığı rivayet edilen *eppur si muove* (“yine de dönüyor”) ifadesi gibi, gerçekte söz konusu olanın enerji azalması değil entropi artışı olduğunu söyleyeceğim.

Atomlar arasında bir bağın oluşması, bu bağın (böyle olduğunu düşünmesem de) enerjide bir azalmaya yol açması halinde gerçekleşir. Oluşacak bağ türü, iyonik (iyonlar arasındaki çekim) veya kovalent (paylaşılan elektron çiftleri), bir elektronun bir atomdan diğerine iyonlar meydana getirecek şekilde tamamen transferiyle mi yoksa kısmi serbest bırakılması ve paylaşımıyla mı daha fazla enerjinin salınacağına bağlıdır. Dolayısıyla iki elementin oluşturacağı bir bileşiğin iyonik mi yoksa kovalent mi olacağı, çeşitli bağ oluşum türlerine eşlik eden enerji değişimleri göz önüne alınarak belirlenebilir.

Aynı şey, bir elementin oluşturabileceği kovalent bağların tipik sayısını veren karakteristik *değerliği* için de geçerlidir. Değerlik, bir elementin kimyasal karakterinin ve komşularıyla olan aile ilişkisinin diğer bir yönüdür. Periyodik Tablodaki yeri, bir elementin değerliğini gösterir. 2. Bölümde, en dıştaki bulut katmanında iki boşluğa sahip olan oksijenin, iki hidrojen atomuyla H_2O (spesifik olarak $H-O-H$) oluşturmak üzere anlaşarak bu katmanı doldurabildiğini görmüştük. Bu, oksijenin değerliğinin 2 olduğuna işaret eder. Daha fazla hidrojen atomunun bağlanması, elektronların çekirdekten daha uzaktaki yeni bir dış bulut katmanını işgal etmesini gerektirirdi ve bunu yapmanın getireceği bir enerji avantajı da olmazdı. Daha az bağ oluşturmak da, iki adet oluşturmanın getirdiği avantajı elde edemezdi. Bu nedenle, enerjisel gerekçelerle oksijenin değerliğinin 2 olması beklenir. 2. Bölümde ayrıca, oksijenin karbonla karbondioksit, yani CO_2 (spesifik olarak $O=C=O$) oluşturmak üzere birleşiminde bu değerliğin başka bir örneğini görmüştük. Oksijenin buradaki değerliği de 2'dir. Bu örnekten de görülebileceği gibi, karbonun tipik değerliği 4'tür. Tıpkı metanda, yani CH_4 'te olduğu gibi.

Bir elementin Periyodik Tablodaki konumunun, onun karakteristik değerliğini nasıl gösterdiğini artık anlayabiliriz. Karbonun tipik değerliği 4, komşusu azotun 3, azotun komşusu oksijenin ise 2'dir. Aynı şey, kendisinin ve komşularının alt sırasında yer alan elementler için de söylenebilir. Silisyumun tipik değerliği 4, fosforun 3, kükürtün ise 2'dir. Bir kez daha, enerjiyi temel alan düşüncelerin atomik yapı kavramlarıyla –özellikle de bulutvari katman yapısının dolumu– işbirliği içinde, komşu elementler arasındaki benzerlikleri açıkladığını görüyoruz.

Enerjiyi Takip Etmek

Doğalgaz veya benzinin yanması örneğinde olduğu gibi, pek çok kimyasal reaksiyonda enerji açığa çıkar. Süreç basitçe bağlar olduğu sırada enerji salınması değildir çünkü metan gibi başlangıç maddeleri halihazırda birbirine bağlanmış atomlara sahiptir. Birçok reaksiyonda, burada yanmaya odaklanacağım, mevcut bağlar kırılmalı ve yeni bağlar oluşmalıdır. Açığa çıkan enerji iki katkının farkıdır. Mesela oksijenle (O_2) reaksiyonu nedeniyle metanın yanması sırasında, önce, metanın dört adet karbon-hidrojen bağı ve oksijendeki iki oksijen atomunu bağlayan bağlar parçalanmalıdır, ki bu çok fazla enerji gerektirir. Sonrasında karbon-dioksitteki yeni karbon-oksijen bağları ve sudaki hidrojen-oksijen bağları oluşur, ki bu da enerji salar. Bağ oluşumunda salınan enerji bağ kırılması için gereken enerjiyi aşarsa, yanma ancak o durumda ısı şeklinde enerjiyi açığa çıkarır. Denge tam tersi yönde olsaydı, yanan metan soğutmaya neden olurdu!

Kimyacılar bu münferit enerji değişikliklerini takip etmek ve bir reaksiyonda meydana gelen net değişimi hesaplamak için termodinamikten faydalanırlar. Bu amaçla, bir reaksiyondan ısı şeklinde elde edilebilir durumda olan enerjinin niceliğini hesaplamada *entalpi* olarak adlandırılan bir ölçümü kullanırlar. Entalpi ismi, Yunanca “içerideki ısı” kelimelerinden gelir. Entalpiyi enerjiden ayırmak için yerinde teknik gerekçeler vardır ancak amaçlarımız için, entalpiyi, bileşiklerin içinde mahsur kalmış ve ısı şeklinde elde edilebilir olan enerjinin bir diğer ismi olarak düşünebiliriz.

Ekzotermik reaksiyon olarak adlandırılan bir reaksiyonda, ısı şeklinde enerji açığa çıkar ve entalpi deposu azalır. Tüm yanma reaksiyonları ekzotermiktir. Metanın yanması sırasında, metanla oksijenin entalpilerinin toplamı karbondioksitle suyun entalpilerinin toplamından büyüktür ve aradaki fark ısı olarak kaçır. Kimyacılar yakıtların verimliliğini, bunların yanmalarına eşlik eden entalpi değişimlerini göz önüne alarak hesaplarlar ve dolu entalpi depolarını tercih ederler çünkü böyle yakıtların belirli bir miktarından daha fazla ısı elde edilebilir. Entalpi ve kimyasal reaksiyonlardaki ısı salınımı çalışmaları *termokimya* olarak adlandırılır. Termokimya gıdalar ve yakıtlar konusundaki bilgimize

önemli bir katkıda bulunurken, aynı zamanda daha genel termodinamik tartışmalar için veri toplamada kullanılır.

Sadece yanma değil, çoğu reaksiyon ekzotermiktir. Başlangıç maddelerinin entalpisi ürünlerin entalpisinden daha yüksek olduğundan, toplam entalpi ürünler yönünde daha düşüktür. Enerjiyle ilgili ampirik kuralın belirttiği üzere, pek çok reaksiyonun düşük entalpi yönünde ilerlediğini anlamak belki de kolaydır. Ancak alın size on dokuzuncu yüzyıl kimyacılarını tümüyle şaşkına çevirmiş olan bir bilmecе: Bazı reaksiyonlar kendiliğinden daha yüksek entalpi yönünde hareket ederler. Isı soğuran ve entalpi deposunu artıran reaksiyonlara *endotermik reaksiyon* denir. Kendiliğinden meydana gelen endotermik reaksiyonlar pek yaygın değildir ama böyle tek bir reaksiyon bile on dokuzuncu yüzyıl kimyacılarını kolektif bir şekilde şaşkına çevirmeye yetti. Çünkü şunu merak ettiler: Nasıl olur da bir şey kendiliğinden, bu örnekte entalpi bakımından yukarı doğru çıkabilir?

Söz konusu kimyacılar entropi hakkında bilgi sahibi değillerdi ve kendiliğinden daha düşük enerjiye giden şeylerle ilgili ampirik kuralı harfiyen benimsemişlerdi. Kimyacılar bugün reaksiyonların yönünü entropinin belirlediğini ve *entropinin artması şartıyla* bir reaksiyonun entalpi bakımından yukarı veya aşağı doğru gidebileceğini biliyorlar. Neden böyle olduğunu anlamak için, entropinin, enerji niteliğinin bir ölçüsü olduğunu hatırlamamız gerekir.

Enerji bir reaksiyon kabının çevresine yayılıp dağıldığı zaman entropi artar. Dolayısıyla ekzotermik reaksiyonların neden bu kadar yaygın olduklarını anlamak kolay olmalıdır. Bununla birlikte reaksiyon kabının içinde neler olduğu hakkında da düşünmemiz gerekmektedir. Bir reaksiyon sırasında enerjinin kabin içine doğru aktığını varsayalım: Entropi azalır çünkü enerji artık lokalize, daha az dağılmış ve daha kolay elde edilebilir durumda olup, daha yüksek nitelikli hale gelmiştir. Ancak kap içinde aynı zamanda büyük bir düzensizlik ortaya çıktığını varsayalım. Enerji daha lokalize hale gelmesine rağmen, şimdi evrenin toplam entropisi yükselebilir. Bunun olması halinde endotermik reaksiyon kendiliğinden gerçekleşecektir.

On dokuzuncu yüzyıl kimyacılarının yanıldıkları yer, reaksiyonların Newton'ın elması misali entalpi bakımından aşağı düşüklerini var saymaktı. 21. yüzyıl kimyacılarının bildiği şey,

reaksiyonların entropi bakımından aşağı düştüğüdür. Düzensizlik artar, işler daha da kötüye gider. Çoğunlukla ikisi de aynı sonuca götürür ancak her durumda entropi dikkate alınması gereken bir özelliktir. Entropi artışı değişimin işaret direğidir ve bazen endotermik yöne işaret eder. Eğer, kütle çekimine olan aşinalıktan, değişimin kendiliğinden yönünün “aşağı” doğru olduğunu düşünmeye devam etmek istiyorsanız, o halde kendiliğinden değişimin her durumda enerjinin niteliği bakımından “aşağı” doğru olduğunu düşünün.

Reaksiyon Hızları

Artık bir reaksiyonun nereye doğru gittiğini biliyoruz: Kendiliğinden değişimin işaret direği bize, evrenin entropi bakımından daha yüksek, enerji niteliği bakımından daha düşük yerini işaret etmektedir. İlişkili iki soru gündeme gelmektedir. İlk soru, bir reaksiyon gitmekte olduğu yere ne kadar hızlı gitmektedir? İkinci soru ise, oraya ulaşmak için hangi rotayı izlemektedir? İlkini burada, ikincisini 4. Bölümde ele alacağım.

Kimyacılar, kimyasal reaksiyonların hızlarına büyük bir ilgi gösterirler. Çünkü belirli bir reaksiyon vasıtasıyla belirli bir maddede prensipte oluşturabileceklerini bilip bundan bir miligram üretmek için bin yıl geçmesi gerektiğini bilmemelerinin hiçbir anlamı yoktur. Reaksiyon hızlarının incelenmesi *kimyasal kinetik* olarak adlandırılır. Geniş bir aralıkta gözlemlenen hızların açıklanmasında enerjinin önemli bir bileşen olduğunu göreceğiz. Bu aralık gerçekten de çok geniştir: Bazı reaksiyonlar saniyenin kısıratları düzeyinde tamamlanır (patlamaları düşünün); diğerleri ise yıllarca sürer (Korozyonu düşünün).

Kimyacılar bir ürünün miktarının zaman içindeki değişimini izleyerek, reaksiyon hızlarını kolay bir şekilde ölçerler. Bu ölçümleri çeşitli nedenlerle yaparlar. İlk ve en temel neden, basitçe herhangi bir verili anda konsantrasyonun ne olacağını bilmektir. İkinci ve daha önemli neden, özellikle endüstriyel uygulamalar için, ürünlerin optimum hızda oluşmasına yol açan koşulları bulabilmektir. Üçüncü bir neden, başlangıç maddelerini – “reaktantlar”ı– nihai ürüne dönüştüren atomik seviyedeki değişiklikler dizisini, yani reaksiyon *mekanizmasını* keşfetmektir. Sonuncusuna

ilişkin çok ayrıntılı bilgi, bir molekül selini diğerine gönderip meydana gelen çarpışmaların sonucunu izleyerek elde edilir.

Burada ilgilendiğim şey, bir reaksiyonun hızını belirlemede enerjinin rolüdür. Daha önce bir reaksiyonunun kendiliğinden gerçekleşme eğilimi içinde olabileceğini görmüştük. Hal böyle olunca şu soru gündeme geliyor: Neden tüm reaksiyonlar bir çırpıda sona ermiyor? Bu soru son derece önemlidir çünkü ürünlerin pek çok durumda yavaş ve kontrollü gelişimi yaşamı oluşturan incelikli süreçlere izin verir: Eğer biyolojik reaksiyonlar bir çırpıda sona erseydi, hepimiz anında yapışkan bir madde haline gelirdik.

Kimyacılar anlık reaksiyona karşı bir bariyerin varlığını belirlediler. Sıcaklığın reaksiyon hızları üzerindeki etkisiyle ilgili ölçümler yaparak, reaktantların atomlarının ürünlere dönüşebilmelerinden önce, moleküllerin asgari olarak *aktivasyon enerjisi* olarak adlandırılan bir minimum enerjiyi elde etmeleri gerektiğini saptadılar. Bu gereklilik en kolay, molekülleri durmaksızın çeşitli çarpma enerjileriyle birbirleriyle çarpışan gazların reaksiyonları üzerinden anlaşılır. Gerçekten hızlı moleküller arasındaki oldukça enerjik çarpışmalar yalnızca, atomları başlangıç düzenlerinde tutan bağları gevşeten ve onların yeni düzenlerine yerleşmelerini mümkün kılan yeterli enerjiyi sağlar. Sıcaklık artırıldıkça moleküller daha hızlı hareket ederler ve asgari olarak bu minimum enerjiyle gerçekleşen çarpışmaların oranı yükselir, böylece reaksiyonun hızı artar. Bazı aktivasyon bariyerleri oldukça yüksektir. Hemen hemen hiçbir çarpışma normal sıcaklıklarda reaksiyona yol açmak için yeterli enerjiye sahip değildir. Hidrojen ve oksijenin reaksiyonu buna bir örnektir: Bu iki gaz normal sıcaklıklarda süresiz olarak birlikte depolanabilse de, yüksek sıcaklıklarda veya bir kıvılcım reaksiyonu başlatmak için yeterli enerjiyi lokal olarak sağladığında patlayabilir.

Benzer bir minimum enerji gerekliliği, canlıların sulu iç ortamlarında gerçekleşenler dahil olmak üzere çözelti içindeki reaksiyonlar bakımından da geçerlidir. Böyle bir ortamda, moleküller boşluk boyunca son sürat hareket etmezler ve çarpışmazlar: Sıvı boyunca ite kaka ilerlerler, birbirleriyle karşılaşır ve değişmeden birbirlerine sürtünüp geçerler. Bununla birlikte iki reaktant molekülü bir araya geldiğinde, bu moleküllerin çevrelerindeki su molekülleri tarafından çok şiddetli

bir şekilde itilip kakılmaları sonucunda kolayca atomlarına ayrıştırılıp söz konusu atomların ürünler şeklinde yeniden dizilmeleri ihtimali de vardır. Yeterince şiddetli bir itiş kakışın ortaya çıkması ihtimali, sıcaklığın artmasıyla birlikte keskin bir şekilde artar. Bu nedenle, ısıtıldıklarında sıvı ortamlardaki reaksiyonlar bile hızlanırlar. Örneğin ateşböcekleri sıcak gecelerde serin gecelere göre daha hızlı parlarlar. Mutfağımızda reaksiyonları tetiklemek için ısı uygularız. Buna “gıdaları pişirmek” deriz.

Pek çok durumda, bir reaksiyonun hızı *katalizör* eklenerek artırılabilir. Katalizör, reaksiyon hızını artıran ancak kendisi değişmeyen kalan bir maddedir. Katalizör Çince’de “çöpçatan” anlamına gelir. Kelimenin bu anlamı, onun rolünün çok iyi algılanmasını sağlar. Katalizör, bir reaksiyon için daha düşük aktivasyon bariyerine sahip farklı bir yol –farklı bir atom göçleri ve bağ oluşumları silsilesi– sağlayarak rolünü oynar. Aktivasyon enerjisi daha düşük olduğu için, reaktantlar arasında normal sıcaklıklarda daha başarılı çarpışmalar gerçekleşir ve reaksiyon hızlanır. Katalizörler kimya endüstrisinin can damarıdır. Arzu edilen kimyasal maddelerin verimli ve hızlı bir şekilde üretilmesinin elzem olduğu bu endüstrinin tümünde başarı uygun katalizörün saptanmasına bağlıdır. Unutulmaması gereken bir nokta, “evrensel bir katalizör” diye bir şeyin olmadığı ve her bir reaksiyonun ayrı ayrı çalışılması ve uygun bir katalizörün bulunması gerektiğidir. Bir başka nokta da, tüm reaksiyonların katalize edilemeyeceğidir: Pek çok durumda doğanın hız konusundaki kararıyla yaşamak zorundayız.

Katalizörler vücutlarımızın işleyişi için olmazsa olmazdırlar. *Enzimler* (Yunancada “mayalandırmak” anlamına gelen *zyme* kelimesinden türetilmiştir), katalizörler olarak işlev gören ve içimizde gerçekleşen hemen hemen tüm kimyasal reaksiyonları kayda değer özgüllük ve verimlilikle kontrol eden protein molekülleridir. Yaşam katalizin ta kendisidir.

Dengenin Doğası

Reaksiyon hızlarının çok önemli bir yönü de, bir reaksiyon tamamlanıp değişim artık aşikâr değilken neler olduğuyla ilgili-

dir. Kimyacılar böyle durumlarda reaksiyonun *dengeye* ulaştığını söylerler. Çoğu durumda başlangıç maddesinin hemen hemen hiçbir molekülü kalmaz ancak birçok durumda da başlangıç maddelerinin tümü tüketilmeden önce reaksiyon durur gibi olur. Sonuncusunun bir örneği, “Haber-Bosch süreci” vasıtasıyla amonyak (NH_3) sentezi için azot ile hidrojen arasındaki ekonomik açıdan devasa öneme sahip reaksiyondur. “Haber-Bosch süreci”, dünyadaki tarımsal gübrenin çoğunun üretimini içeren süreçlerin başında yer alır. Söz konusu reaksiyon, azot ve hidrojenin sadece küçük bir kısmının amonyak haline dönüşmesiyle inatçı bir duraklamaya girmiş gibi görünür. Ne kadar çok beklessek ne kadar çok katalizör ilave etsek de artık başka değişiklik olmaz. Reaksiyon dengeye ulaşmıştır.

Denge, reaksiyonun sadece görünürde durmasıdır. Bir denge karışımını atomik seviyede izleyebilseydik, kimyasal aktivitenin hâlâ devam ettiğini görürdük. Bir reaksiyon dengedeysen ürünler hâlâ oluşurlar ancak aynı zamanda stokiyometrik orana göre başlangıç maddesine geri dönüşürler. Yani kimyasal denge *dinamik* bir denge olup, ileri ve geri yöndeki süreçler stokiyometrik oranlarda meydana geldiğinden net bir değişim olmaz. Amonyak sentezinde, denge durumunda iken hâlâ amonyak molekülleri oluşur ancak oluştuklarıyla aynı oranda azot ve hidrojene ayrışır ve net bir değişim olmaz.

Kimyasal dengenin ölü değil dinamik olmasının önemli bir sonucu, bu dengenin koşullardaki değişikliklere duyarlı olmaya devam etmesidir. Böylece, vücudumuzdaki bazı reaksiyonlar dengeye ulaşmış olsalar da, sıcaklık ve diğer faktörlerdeki değişimlere cevap verebilir durumdadırlar. Bizi canlı tutan da bu cevap verebilirliktir. “Homeostaz” –bedenleri canlı ve uyanık tutan hassas ve karmaşık denge– bu dinamik, duyarlı kimyasal dengenin bir tezahürüdür. Dengenin ölü değil dinamik olması gerçeği, amonyağın endüstriyel bakımdan çok önemli olan sentezi konusunda kimyacılar ve endüstriye, dengenin belki de yönlendirilebileceği ve amonyak veriminin artırılabilceği umudunu veriyor. Kimyager Fritz Haber (1868-1934) ile kimya mühendisi Carl Bosch (1874-1940) yirminci yüzyılın başlarında bu umudun üstüne gittiler. Haber ve Bosch uygun bir katalizör seçerek ve yüksek

basınç ve sıcaklıklarda çalışarak dengeyi kendi isteklerine göre bük ebildiler ve böyle yaparak dünyayı beslediler.

Olduğumuz Yer ve Nereye Gidiyoruz?

Artık enerjinin kimyasal reaksiyonların hem havucu hem de yuları olduğunu görmüş olduk. Böylece, 2. Bölümün sonundaki iki anlamlı ifademi nihayet açabileceğim. Enerji ve onun düzensizlik halinde yayılımı havuçtur: Enerji, kimyasal reaksiyonların itici gücüdür. Reaktantlar ve ürünler arasındaki bariyerlerin üstesinden gelmek için gerekli olan enerji aynı zamanda, havuca doğru serbest, kontrolsüz gidişi durdurmak anlamında da yulardır.

Reaktantların ürünlere dönüşmesine yol açan atomik yeniden dizilişin fiiliyatta nasıl gerçekleştiğ i hakkında pek bir şey söylemedim. Bu değişiklikleri ortaya çıkarıp anlamak ve neredeyse sihirs el, hayrete düşürücü dönüşümler gerçekleştirmek için kullanmak, pratik kimyanın kalbinde yer almaktadır ve yolculuğumuzun da bir sonraki adımıdır.

4. BÖLÜM

Kimyanın Reaksiyonları

İnsanlar kimyayı her düşündüklerinde, onun parlayan, patlayan, renk değiştiren veya kötü kokan reaksiyonlarını düşünürler. Kimyasal tesislerde reaksiyonların gerçekleştiğini, bir yakıtın yanmasının ve plastik, boya veya farmasötiklerin üretiminin birer reaksiyon olduğunu bilirler. Belki de bazıları doğru bir şekilde yemek pişirmenin reaksiyonlara neden olduğunu düşünürler. Pek çoğu muhtemelen, en azından belli belirsiz bir şekilde, vücudumuzda gerçekleşen sayısız reaksiyondan dolayı canlı olan bizlerin bizatihi karmaşık deney tüpleri olduğunu farkındadır. Ama reaksiyonlar tam olarak nedir? Kimyacılar sıvı karışımlarını karıştırıp kaynatıklarında, bir sıvıyı diğerinin içine döktüklerinde ve genel olarak laboratuvarlardaki görünüşte esrarengiz faaliyetlerine başladıklarında neler olmaktadır?

Kimyacılar partnerlerini değiştirmeleri için atomları ikna etmeye çalışmaktadırlar. Başlangıç maddeleri, yani “reaktanlar” belli bir birleşim içindeki atomlardan oluşurlar. Üretilen maddeler, yani “ürünler” ise aynı ama farklı birleşim içindeki atomlardan oluşurlar. Çalkalamak, karıştırmak ve kaynatmak bir birleşim halinden diğerine geçişe yol açmakta, bir moleküldeki atomları birbirlerinden ayrılmaya zorlayıp farklı türlerde moleküller oluşturmaya teşvik etmektedirler. Reaktantların atomları bazı durumlarda istenen yeni dizilişi hemen oluştururlar ancak diğer durumlarda kimyacılar bir dizi incelikli adım yoluyla karmaşık ikna yöntemleri tasarlamak ve atomları baştan çıkarmak zorundadırlar. Yanma ve patlama bir kıvılcımdan kaynaklanabilir. Karmaşık bir ağ benzeri ilaç molekülü; düşünme, şans, zaman ve dikkatli, çok yönlü, bilimsel bir planlama gerektirebilir.

Bir kimya laboratuvarı özelleşmiş ekipmanla doludur. Bu ekipmanın çoğu, bir reaksiyonun ürününün kimyacının umduğu veya düşündüğü şey olup olmadığını belirlemek için orada bulunur. Bunların işlevlerinin bazılarını 5. Bölümde açıklayacağım. Söz konusu ekipmanın çoğu doğrudan atomların ikna edilmesi ve kimyasal bağdayı samandan, arzu edilen ürünü atıktan ayırma işiyle ilgilidir. Deney tüpleri, balonlar, beherler, distilasyon düzeneği, süzme araçları ve çeşitli ısıtıcılar, çalkalayıcılar ve karıştırıcılar vardır. Bu şaşırtıcı (ve pahalı) aygıt dizisine rağmen, bir kimyacının gözleriyle, atomik seviyede çok az sayıda süreç vardır: Daha açık söylemek gerekirse bunların sayısı 4'tür. Aslında açıklamayı burada durdurmak ve dünyanın hem doğal hem de sentetik tüm harikalarının bir avuç elementten ve onları yönlendirmenin dört çeşit yolundan geçtiğinin farkına varmak iyi olur.

Bu bölümün geri kalanında sizlere bu dört temel reaksiyon türünü tanıttacağım. Bu reaksiyonlar bazı durumlarda birlik olurlar ve ilk bakışta bu işbirliği yeni bir reaksiyon türü gibi gözükür. Ancak söz konusu birlik bozulduğunda yine ortaya çıkarlar.

Proton Transferi: Asitler ve Bazlar

Kimyacılar “proton” olarak bilinen temel parçacığı, fizikçilerin onu saptamasından çok önce keşfettiler. Ne var ki kimyacılar bunu yapmış olduklarını fark etmediler. Bir proton, 2. Bölümden hatırlayın, bir hidrojen atomunun küçücük, tek başına yüklü çekirdeğidir. Onun düşük yükü (genellikle bir moleküldeki komşu bir atom tarafından gevşek bir şekilde tutulması anlamına gelir) ve düşük kütlesi (onu çevik kılar) şu anlama gelir: Bir molekülün parçası durumundaki bir hidrojen atomu birdenbire fark edebilir ki, kendi çekirdeği –proton– kaçıp daha misafirperver bir komşu molekülün elektron bulutlarına gömülü hale gelmiştir. Bu durum, yani bir protonun bir molekülden diğerine transferi özetle dört büyük temel reaksiyon türünden biridir.

Asitlerin ve alkalilerin dünyasındayız. İlk kimyacılar asitlere aşına idiler ancak bir asitin, çekirdekleri üzerinde çok az kontrole sahip ve onları kaybetmeye yatkın olan hidrojen atomlarını içeren bir bileşik olduğunu fark etmeleri uzun zamanlarını aldı. Asitler bir zamanlar, isimlerinin de (Latince *acidus*: ekşi, kes-

kin) işaret ettiği üzere, keskin tatları sayesinde fark edildiler. Tehlikeli testten (bugün sirke, soda ve kolalı içeceklerin keskinliğine verdiğimiz cevabımızda daha lezzetli bir şekilde var olmaktadır) hayatta kalan kimyacılar, tat alma organlarını gıdıklayan şeyin protonlar olduğunu bilmiyorlardı. Bu saptama ancak 1923 yılında, İngiliz kimyacı Thomas Lowry (1874-1936) ile Danimarkalı kimyacı Johannes Brønsted'in (1879-1947) birbirlerinden bağımsız bir şekilde; bir asitin, proton çekirdeğini başka bir molekül veya iyon verebilen hidrojen atomları içeren bir molekül veya iyon olduğunu öne sürdükleri zaman gerçekleşti. Hidrojen içeren tüm moleküller bu şekilde hareket edemezler çünkü proton elektron bulutlarına fazlasıyla gömülü olabilir. Ama çeşitli molekül sınıfları bunu gerçekleştirebilirler. Özellikle de moleküldeki diğer atomlar elektron bulutunu protondan uzaklaştırabilirdiği ve onun kaçmasını sağlayabildiğinde. Asetik asit –sirke asiti– böyle bir bileşiktir. Diğerleri arasında hidroklorik asit (HCl) ve sülfürik asit (H₂SO₄) vardır. Eğer bir formülün başında H yazdığını görürseniz, bu onun protonunu serbest bırakabileceğine ve bir asit gibi davranabileceğine yönelik bir işarettir (Peki ya H₂O? Bekleyin ve görün).

Bir el tek başına alkışlayamaz. Eğer bir proton vericisi (bir asit) varsa, büyük ihtimalle bir proton alıcısı, yani serbest bırakılmış protonun bağlanabildiği ve elektron bulutu içinde saklanabildiği bir molekül veya iyon da olmalıdır. Burada devreye alkaliler girer (Arapça *al qaliy*'den gelen alkali kelimesi “kül” anlamına gelir çünkü odun külü bir alkali kaynağıdır).

Alkali testi, asit testi kadar tehlikeliydi. Bir alkali sabunsu bir his verir. Bugün alkalilerin yağları sabunlara dönüştürdüğünü biliyoruz. Bu nedenle, söz konusu testte test edenin parmağının üzerindeki yağlar sabun haline geliyordu. Kimyacıların artık daha kalıcı ve daha gelişmiş testlere sahip olduklarını belirtmeye gerek yok. Alkalilerin yağları sabuna çevirme yeteneğinin altında yatan neden, içerdikleri *hidroksil iyonlarıdır* (OH⁻). Bu iyonlar, su molekülleri (H₂O) haline gelmeleri sürecinde proton çekebilen ve tutabilen bir kimyasal türdür.

Aktarmam gereken ufak bir teknik husus daha bulunuyor. Kimyacılar bugün proton alan bir molekül ve iyonu “baz” olarak adlandırıyorlar. Bu nedenle OH⁻ bir bazdır. Kimyacılar suda çözü-

nen bazlar için de “alkali” terimini muhafaza ediyorlar. Örneğin sodyum hidroksit, NaOH , suda çözünür ve Na^+ ve OH^- iyonlarına ayrışır. Bu nedenle sodyum hidroksit bir OH^- bazı kaynağıdır ve onun çözeltisi de bir alkalidir. Şu andan itibaren “baz” terimini kullanacağım çünkü bu terim alkaliden daha geneldir (Bir molekül veya iyonun baz olması için suda bulunmasına gerek yoktur).

Neden “baz” ismi? Hidroklorik asitin sodyum hidroksit çözeltisiyle reaksiyonunda, asitin protonu sodyum hidroksitin sağladığı OH^- iyonuna geçtiği zaman tuz (sodyum klorür) ve su oluşur. Sülfürik asit ile sodyum hidroksit çözeltisi reaksiyona girdiğinde ise, asitin protonu sodyum hidroksitin sağladığı OH^- iyonuna geçtiği zaman sodyum sülfat ve su oluşur. Aynı bazın (sodyum hidroksitin) temelleri üzerine farklı bileşikler (sodyum klorür ve sodyum sülfat) inşa ediyoruz. “Baz” isminin sebebi budur.

Bu arada, hem sodyum klorür hem de sodyum sülfat tuz olarak adlandırılır. Tuz bu iyonik maddelerin genel sınıfı olup bir asit ile bir bazın reaksiyonu sonucunda oluşur ve ismini yaygın bir numune olan sofra tuzundan (sodyum klorür) alır. Bu, bir bileşik türünün isminin ilgili bütün sınıfın ismine ilham verdiği kimyada yaygın bir özelliktir.

Çok sayıda reaksiyon asitler ve bazlar arasında gerçekleşir. Bu reaksiyonların ortak özellikleri, bir protonun asitten baza aktarılmasıdır. En önemlileri arasında; mısır, meşe ağaçları, sinekler, kurbağalar ve biz de dahil olmak üzere organizmalar içinde gerçekleşen reaksiyonlar yer alır. Çünkü pek çok enzim kontrollü biyokimyasal reaksiyon, örneğin gıda ve solunum metabolizmasında rol oynayanlar, bu türdendir. Aslında yaşamı uzun süreli, oldukça karmaşık bir titrasyon olarak görebilirsiniz!

Proton transferinin, yani asit-baz reaksiyonlarının önemli olmasının bir nedeni de gelen protonun pozitif yüklü varlığının bazın elektron bulutunu değiştirmesidir. Proton muhtemelen moleküldeki komşu bir atomu, etrafındaki elektron bulutu geri çekildiğinden ötürü, diğer atomların saldırısına maruz bırakmaktadır. Proton transferi böylece atomları ve onları tutan bağları saldırıya ve sonrasında daha fazla reaksiyona hazırlar. Bu saldırı hazırlığı, vücudumuzdaki asit-baz reaksiyonlarının asli bir rolüdür. Enzimler sindirim veya modifikasyon için daha küçük molekülleri hazırlarlar.

Daha önce su ve onun H_2O şeklindeki formülü hakkında endişelenebileceğinizi, H atomlarının onun bir asit olduğunu akla getirebileceğini farz etmiştim. Su içerken neredeyse %100 asit içersiniz. Ancak su ayrıca bir bazdır. Su içerken neredeyse %100 saf bir baz içtiğinizi bilmelisiniz. Bu endişe verici ifşayı açıklamalıyım. Korkutucu olsa da, suyun hem bir asit hem de bir baz olduğu gerçeğinin kabul edilmesi; kimyacıların su, sulu çözeltiler ve suyun gerçekleştirdiği reaksiyonlar hakkındaki düşüncelerinin merkezinde yer almaktadır.

Kendinizi bir bardak su içindeki bir su molekülü olarak düşünün. Yoğun, itiş kakış bir kalabalık içinde etrafınız diğer su molekülleri tarafından çevrilmiş olsun. Hidrojen atomlarınızın protonlarından biri sizden kaçabilir ve komşu bir moleküle yapışabilir. Bu transfer, proton verici olmak, sizin bir asit olduğunuz anlamına gelir. Protonu kabul eden komşunuz ise bir baz olarak davranır. Bir proton kaybı sizi bir bir hidroksit iyonu (OH^-) olarak bırakır. Bir proton kazancı komşunuzu *hidronyum iyonu* denilen bir H_3O^+ iyonu haline getirir. Gelen proton sıcak bir patates gibidir ve hemen komşunuzun komşularından birine aktarılır. Benzer şekilde, negatif yükünüz komşularınızdan birinden bir proton çekerek sizi tekrar H_2O haline getirir. Bir protonun kesintisiz bir şekilde bu aktarımı ve hızla OH^- ’dan H_2O ve H_3O^+ ’ya geçmesi sıvı boyunca devam eder. OH^- ve H_3O^+ iyonlarının gerçek konsantrasyonları çok küçüktür bu yüzden bir bardak suya baktığınızda, onu büyük bir çoğunlukla H_2O moleküllerinden ibaret olarak düşünmelisiniz. Ancak su boyunca bulunan birkaç OH^- ve H_3O^+ iyonunu, protonlar etrafta dolanırken durmadan değişen özdeşlikleri de göz ardı etmemelisiniz. Her bir H_2O molekülü bir asit (bir proton vericisi) ve her bir H_2O molekülü de bir bazdır. Suyun neredeyse saf bir asit ve saf bir baz olduğunu ifade etmemin sebebi budur.

Elektron Transferi: Yükseltgenme ve İndirgenme

Elektron, fizikçi J. J. Thomson tarafından 1897’de keşfedildi. Kimyacılar bundan önce farkında olmadan onlarca yıl elektronun etrafında dönüp durdular. Bu isimlerin öncüsü Michael Faraday (1791-1867) idi. Açıkçası, Faraday bile ne yaptığını bilmiyordu. Bir elektronun bir molekülden diğerine transferi dört büyük temel reaksiyonun ikincisi olup, pek çok iş bu küçük temel parçacığın

göçünden kaynaklanır. Örneğin elektron transferi çelik üretimi gibi büyük endüstrilerin temelidir. Ayrıca yapay maddelerin korozyon yoluyla bozunmasından da sorumludur.

Sizleri “yükseltgenme” ve “indirgenme” terimleriyle tanıştırmam ve sonrasında elektron transferinin bunlar üzerinde nasıl bir rol oynadığını açıklamam gerekiyor. Yükseltgenme (oksidasyon) adından anlaşılacakmış gibi bir hava veriyor: oksijenle reaksiyon. Bilimde bir terim özel kullanımla hayatına başlamış olsa da, genelleşerek çoğunlukla manzarada daha fazla yer kaplar. Kısa bir süre önce, “tuz” teriminin, tekil bir örnekten ilişkili bileşiklerin ait olduğu sınıfın tümüne genelleşmesini görmüştük. Aynı şey yükseltgenme (oksidasyon) için de geçerlidir.

Basit bir örnek alalım. Çoğumuz, bir magnezyum (Mg) şeridinin havada yanması sırasında yayılan parlak ışığı görmüşüzdür. Bu reaksiyonda magnezyum metali, Mg^{+2} iyonları ve O^{-2} iyonlarından oluşan iyonik bir katı olan magnezyum oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşir. Reaksiyonda açığa çıkan enerji, ışık ve ısı olarak yayılır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, metalin her bir Mg atomunun iki elektron kaybettiği ve çift yüklü bir Mg^{+2} iyonuna haline geldiğidir. Daha az bilinen benzer bir reaksiyon ise, magnezyumun klor gazında yanmasında ortaya çıkar. Burada ürün magnezyum klorürdür. Bu bileşik Mg^{+2} iyonları ve Cl^{-} iyonlarından oluşur. İlk reaksiyonunda olduğu gibi, kritik değişim, her bir Mg atomunun bir Mg^{+2} iyonu oluşturmak üzere iki elektron kaybetmesidir. İkinci reaksiyonda oksijen yoktur ancak aynı işlem, yani elektronların uzaklaştırılması meydana gelmiştir. Kimyacılar artık ikinci reaksiyonu basitçe genel bir türün yükseltgenmesi olarak görüyorlar ve yükseltgenmeyi *elektron kaybı* şeklinde tanımlıyorlar. Bir hidrokarbon yakıtının yanması örneğinde olduğu gibi, bazen elektron kaybını tanımlamak oldukça zordur ancak kimyacıların bunun için de yolları vardır. Her ne zaman bir elektron kaybı meydana gelse, kimyacılar bunu bir yükseltgenme (oksidasyon) olarak tanımlarlar. Oksijenin kendisi işe herhangi bir şekilde karışmamış olsa bile...

Asitler ve bazlar arasındaki reaksiyonları tartışırken bir elin tek başına alkışlayamayacağını görmüştük: Bir proton vericisi (asit) varsa, bir proton alıcısı (baz) da olmalıdır. Bir el, bir elektron transfer reaksiyonunda da tek başına alkışlayamaz ve bir

yükseltgenmede kaybedilen elektronlar bir yerlere bağlanmalıdır. İndirgenme burada devreye girer.

Eski zamanlarda (kasıtlı olarak muğlak bırakıyorum), indirgenme (redüksiyon), bir metalin cevherinden çıkarılması demekti: Cevher metale *indirgenirdi*. Bu süreç sanayi devriminin devasa simgesi olan yüksek fırında meydana gelirdi. Demir cevheri (bir demir oksiti), bu fırında karbon ve karbonmonoksitle reaksiyona girer ve eriyik demir (Fe, Latince *ferrum* kelimesinden gelir) oluştururdu. Bu eriyik demir fırının tabanından dışarı atılır ve gelecekte çeşitli çelik türleri oluşturmak üzere yoluna devam ederdi. Demir oksit bileşiği Fe^{+3} iyonları ile O^{-2} iyonlarından, demir metali ise Fe atomlarından oluşur. Bu akılda tutularak cevherin indirgenmesi esnasında ne yaşandığını anlamak kolaydır: Elektronlar her bir Fe^{+3} iyonuna bağlanarak bu iyonların yükünü nötralleştirmiş ve Fe atomlarını oluşturmuştur.

Elektronların bir atoma bağlanması, reaksiyonun bir cevherin bir metale indirgenmesiyle hiçbir ilgisi olmamasına rağmen (yukarıdaki özellik dışında), bugün indirgenme olarak kabul edilir. Dolayısıyla magnezyumun oksijenle yanması sırasında, oksijen molekülleri magnezyumun yükseltgenmesi sırasında salınan elektronları alırlar ve O^{-2} iyonları haline gelirler: Oksijen indirgenir. Magnezyumun klor tarafından yükseltgenmesi sırasında, klor molekülleri serbest bırakılan elektronları alırlar ve Cl^{-} iyonları haline gelirler: Klor indirgenir. Ne zaman serbest bırakılan elektronlar bir atoma transfer edilse, bu atomun indirgeneceği belirtilir.

Artık bir elektron transfer reaksiyonunda iki elimizle alımlaştırabilir durumdayız: Yükseltgenme (elektron kaybı) ve indirgenme (elektron kazanımı) daima birlikte gerçekleşir. Kimyacılar bu iki ele birlikte ihtiyaç olduğunu bilirler ve tek başına bir yükseltgenme reaksiyonuna veya tek başına bir indirgenme reaksiyonuna değil, bir “redoks” (redüksiyon + oksidasyon) reaksiyonuna işaret ederler (Kimyacılar şimdiye kadar bu tür bir sıkıştırılmış isimlendirmeyi asit-baz reaksiyonlarına kadar genişletmemişler ve onlara “bazit” reaksiyonları şeklinde bir ad vermemişlerdir).

Redoks reaksiyonları oldukça önemlidir. Bu reaksiyonların demirin cevherinden kazanılma sürecinde, çelik zincirinin başında yer aldığını daha önce görmüştük. Bu kazanımın tersi korozyon sürecidir. Korozyon dediğimiz redoks reaksiyonlarında demir mal-

zemeler bozunurlar: Demir, su ve havadaki oksijen tarafından yükseltgenip (oksidize olup) tekrar oksiti haline dönüşür. Taşıtlarımızı çalıştıran yanma reaksiyonları, redoks reaksiyonlarına bir örnektir. Burada, hidrokarbon yakıtı oksijenle reaksiyona girip karbondioksit ve suya yükseltgenir, oksijenin kendisi ise indirgenir.

Dizüstü bilgisayarlarımıza, tabletlerimize, telefonlarımıza ve giderek artan oranda taşıtlarımıza enerji sağlayan pillerde meydana gelen reaksiyonlar da redoks reaksiyonlarıdır. Piller, taşınabilir elektrik akımı kaynakları olarak modern dünya için çok önemlidir bu nedenle onların genel işleyiş ilkesini ve redoks reaksiyonlarından nasıl yararlandıklarını anlamak için zaman ayırmaya değerdir.

Bir yükseltgenme reaksiyonunda elektron verildiğini, bir indirgenme reaksiyonunda ise elektron alındığını daha önce görmüştük. Bir pilde elektron alışverişi mekânsal olarak ayrıdır. Pilin bir bölgesinde bulunan bir elektrotta –metalik bir aracı– açığa çıkan elektronlar harici devre boyunca ilerlerler ve sonrasında pilin başka bir bölgesinde bulunan ikinci bir elektrottaki indirgenecek kimyasal türe bağlanırlar. Böylece, redoks reaksiyonu –ortaklaşa yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları– gerçekleşir ve elektronların bu şekilde bir elektrottan diğerine akışı, pile hangi elektrikli ekipman bağlanmışsa onu çalıştırmak için kullanılır. Taşıtlardaki ağır kurşun-asit akülerden dizüstü bilgisayarlar, tabletler ve telefonlardaki hafif lityum-iyon pillere kadar uzanan modern piller, bu elektron akışını ortaya çıkarmak için bir dizi redoks reaksiyonunu kullanır.

Redoks reaksiyonları, bir reaksiyon karışımına bir elektrot vasıtasıyla elektron göndererek, doğal gidişatının aksi yönünde gerçekleşmeye de zorlanabilir. Bu işleme *elektroliz* denir. Bir elektrik akımı geçirerek kimyasal reaksiyona neden olma işlemi olan elektroliz, alüminyum oksitten alüminyum (Al) elde etmenin başlıca yoludur. Özel bir çözücü içinde çözülmüş alüminyum oksit içeren bir hücreye kuvvetli bir akım gönderilir ve hücrenin içine giren elektronlar Al^{+3} iyonlarını Al atomları oluşturmaya zorlarlar. Elektroliz ayrıca, bakiyının saflaştırılması ve krom gibi metallerin diğer metallerin yüzeylerinin üzerinde biriktirilmesi için de kullanılır.

Redoks reaksiyonlarının elektron transferini asit-baz reaksiyonlarının proton transferinden ayırtan özelliklerden biri, elektronların bağ oluşumunda derinlemesine rol oynamaları nede-

niyle, bir elektronun bir molekülden diğerine göçünün beraberinde bir dizi başka atomu da sürükleyebilmesidir. Bu özelliği daha önce ona dikkat çekmeden bir miktar yanma reaksiyonlarında görmüştük. Bir hidrokarbon molekülünün yükseltgenmesi sırasında, elektronlar moleküller arasında göç ederken karbon, oksijen ve hidrojen atomları da onlarla birlikte sürüklenirler ve hidrokarbon ile oksijen molekülleri, karbondioksit ve su molekülleri şeklinde yeniden düzenlenirler. Bu fark, atom-sürükleyici redoks reaksiyonlarının karmaşık yapılar oluşturmak için kullanılabilirdiği organik kimya reaksiyonlarında büyük bir öneme sahiptir.

Redoks reaksiyonlarının biyolojide çok önemli bir yer kaplamaları, kısmen, göç eden bu elektronların beraberinde atomları sürükleme yeteneklerinden ötürüdür: Söz konusu reaksiyonlar biyosferi (onun küçük bir kısmı olan sizler de dahil olmak üzere) canlı ve enerjik tutarlar. Fotosentez, güneş ışığının yakalanıp yeşil bitkilerde karbonhidratların oluşumuna enerji sağlaması için kullanıldığı bir süreçtir. Fotosentez, zincirleme bir elektron transfer reaksiyonudur. Bu reaksiyonlar, atom-sürükleme göz önünde tutulduğunda, nişasta ve selüloz dahil karbonhidratların oluşumu için suyun hidrojen atomları ile karbondioksitin karbon atomlarının kullanılmasında kapsamlı bir etkiye sahiptir. Sindirim olarak adlandırdığımız organik korozyon biçiminde, redoks ürünü bu karbonhidratlar içerdikleri karbon ve hidrojen atomları için çözüm ve metabolizma dediğimiz ardışık redoks reaksiyonları sonucunda parçalanırlar.

Radikalik Reaksiyonlar

Üçüncü reaksiyon türü, radikaller birbirleriyle karşılaştığında gerçekleşir. Bir *radikalin* (veya “serbest radikal”)ın, tek sayıda elektrona sahip bir molekül olduğunu bilmeniz gerekir. Bağlar oluşurken elektronların birbirleriyle eşleştiklerini görmüştük. Dolayısıyla bir radikal, biri hariç tüm elektronları eşleşmiş ve atomları bu elektronlar tarafından bir arada tutulmuş bir moleküldür. Geriye eşleşmemiş tek bir elektron kalır. Bir radikal yaygın olarak $R\cdot$ veya $\cdot R$ şeklinde gösterilir. Nokta, eşleşmemiş elektronu temsil eder.

Çoğu radikal agresif bir şekilde reaktiftir ve vahşi doğada uzun süre hayatta kalmaz. Bazı durumlarda iki radikal birbiriyle çarpışa-

bilir ve eşleşmemiş elektronların eşleşip iki radikali çift sayıda elektrona sahip geleneksel bir molekül oluşturmak üzere birbirine bağlaması neticesinde kümelenebilir: $R\cdot + R\cdot \rightarrow R-R$. Bu tür bir süreç, yüksek sıcaklıkların geriliminin elektron eşleşmesiyle oluşmuş bağları koparıp molekülleri parçalamasından dolayı radikaller açısından zengin ortamlar olan alevlerin içinde meydana gelir. Aslında, bir yangın geciktirici, ısıtıldığında radikaller meydana getiren bir maddedir. Bu radikaller, $\cdot X$ şeklinde göstereyim, alevi yayan radikallere bağlanırlar ve onların kimyasal agresifliklerini bastırırlar: $R\cdot + \cdot X \rightarrow R-X$. Bu sayede alev söner.

Diğer radikaller büyük bir ticari öneme sahiptirler çünkü birçok plastik maddenin oluşumunda rol oynarlar. *Polimerizasyon* olarak adlandırılan bu sürecin ardındaki genel fikir, bir radikalin ($R\cdot$) sıradan bir moleküle (M) saldırdığında ona bağlanmasının mümkün olmasıdır. Ne var ki sonuç yine tek sayıda elektrona sahip bir $RM\cdot$ molekülüdür. Bu yüzden o da aynı zamanda bir radikaldir. Bu radikal de başka bir M molekülüne saldırabilir ve ona bağlanabilir. Sonuç hâlâ bir radikaldir: $RMM\cdot$. Diğer bir deyişle, uzun bir yılanvari $RMM \dots M\cdot$ radikalini vermek üzere bir *zincirleme reaksiyon* –belirsiz bir şekilde çoğalan bir süreçler zinciri– gerçekleşebilir veya böylesi iki radikalin çarpışıp elektron paylaşımı yoluyla birbirine bağlanması neticesinde zincir sonlanır.

Yaygın kullanıma sahip plastik politen (polietilen), polistiren ve PVC (polivinil klorür) bu şekilde üretilirler. Politen örneğinde *monomer* molekül etilendir ($H_2C=CH_2$). Polimerizasyonun ürünü, yüzlerce $-CH_2CH_2-$ biriminden oluşan uzun bir zincir, yani bir *polimerdir*. Kimyacılar, etilenin farklı versiyonlarından (X 'in bir atom grubu olabileceği $H_2C=CHX$ gibi) yola çıkıp çok çeşitli özelliklere sahip polimerler oluşturabileceklerini bulmuşlardır. X bir benzen halkası olduğunda polimerin adı polistirendir. X bir klor atomu olduğunda ise polimerin adı PVC'dir. Yapışmaz teflon elde etmek için tüm hidrojen atomları flor atomlarıyla değiştirilir. Teflonun daha resmî adının politetrafloroetilen (PTFE) olmasının sebebi budur.

Asitlerin Başka Bir Çeşidi: Lewis Asitleri

Dördüncü ve sonuncu temel reaksiyon türü ilk bakışta anlaşılabilir görünür ancak ciddi bir süreçtir. Az önce iki radi-

kalın, her birisinin bir elektron getirmesi ve bu elektronların daha sonra eşleşmesi halinde, birbiriyle bağ oluşturabildiğini görmüştük. Bu son reaksiyon türünde ise, iki molekül arasında oluşan bağın elektronlarının *tümünü* bir molekül sağlar. Diğer molekül ise her iki elektrona da yer temin eder. Bu tür bir reaksiyonu $A + :B \rightarrow A-B$ şeklinde gösterebiliriz. B sembolündeki çift nokta, A sembolüyle paylaşılacak olan elektron çiftini temsil eder. Bu tür reaksiyonlara *Lewis asit-baz reaksiyonları* denir. Söz konusu reaksiyonları ilk kez Amerikalı kimyager G.N. Lewis tanımladı ve daha sonra onlar tarafından öldürüldü (Lewis, bu reaksiyon türüne göre davranan bir zehir olan siyanür iyonlarını (CN^-) yuttuktan sonra öldü). Bu reaksiyonlar “asit-baz” reaksiyonları olarak adlandırılırlar çünkü daha önce tartıştığım (bir protonun bir asitten bir baza geçtiği) söz konusu reaksiyonlarla belirgin benzerlikler gösterirler. Doğrusu, Lewis reaksiyonları asit ve baz kavramlarının bir başka genellemesi olarak görülebilirler ancak sizi o güzergâhın büyüleyici manzarasından aşağı indirmeyeceğim.

Lewis asit-baz reaksiyonlarının rollerinden biri, dünyaya renk vermektir. Bu açıklama bana, genellikle parlak renkli olan ve ileride Lewis yolu olarak tanımlayacağım şekilde oluşan *geçiş metali komplekslerini* sizlere tanıtmaya fırsatını veriyor. Kanınızdaki hemoglobin bir örnektir.

Bir geçiş metali, Periyodik Tablonun sıska orta kısmında yer alan elementlerden biridir. Geçiş metalleri demir (Fe), krom (Cr, bu isim gelecekteki rengi öngörür çünkü *chroma* Yunanca “renk” anlamına gelir), kobalt (Co) ve nikel (Ni) gibi elementleri içerir. Bu elementlerin oluşturduğu Fe^{+2} ve Co^{+3} gibi iyonlar, genellikle H_2O , NH_3 ve CN^- gibi bağımsız bir mevcudiyete sahip altı küçük molekül ve iyonla çevrelenmiş ve onlara bağlanmış şekilde bulunurlar. Bu kimyasal türlere *ligand* denir ve toplam yapı *kompleks* olarak adlandırılır.

Bir kompleks, her bir ligand tarafından sağlanan bir elektron çiftinin paylaşılmasıyla oluşan bağlar sayesinde bir arada tutulur. Dolayısıyla metal iyonu Lewis asidi (A) olarak, her bir ligand ise Lewis bazı (:B) olarak davranmaktadır.

Geçiş metali iyonları su içinde Lewis bazları olarak davranan altı su molekülü tarafından genellikle çevrelenir. Çözeltiye başka bir Lewis bazı eklendiğinde, bu baz bir veya daha fazla su mole-

külünü kompleksten çıkarabilir ve onların yerlerini alabilir. Meydana gelen kompleksin elektron yapısı başlangıçtaki kompleksin yapısından oldukça farklı olabilir ve bunun sonucunda ortaya parlak bir renk çıkabilir. Birçok pigment ve boya bu şekilde oluşan komplekslerdir.

Soluma bir Lewis asit-baz reaksiyonudur. Kanımızdaki oksijen taşıyıcısı, yapısında dört demir iyonu bulunduran büyük bir protein molekülü olan hemoglobindir. Bu iyonların her biri, protein iskeletindeki dört azot atomu tarafından tutulur. Bu atomlar bir karenin köşelerinde yer alıp demir iyonunu çevreler. Demir ile azot atomları arasındaki bağlar; Fe^{2+} 'nin asit, her bir :N atomunun da baz olduğu Lewis asit-baz etkileşimlerinin sonucudur. Soluk aldığınız vakit, halihazırdaki Lewis yapımı bu birim, başka bir Lewis asit-baz reaksiyonunda rol alır. Bu reaksiyon, Lewis bazı olarak davranan bir oksijen molekülünün hemoglobin molekülündeki bir Fe^{2+} iyonu ile bağ oluşturmak üzere bir elektron çiftini kullandığında gerçekleşir. Kıymetli oksijen yakalanır yakalanmaz, vücudumuzun derinliklerindeki diğer reaksiyonlarda rol almak için kan dolaşımıyla taşınır.

Karbonmonoksit zehirlenmesi sonucunda boğulma, bir başka Lewis asit-baz reaksiyonudur. Bu örnekte, karbonmonoksit molekülü, CO, oksijenin yerini gasp edebilir ve hemoglobindeki Fe^{2+} iyonlarına Lewis benzeri bağlanabilir. Bu bağ, oksijenin oluşturabileceği bağdan daha güçlüdür. Dolayısıyla gaspçı molekül oksijenin bağlanmasını bloke eder ve ihtiyaç duyulan yere hiçbir oksijen transferi olmaz ve böylece kurban boğulur. Bu, yalnızca bir solunum yolu tıkanması değil, aynı zamanda moleküler seviyede boğulmadır. Daha önce bahsettiğim siyanür iyonunun (CN^-) zehirlenme etkisi de benzerdir. Ancak siyanür iyonu solunum sürecinin sonraki aşamalarında gerçekleşen ardışık elektron transfer reaksiyonlarını engeller.

Organik Kimyanın İnceliği

Bu temel reaksiyon türlerini kullanmak söz konusu olduğunda, organik kimyacılar birer sihirbaz veya generaldirler. Böyle olmaları gerekir çünkü inşa etmek istedikleri moleküller çoğu zaman atomların kırılğan ağ örgüleridir ve tek bir atomun yerinden çıkması molekülün farmasötik olarak inaktif hale gelmesine

veya aylar süren araştırmaların geri kalmasına neden olur. Kimyacılar organik kimyanın onlarca yıllık gelişimi boyunca, ihtiyaçlarına uygun dizilişler için atomların nasıl ikna edileceğini öğrenecek kadar çok deneyim biriktirmişlerdir. Bu bazen, içlerinden birinin zor elde edilmiş bir bileşiği kimyacının molozu olan siyah, işe yaramaz katrana indirgeme ihtimali olan onlarca basamağa sahip ardışık reaksiyonlar yoluyla olmuştur. Yöntemler genellikle onları geliştirmiş kimyacıların isimleriyle anılırlar. Bilgisayar yazılımı, bir inşaat projesinin iş akışını oluşturmada kullanılması gibi, stratejilerin tasarlanmasında kimyacılar yardımcı olmaktadır.

İnşaat projesi metaforu daha da ileri götürülebilir. Projenin kısmen tamamlanmış bir bileşeninin etrafındaki inşaat devam ederken korunmasının gerekmesi gibi, kısmen inşa edilmiş bir molekül de, koruma olmadığı takdirde reaksiyon merkezleri haline gelecek ve istenmeyen ürünlere yol açacak hassas bölgelere sahip olabilir. Bu yüzden kimyacılar bazen komşu bir bölgeyi saldırıdan korumak veya onun bağlı olduğu atomu gizlemek için molekülün bir bölgesine küçük bir atom grubu ekleyebilirler. Bir binanın koruyucu örtüsünde olduğu gibi, bu koruyucu grup daha sonra yapıdan çıkarılabilir.

Organik kimyacıların, muhtemelen bir ilaç, boya veya yapay tatlandırıcı olarak test edilmek üzere bir molekül inşa etme işine nasıl başladıklarına ilişkin sadece iki örnek vereceğim. Bunların ikisi de, bir atom veya atom grubunun, bir molekülde halihazırda var olan atom veya atom grubuyla yer değiştirildiği bir yer *değiştirme reaksiyonu* örneğidir. Her bir durumda, hedef atom, gelen reaktant tarafından molekülün nispeten ince veya yoğun elektron bulutuna sahip bir bölgesi olarak tespit edilir. Eğer bulut inceyse pozitif yüklü çekirdekler parlarlar ve negatif yüklü bir reaktant molekülü güdümlü bir füze gibi bu buluta yönelir. Çekirdek yükü saptayan bu tür reaksiyonlara *nükleofilik yer değiştirme* denir. Eğer bunun aksine bulut yoğunsa, o durumda elektronların negatif yükleri çekirdeklerin pozitif yüklerine ağır basacak ve pozitif yüklü gelen bir füze bölgeye yönelir. Elektron bakımından zengin bölge arayışındaki bu tür reaksiyonlara *elektrofilik yer değiştirme* denir.

Bir kimyacı bir molekülün inşasını planlarken, elektron bulutlarının molekül içindeki dağılma şeklini düşünmeli ve sonrasında reaktant molekülünü buna göre seçmelidir. Kimyacılar yöntem konusunda oldukça yaratıcı olabilirler çünkü elektronları bir bölgeden çeken veya alternatif olarak onları bu bölgeye doğru iten atom gruplarını bağlamak mümkündür. Bir kimyacı elektron bulutunu bu şekilde değiştirerek, reaktant bir molekülün doğru atoma yöneleceğinden ve orada bir bağ oluşturabileceğinden oldukça emin olabilir.

Gelinen noktada, kimyacıların evrenin başka hiçbir yerinde bulunmayabilecek madde biçimlerini yaratma görevine girerken sahip oldukları inceliğin farkına varmaya başladığınızı umuyorum. Bu zorunlu kısa anlatımdan, kimyacıların reaksiyonlarını nasıl keşfettiklerine ilişkin ayrıntıları anlamak mümkün olmayacaktır. Yine de, kimyacıların faaliyetlerinin ardındaki nezaketi fark edeceğinizi umuyorum.

5. BÖLÜM

Kimyanın Teknikleri

Herhangi bir modern kimya laboratuvarına gidin. Onun bir melez olduğunu keşfedeceksiniz. Bir simyacı böyle bir laboratuvarı görseydi, malzemelerin sadece bazılarını tanır, gerisine ise tamamen yabancı kalırdı. Sıvı muhafaza etmeleri için kullanılan kapların çok sayıda şekli vardır. Bunların çoğu bariz olarak geçmişten mirastır. Ancak, modern *analiz* –kelimenin tam anlamıyla maddelerin parçalanması, modern uygulamada ise maddelerin tanınması ve miktar ile konsantrasyonlarının tayini– gelişmiş elektronik ve çoğu zaman otomatikleştirilmiş ekipmandan yararlanır. Analiz, bir laboratuvardaki tek uğraş değildir. Onun tam tersi olan *sentez* –kelimenin tam anlamıyla bir araya getirmek ama uygulamada arzu edilen madde biçimlerinin daha basit bileşenlerden yaratılması– bir kimyacının çalışmasının önemli bir bileşenidir.

Klasik Laboratuvar Malzemeleri

Beherlerin, balonların ve deney tüplerinin üzerinde durmaya-çağım. Çünkü bunların sıvı muhafaza etmek ve karıştırmak şeklindeki kullanımları barizdir. Bununla birlikte bazı malzemeler, bilinen miktarlardaki sıvıları, bir mutfakta olduğu gibi hassas bir tarif doğrultusunda veya nicel bir ölçüm yönteminin bir parçası olarak aktarmak üzere tasarlanmışlardır. Bunun bir örneği, pipet (küçük boru) ile büretin (küçük vazo veya sürahi anlamına gelen Fransızca kelimeden türetilmiş bir sözcüktür ama gerçekte ne vazoya ne de sürahiye benzer), klasik kimya yöntemlerinden birindeki kullanımıdır. Söz konusu yöntem, bir asidin bir bazla, ikisinden birinin konsantrasyonunu belirlemek üzere titrasyondur (Neden “titrasyon”? *Titre* kelimesi Fransızcada deney veya test demektir). Pipet, baz çözeltisinin belirli bir miktarını bir erle-

ne aktarmak için kullanılır. Büret ise, bir renk değişimi veya bir dedektörden gelen bir elektronik sinyal bazın tamamen nötralleştirildiğini işaret edene kadar çözeltiye asit damlatılması için kullanılır. Dereceli büretten eklenen konsantrasyonu belli asidin hacmi not edilerek, bazın konsantrasyonu tayin edilebilir.

Bir diğer malzeme sınıfı ise bir ürünü saflaştırmak veya izole etmek amacıyla maddeleri ayırmada kullanılır. Tekniklerden biri basit olup, iki çözelti karıştırıldığında ürün çökmüş bir katı olduğunda kullanılır. Bu tekniğe “filtrasyon” denir: Elde edilen çözelti ince gözenekli bir filtreden geçirilir. Diğerisi ise, çoğunlukla sıvıların ayrılması gerektiğinde kullanılan “distilasyon” tekniğidir: Sıvı karışımın kaynatılması ve buharın yoğunlaştırılması. İlk karışımın daha uçucu bileşeni kaynar. Sonrasında bu bileşen toplanabilir veya atılabilir.

Kromatografi, oldukça gelişmiş bir ayırma tekniğidir. Bu teknik, muhtemelen çiçekli bir bitkiden alınmış bir çözelti damlasının emici kâğıt boyunca yayılıp farklı renklerde bantlar oluşması ve bu bantların sonrasında ya tanımlanması ya da toplanmasıyla doğmuştur. Kromatografi tekniğinin ismi bu işlemden gelmektedir. İsim hayatta kalsa da, söz konusu teknik bugün oldukça genişlemiş durumdadır. Günümüzdeki tipik bir kromatografi yönteminde, analiz edilecek numune iç kısmı emici bir katıyla kaplanmış olan metrelerce uzunluktaki dar bir kolondan geçirilir.* Karışımın bileşenleri kolon dolgu maddesinin yüzeyine farklı düzeylerde tutunurlar (teknik terimi; “adsorbe edilirler”). Bileşenlerin her biri kolonu terk etmeyi başarsa da bunu farklı zamanlarda gerçekleştirir ve böylece ayrı ayrı toplanıp diğer yöntemlerle tanımlanabilir. Bu teknik, bir meyvenin tadına katkıda bulunan pek çok bileşiği ayırmak ve daha özelleşmiş bir biçimde, örneğin güvenlik kuruluşlarında, patlayıcıların yapısını aydınlatmak için kullanılır.

* Yazarın sunduğu örnek, gaz-katı kromatografisi adı verilen spesifik bir kromatografi tekniğine aittir. Bahsedilen kolon tipi buna işaret etmektedir. Çünkü dolgu ve uzun kolonlar bu teknikte kullanılmaktadır. En yaygın kromatografi cihazlarından biri olan yüksek basınçlı sıvı kromatografisinde (HPLC), kolon boyutları 2-25 cm arasındadır. Okuyucunun bilmesi gereken bir başka nokta da, kromatografi cihazlarında kullanılan sabit fazların tümünün katı olmadığıdır. Gaz-sıvı kromatografisi bunun bir örneğidir. -ç.n.

Spektroskopi

Yukarıda bahsi geçen laboratuvarında simyacı için çok daha ilginç ve şaşırtıcı olan şey, sadece ekranlarını ve kadrانlarını gösterip kullanım amacını doğrudan ilan etmeyen elektronik ekipman olurdu. Bu yöntemlerin çoğu *spektroskopi* çeşitleridir. Terim Latince *spectrum* (veya görüntü) kelimesi ve görüntüye bakma işleminden türetilmiştir. Ancak “bakma” artık görsel teftiştan çok daha gelişmiştir ve “görüntü” de günlük anlamından çok uzaklaşmıştır.

Atomik spektroskopiyle başlayacağım. Bir element buharlaştırıldığında ve ısıtıldığında, bir atomun elektronlarından biri veya daha fazlası temel dağılımından koparılabilir ve tekrar temel bulutuna geri dönmeden önce kısa bir süre atomun üzerinde asılı kalabilir. Bu geri dönüş, atomu çevreleyen boşluk olarak düşündüğümüz şeye bir itki verir ve bu itki bir elektromanyetik ışıma pulsı, bir *foton* oluşturur. Fotonun rengi geri dönüş sırasında açığa çıkan enerjiye bağlıdır; yüksek enerjili geri dönüş bir ultraviyole (morötesi) ışıma pulsuna, düşük enerji pulsı ise görünür ışığa yol açar. Atomların elektronları elementin karakteristiğı olan çeşitli enerji hallerinde bulunabilirler ve uyarıldıkları halden temel hale geri dönerlerken karşılık gelen renklerin fotonlarını oluştururlar. Hepimiz sarı sokak ışığına ve kırmızı neon tabelalara aşinayız. İlkini sebebi temel haline geri dönerken foton üreten sodyum atomları, ikincisinin sebebi ise temel durumuna geri dönen bir neon atomunun elektronudur. Renklerin deseni not edilip “spektrum kaydedilerek”, elementler saptanabilir.

Moleküllerin elektronları da neredeyse aynı şekilde davranırlar ancak bunların olası enerjilerinin izlenmesi biraz farklı bir şekilde gerçekleştirilir. Biraz önce anlattığım atomik spektroskopi elektromanyetik ışımanın emisyonundan (yayımından) yararlanırken, moleküler spektroskopi ise tam tersine elektromanyetik ışımanın absorpsiyonundan (soğurulmasından) faydalanır. Bir numuneden geçirilen elektromanyetik ışıma bir foton seli olarak düşünülebilir. Bu fotonlardan biri çarpıştığı bir molekülü daha yüksek bir enerji seviyesine uyarabilecek enerjiye sahipse, söz konusu foton bu molekül tarafından soğurulur. Böylesi fotonların “absorpsiyon” yoluyla gelen foton selinden çıkarılması, bir dedektör tarafından kaydedilecek olan ışın demetinin yoğunluğu-

nu azaltacaktır. Bütün absorpsiyon spektrumunu kaydetmek için, gelen ışımanın rengi sistematik olarak değiştirilir ve örnekten geçişi sürdürmeyi başaran yoğunluk izlenir. Moleküller karakteristik enerji seviyelerine sahip olduklarından absorpsiyon spektrumları benzersizdir. Dolayısıyla bu spektrumlar moleküllerin kimliklerine ilişkin iyi bir gösterge olabilirler.

Şimdiye kadar, fotonların soğurulması yoluyla bir moleküldeki elektronların temel halden uyarılmış hale geçmelerine odaklandım. Bu geçiş çok büyük enerji gerektirir ve birçok molekül görünür ışığı soğursa da, ki bu yüzden dünya çok renklidir, tarif ettiğim spektrumlar genellikle ultraviyole ışıma kullanılarak gözlemlenir. Bu nedenle, söz konusu teknik “UV-görünür bölge spektroskopisi” olarak bilinir. Yakın ilişkili bir teknik (infrared spektroskopisi), görünür bölge ve ultraviyole fotonlarından çok daha düşük enerjiye sahip olan infrared (kızılaltı) ışımanın fotonlarını kullanır. Bu fotonlar moleküllerin elektron dağılımlarını değil ama titreşimlerini uyarabilirler. Dolayısıyla “IR spektrumları” da titreşimlerin uyarılabileceğini gösterirler. Bu teknik karmaşık bir molekülde bulunan atom gruplarını analiz etmek için çok faydalıdır çünkü örneğin bir CH_3 grubu belirli bir enerjiyle, bir CO grubu ise farklı bir enerjiyle sallanabilir.

Nükleer Manyetik Rezonans

“Nükleer manyetik rezonans” (NMR), belki de en önemli analitik spektroskopik tekniktir. Nerede olursa olsun, “nükleer” kelimesi bir tehlike işaretidir. Bu yüzden bizzat NMR’dan türetilmiş tıbbi bir araştırma tekniği olan “manyetik rezonans görüntüleme”den (MRI) “nükleer” kelimesi çıkarılmıştır. Bir bütün olarak kimyacılar genellikle halktan daha az hassastırlar ve bu kullanımın radyoaktivite tehlikeleriyle hiçbir ilgisi olmadığını bilerek “nükleer” sözcüğünü muhafaza ederler.

Nükleer manyetik rezonanstaki “nükleer” kelimesi herhangi bir atom çekirdeğini ifade eder ama ben onun en yaygın hedefine, yani protona (bir hidrojen atomunun çekirdeği) odaklanacağım. Bir proton Dünya gibi kendi eksenini etrafında döner (spin hareketi yapar) ve bu dönen yük küçük bir çubuk mıknatıs gibi davranır. Bu proton ya saat yönünde ya da onun tersi yönünde dönebilir ve

ilgili küçük çubuk mıknatısın Kuzey kutbu dönüş yönüne göre ya yukarıya ya da aşağıya doğrudur. Dönen proton manyetik bir alan (pratikte, süperiletken bir bobin içinden akım geçirilmesiyle üretilen yoğun bir manyetik alan) içinde olduğunda, iki yönelimin farklı enerjileri vardır ve uygun frekansa sahip bir gelen foton, yukarı yönlü (düşük enerjili) protonu aşağı yönlü (yüksek enerjili) protona çevirebilir. Foton frekansının aradaki enerji farkıyla eşitlenmesi, NMR'daki "rezonans" kelimesinin karşılığıdır. Bir radyoyu uzak bir vericinin frekansına ayarladığımızda da aynı şeyi yaparız. Bu olay gerçekleştiği zaman gelen foton akışı zayıflar ve yoğunlukta azalma tespit edilir. Enerji farkı çok büyük değildir ve bir radyofrekans ışımmasının fotonları –bir FM radyo sinyalinin yüksek frekans aralığının hemen ötesi (100 MHz veya daha yüksek) – kullanılır.

Bir protonu bir yönelimden diğerine çevirmek oldukça anlamsız bir faaliyet gibi görünebilir. Tekniğin hiç göz ardı edilmemesi gereken gücü şuradan kaynaklanır: Rezonansın olduğu doğru frekans, protonun –spesifik olarak hidrojen atomu çekirdeğinin– moleküldeki yerine bağlıdır. Karbon atomlarına komşu olan hidrojen atomu çekirdekleri, oksijen veya azot atomlarına komşu olanlardan farklı frekanslarda rezonansa girerler ve böylece rezonans absorpsiyonlarının spektrumu, "NMR spektrumu", molekül içindeki tüm hidrojen atomlarının komşularını resmeder.

Hepsi bu da değil. Aynı moleküldeki hidrojen atomlarının kalbinde bulunan küçük çubuk mıknatıslar birbiriyle etkileşirler ve birbirlerinin enerjilerini değiştirirler. Bu değişiklik rezonans frekanslarını etkiler ve bir molekülü tanımlamaya çalışırken büyük bir yardımcı olan karakteristik absorpsiyon desenlerine yol açar.

Bir karbon çekirdeği kendi etrafında dönmez ve bu yüzden bir çubuk mıknatıs gibi davranmayıp NMR'da görünmez. Bu bir nimettir çünkü aksi takdirde oldukça basit bir organik molekül bile inanılmaz karmaşık bir NMR spektrumu verirdi. Buna karşın olağan karbon-12 atomlarının, çekirdeğinde fazladan bir nötrona sahip olan ve manyetik özellik gösteren karbon-13 izotopuyla yer değiştirmesi sağlanabilir ve böylece karbon atomları dikkatlice açığa çıkarılabilir. Dolayısıyla karbon-12 ile karbon-13 izotoplarını ihtiyatlı bir şekilde yer değiştirmek, karbon atomlarının da

yerlerini haritalamak için kullanılabilir ve böylece molekülün kimliği ve yapısı kesin olarak saptanabilir.

Kütle Spektrometresi

Absorpsiyon veya emisyonla faydalanmayıp bir molekülün kimliğine ilişkin tamamen farklı bir içgörü kazandıran, diğerlerinden tümüyle farklı bir spektrometre çeşidi daha vardır. Bir “kütle spektrometresi”nde bir molekül önce parçalara ayrılıp (fragmantasyon) ortaya çıkan fragmanların kütleleri ölçülür. Sonrasında ise fragmanların kütlelerinden molekülün bileşimi aydınlatılır.

Moleküler parçalanma, moleküle çarpıp onu bir arada tutan elektron bulutlarını değiştiren ve elektriksel olarak yüklü bir dizi fragmana yol açan elektron bombardımanı ile gerçekleştirilir. Bu yüklü fragmanlar bir elektrik alanı vasıtasıyla hızlandırılıp kuvvetli bir mıknatısın kutupları arasından geçerler ve bunun sonucunda kütlelerine ve manyetik alanın kuvvetine bağlı olarak değişik düzeylerde yollarından saparlar. Sadece belirli bir kütledeki fragmanlar dedektöre ulaşırlar ve bir sinyal oluştururlar. Manyetik alan değiştirildikçe farklı kütlelerdeki fragmanlar da dedektörün görüş alanına girerler. Elde edilen spektrum, ki artık yığınla fragmanın “kütle spektrumu” haline gelmiştir, ana molekülün yapısını aydınlatmak için yorumlanır. Tıpkı kırık bir vazonun parçaları üzerinden yeniden bir araya getirilebilmesi gibi.

X-Işını Kırınımı (Difraksiyonu)

Biyolojide yapı, işlev açısından kritik öneme sahiptir. Yapı kimyada ise hemen hemen her şeydir. Özellikle de, kimya ile biyolojinin birleştiği ve kimyacıların enzim olarak bildiğimiz büyük protein moleküllerinin etkisinin araştırılmasına ve açığa çıkarılmasına katkıda bulunduğu alan açısından. Enzimler yaşamın tüm yönlerini oluşturan kimyasal reaksiyonları düzenlemede devasa öneme sahip olsalar da, organizmaların (insanlar dahil) kritik önemdeki tek bileşenleri değildirler. Kalıtım DNA tarafından, iskelet sert proteinler ve kemik tarafından, algı ve düşünce ise mesajları saptayan ve ileten moleküller tarafından sağlanır. Bir organizmanın tüm vücut mekanizması, düzenleyici moleküller tarafından ayarlanır.

“X-ışını kırınımı” veya her zaman ilgili maddenin kristallerine uygulandığı için “X-ışını kristalografis”, yapıyı keşfetmek için en güçlü araçlardan biridir. Teknik, Nobel ödülleriyle fışkırdığı bir çeşme olmuştur. Wilhelm Röntgen’in 1901 yılındaki X-ışınları keşfiyle (ilk Nobel fizik ödülü) başlayan silsilesi, 1915’de William Bragg ve oğlu Laurence Bragg, 1936’da Peter Debye, 1962’de Maurice Wilkins (Rosalind Franklin değil) ve 1964’te Dorothy Hodgkin’le devam etmiştir. Wilkins, James Watson ve Francis Crick’in DNA’nın çift sarmal yapısını formüle etmelerini sağlayan temeli sunmuştur. DNA’nın yapısının aydınlatılmasının, kalıtımın anlaşılmasından hastalıklarla mücadele etmeye ve suçluları yakalamaya kadar uzanan büyük etkileri olmuştur. Wilkins, Nobel ödülünü Watson ve Crick’le paylaşmıştır. Biyolojiyi kimyayla harmanlamaktan sorumlu olan bir teknik varsa, o da X-ışını kırınımı tekniğidir. Bu listenin bir başka çarpıcı özelliği de, üç bilimsel kategoride de ödül verilmiş olmasıdır: Kimya, fizik, fizyoloji ve tıp. Söz konusu tekniğin kapsamı ve beraberinde getirdiği aydınlanma böyle bir şeydir.

Tekniğin temelini anlamak için X ışınlarının, ışık gibi çok kısa dalga boylu ama ondan bin kat daha kısa –yaklaşık 100 pm (pikometre), neredeyse bir atomun çapı kadar– olan elektromanyetik ışıma ışınları olduğunu bilmek çok önemlidir. İkinci önemli bilgi parçası, tüm dalgalar gibi X-ışınlarının da birbiriyle girişimde bulunmasıdır: Tepelerin çakıştığı yerde dalgalar daha parlaktırlar, tepelerle çukurların çakıştığı yerde dalgalar sönüktürler. Bir nesne X-ışınları demetinin yolu üzerine konulduğunda, üzerine gelen ışınları saçar. Bir molekülün farklı bölümleri tarafından saçılım, dedektöre farklı yollar üzerinden gidecek ve dolayısıyla birbiriyle çeşitli şekillerde girişimde bulunabilecek ışınlara neden olur. Işın demetinin yolu üzerindeki bir nesnenin yol açtığı bu girişim, tekniğin isminin “kırınım” kısmıdır.

Bir X-ışını kırınımı tayininde, X-ışınları demetinin yolu üzerinde bulunan çok az miktardaki bir kristal numune döndürülür ve bir dedektörün de numunenin değişik konumlarının etrafındaki alan boyunca dolaştırılıp yapıcı girişimlerin parıltılarını algılaması sağlanır. Örnekteki atomların dizilişini belirlemek için, çok sayıda gözlemden çıkarılmış bir matematiksel hüner kullanılabilir. Teknik, verilerin toplanmasını ve yorumlanmasını kontrol

eden entegre bir bilgisayarla artık kapsamlı bir şekilde otomatik hale getirilmiştir.

Tayinin en zor kısmı, teknik için elzem olan kristal numunenin hazırlanmasıdır. Özellikle de tekniğin ana hedeflerinden biri olan büyük moleküller için. Bununla birlikte eğer sadece bir maddenin, örneğin bir mineralin tanımlanması gerekiyorsa, o zaman numunenin bir plaka üzerine yayılmış bir toz olduğu daha basit bir tekniğin kullanılması mümkündür. Bir X-ışınları demeti tozun üzerine düşürüldüğünde, sonuç olarak ortaya çıkan “toz kırınım deseni” maddenin karakteristiğidir ve bu madde bir desen kataloğuna başvurarak tanımlanabilir.

Neden X-ışınları? Kırınım desenleri, ışımının dalga boyu ona neden olan yapıların ölçeğiyle kıyaslanabilir büyüklükte olduğunda elde edilirler. Bizim örneğimizde kırınımına yol açan atomlardır. X-ışını dalga boyları, moleküllerdeki atomlar arası mesafelerle kıyaslanabilir büyüklükte dirler ve bu nedenle amaç için idealdirler.

Yüzeyleri Resmetme

Katıların iç kısmı büyüleyici bir yerdir ancak aksiyon genellikle yüzeyde gerçekleşir. Örneğin katalizde, reaksiyonların değişmeden kalan bir madde tarafından hızlandırılmaları çoğu zaman reaktantların bir katı yüzeye (bazen parçalanarak) tutunmasını içeren bir mekanizma vasıtasıyla meydana gelir. Reaktantların burada diğer reaktantlarla reaksiyon için hazır hale gelmeleri sağlanır. Kimya endüstrisi varlığını katalizörlere borçludur. Bu yüzden yüzeylerdeki olayların incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bir katının dış görünüşü olmalarına rağmen, sahneye etkileyici bir yeni tekniğin çıktığı birkaç yıl öncesine kadar yüzeyler üzerinde çalışmak zordu. Bu teknik o kadar hassastır ki, yüzeydeki münferit atomları ve bu yüzeye yapışmış molekülleri resmedebilir. Bu iki şekilde gerçekleşir: “Taramalı tünelleme mikroskopisi” (TTM) ve “atomik kuvvet mikroskopisi” (AKM).

TTM ilk bakışta pek olası bir şeymiş gibi görünmeyebilir. Önce çok küçük bir nokta oluşturmak üzere bir iğne incelenen yüzeye yaklaştırılır. Daha sonra bu iğne yüzey boyunca ardışık diziler halinde hareket ettirilir (taranır). İğne ucu ile yüzey arasındaki elektrik akımı akışı bir ekranda izlenir ve haritalanır:

Yüzeyden dışarı uzanan atomlar gezici iğne ucuna yakın konumdadırlar ve bu nedenle akımda bir yükselmeye neden olurlar. Bu yükselme ekranda bir pik olarak görüntülenir. Yöntemin başarısı, “tünelleme” denilen bir kuantum mekaniği etkisine –elektronların yasak bölgeleri delip geçebilmesine– dayanır. Tekniğin ismindeki “tünelleme” kelimesi buradan gelir. Bu örnekteki yasak bölge yüzey ile iğne arasındaki mesafedir. Tünelleme, mesafenin genişliğine çok duyarlıdır. Yüzey boyunca tarama bu nedenle yüzeydeki atom boyutunda değişiklikleri yakalayabilir ve aynı zamanda yüzeye yapışmış moleküllerin şekillerini görüntüleyip oldukça detaylı bir şekilde resmedebilir.

Atomların görülemeyecek kadar küçük oldukları yaygın bir şekilde iddia edilmektedir. Ne var ki eğer “görme” imgelememizi tünelleme akımındaki değişikliğin grafiksel gösterimine doğru genişletirsek, TTM o zaman bu iddiayı reddeder ve bize münferit atomlarla moleküllerin olağanüstü derecede etkileyici görüntülerini sunar. Temiz yüzeyler bile etkileyicidirler zira Mars benzeri dağlara, atomların yüksekçe kümелendikleri uçurumlara ve kayboldukları derin boğazlara sahiptirler. Yüzeyler artık detaylı, doğrudan incelemeye açıktırlar.

Atomik kuvvet mikroskopisi yüzeylere doğrudan etki eder. Pasif olarak gözlemlemek yerine, bu teknikteki iğne ucu atomları bir yerden bir yere doğru iteleyip yüzey üzerinde dolaştırmak için kullanılır. Yüzey üzerinde bir C_{60} (“buckyball”) hareket ettirerek “nanofutbol” oynamak gibi eğlenceler dışında, teknik sayesinde münferit atomların dizilişi üzerinde çok büyük bir kontrol sağlanabilir. Eğer iğne ucu belli türdeki moleküllerle kaplanırsa, o durumda bu uç hareket ettirilerek yüzeyler üzerinde desenler çizilebilir ve nano ölçekli yapılar inşa edilebilir (bkz. 7. Bölüm).

Hesaplamalı Kimya

Bilgisayar geçtiğimiz on yıllar içinde hayatı genel itibarıyla dönüştürmesi gibi kimyayı da dönüştürmüştür. En ilkel olanlar hariç hemen hemen tüm laboratuvar yöntemleri bilgisayarlar

* İlk keşfedilen fulleren çeşididir. “Buckminster fulleren” olarak da bilinir. 60 karbondan oluşan bir karbon allotropu olup, kapalı kafes yapısı futbol topuna benzer. –ç.n.

tarafından kontrol edilmektedir. Biraz önce gördüğümüz üzere, bilgisayarlar X-ışını kristalografisinin asli bir unsuru olup, kırınım desenlerinin yorumlanmasında elzemdir. Bilgisayarlar ayrıca, spektrum gözlemlemek için özel tekniklerin kullanıldığı ve esas spektrumunu çıkarmak için kapsamlı matematiksel işleme ihtiyaç duyulduğu modern NMR için de çok önemlidir. Bununla birlikte bilgisayarların kendi başlarına hareket ettikleri bir uygulama da vardır: Moleküler yapıların bilgisayarlı hesaplaması ve grafiksel gösterimi. Bu, “hesaplamalı kimya”nın alanıdır.

Hesaplamalı donanım pek çok analizin artık bir tablet veya hatta bir akıllı telefon üzerinden gerçekleştirilebilmesini sağlayacak kadar ilerlemesine rağmen, kimyacılar, hava tahmincileri ve şifre kırıcılarla birlikte güçlü bilgisayarlara en çok rağbet gösteren kullanıcılar arasındadırlar. Hesaplamalı kimyanın bir kanadı, moleküllerdeki elektron bulutlarının dağılımının kuantum mekaniksel açıklamasına kadar geri gider ve bu dağılımları hesaplamayı amaçlar. Bu tür hesaplamalar çok sayıda sayısal işlem ve çeşitli kestirimler içerir. Her ne kadar çıktı özünde elektron bulutunun molekül boyunca yoğunluğuna ilişkin bir sayı listesinden ibaret olsa da, bu sayılar söz konusu bulutun grafiksel gösterimleri sayesinde anlam kazanıp işlenebilir hale getirilirler. Bu gösterimler kimyacıların molekülün muhtemel davranışını belirleyebilmesini sağlarlar. Yoğun ve seyrek elektron bulut bölgelerini resmetme kabiliyetinin büyük bir yardım sunduğu çok önemli bir uygulama da, bir molekülün farmasötik aktivitesinin saptanması ve farmakolojik olarak aktif olması muhtemel bileşiklerin hayvanlarda *in vivo* test edilmeden önceki ilk izlemi konusundadır.

Hesaplamalı kimyanın ikinci ve güncelle yakından ilişkili kanadı, bir proteinin aktif şekline nasıl katlandığıyla ilgilidir. Bir protein molekülü kimyasal olarak bağlanmış moleküllerin (aminoasitlerin) uzun bir zincirinden ibarettir ancak helezonlar ve tabakalar şeklinde katlanır. Bu helezon ve tabakalar ise proteinin işlevi için elzem olan makul ölçüde sert bir yapıya katlanırlar. Her ne kadar aynı molekülün farklı bölümleri arasında rol oynayan kuvvetler iyi bilinse de tüm bu farklı kuvvetlerin zinciri nihai şekline bükmeyi nasıl başardığını anlamak hâlâ zor bir problemdir. Doğa bunu yapıyor ancak henüz nasıl yaptığını anlayamıyoruz. Problemi çözmenin bir parçası olarak; bilgisayarlar, doğanın

bunu tasarlamaksızın nasıl gerçekleştirdiğini anlamak amacıyla, moleküler zincirdeki bağları nihai şekillerine kıvrılır ve bükülürken izlemek için kullanılmaktadırlar.

Bilgisayarlardan küçük moleküllerin davranışlarını incelemek için de faydalanılmaktadır. Kimyasal bir reaksiyonun en samimi anlarında neler yaşandığını; moleküllerin çarpışmasının, eski bağların zayıflamasının ve yeni bağların oluşmasının ne zaman gerçekleştiğini izlemek için bir molekül diğerine doğru hızla fırlatılmaktadır (yazılımın hayalinde).

Sentez Konusundaki Modern Yaklaşımlar

Şimdi dikkatinizi incelemeden senteze ve sentezin şu anda moda olan özel bir versiyonuna çevirmek istiyorum, ki kimyacılar burada yaptıkları şeyin ne olduğu hakkında her zaman bir fikre sahip değiller. “Kombinasyonel kimya”dan bahsediyorum.

Bileşik yapımına yönelik geleneksel yöntem, akılda net bir hedefe sahip olup bir seferde tek bir bileşik üzerinde çalışmaktır. Kombinasyonel kimyada aynı anda yüzlerce, hatta binlerce bileşik meydana getirilir ve sonrasında bu bileşikler —bazen benzer sürüler halinde— uygun davranış için incelenirler. Umut veren adaylar belirgin hale geldiğinde, sadece bu adaylar analiz edilirler, kimlikleri belirlenip ve ileriki işlemler için temel olarak kullanılırlar.

Söz konusu yöntem, peptitler olarak bilinen protein benzeri moleküllerin kısa şeritlerinin senteziyle ortaya çıktı. Bunun nasıl yapıldığını göstermek için onları kullanacağım. Aynı strateji bir dizi başka bileşik için de geliştirilmiştir ve “ilaç keşfi”nin (farmasötik olarak aktif bileşiklerin formüle edilmesi süreci) verimliliğinin artmasına önemli bir destek sunmuştur.

Varsayalım ki, elimizde A, B ve C olmak üzere üç aminoasit olsun. 1. aşamada içinde A olan bir kap hazırlarız. Bir sonraki adımda AA, AB ve AC bileşikleriyle sonuçlanacak şekilde üç asidin hepsinin dahil olduğu bir reaksiyon gerçekleştiririz. Daha sonra bu üç bileşiği bir araya getirip karıştırır ve bu karışımı her biri üç bileşiği de içerecek şekilde üç eşit parçaya ayırırız. Birinci adım burada biter. 2. aşamada aynı işlemi tekrar edelim ve ilk kaptakileri A ile reaksiyona sokarak AAA, ABA ve ACA bileşik-

lerini, ikinci kaptakileri B ile reaksiyona sokarak AAB, ABB ve ACB bileşiklerini, üçüncü kaptakileri ise C ile reaksiyona sokarak ACA, ACB ve ACC bileşiklerini elde ederiz. Bu dokuz bileşik bir sonraki aşama için başlangıç noktası olarak kullanılır. Pratikte, bu örneklemedeki üçlünün yerine doğal olarak meydana gelen 20 aminoasitin tümü kullanılabilir ve dört ardışık aşama sırasıyla 400, 8.000, 160.000 ve 5.200.000 bileşik sağlar. Dolayısıyla neredeyse göz açıp kapayıncaya kadar milyonlarca bileşik (robotlar tarafından) yapılabilir.

Kimyacılar böylelikle ne yaptıklarını her zaman bilmedikleri veya önemsemedikleri maddeler üretirler ve bu ürün bolluğu içinde incilerin yattığını umarlar. Açıktır ki, her karışımındaki muhtemel maddeleri (üç aminoasit örneğimizde, birinci kap ikinci aşama sonunda sadece üç adaya sahiptir) takip etmek için hatırı sayılır bir saymanlık görevi vardır. Robotların yaptığı bileşikleri bir bilgisayar izler. İleriki bazı testlerde, bir karıştırma kabının içindekiler bir hastalıktan sorumlu olan arızalı bir enzimi inhibe etmek gibi belirli bir biyolojik aktiviteyi gösterirlerse, o zaman bunlar ayırma ve tanımlama için aday olabilirler. Geri kalanlar ilgi odağı olmaktan çıktıkları için bir kenara atılırlar.

Kimyacılar birkaç yıl önce, 10.000.000 bileşik oluşturmuş ve tanımlamış olmaktan gurur duydukları bir aşamada idiler. Bugün ise bu sayıya bir ayda birkaç kez ulaşabilirler ve ne yaptıklarını belirlemek için sadece ara sıra uğraşırlar. Yaşanan ilerleme budur.

6. BÖLÜM

Kimyanın Başarıları

Daha önce kimyasız bir hayatın bizi Taş Devri'ne geri götüreceğini belirtmiştim. Modern dünyanın neredeyse tüm altyapısı ve konforu kimyasal araştırmalardan ortaya çıkmıştır. Kimyanın ilkel zamanlarında, yani merak, gelenek ve simyanın işbirliği yaptığı ve bilimin henüz canlanma aşamasında olduğu dönemde kimyasal araştırma doğru kuramdan yoksun kaldı ve ilerleme yavaş yavaş gerçekleşti. Şimdi kimya, merak ile bilginin ve bilgi kullanımının verimli bir ittifakı neticesinde olgunlaşmış durumda. Araştırma ise büyük ölçüde rasyonel ve başarıları azımsanmayacak miktarda.

Mümkün olan en geniş anlamda, kimyacılar maddenin bir biçiminin alınıp başka bir biçime nasıl dönüştürüleceğini keşfettiler. Bazı durumlarda, yerküreden petrol veya cevher gibi hammaddelerin nasıl çıkarılacağını ve doğrudan onlar üzerinden yakıt ve demir (çelik üretiminde kullanmak üzere) gibi malzemelerin nasıl elde edileceğini buldular. Kimyacılar ayrıca gökyüzünün nasıl hasat edileceğini, atmosferdeki azotun nasıl yakalanacağını ve gübre haline nasıl dönüştürüleceğini keşfettiler. Aynı zamanda, kumaş veya yüksek teknolojinin ihtiyaç duyduğu malzemeler şeklinde kullanıma elverişli durumdaki son derece gelişmiş madde biçimlerinin nasıl üretilceğini de buldular. Yüksek teknoloji olarak kabul ettiğimiz şey bugün açısından geçerli çünkü kimyacılar ileride onu aşacak daha yüksek teknolojilerin kimya eliyle mümkün kılınacağını biliyorlar.

Toprak, Hava, Ateş ve Su

Kimyanın sayısız başarılarına ilişkin bu anlatıma, antik çağın meşhur dört elementini (toprak, hava, ateş ve su) göz önünde bulundurarak başlayacağım.

İlk olarak su, yani hem münferit organizmalar hem de küresel toplumlar düzeyinde yaşamı mümkün kılan zorunlu şey. Kimya suyu saflaştırıp patojenlerden arındırarak ortak yaşamı mümkün kıldı. Klor, şehirlerin varlığını sürdürebilmesindeki başlıca etken-dir: O olmadan, hastalıklar yaygınlaşır, kentsel yaşam bir kumar olur ve eskiden olduğu gibi kentsel ölüme daha çok benzerdi. Kimyacılar bu elementi bol bir kaynaktan –sodyum klorür, sofra tuzu– çıkarmanın yollarını buldular. Eriyik tuzdaki klorür iyonla-rını oksitlemek için elektrolizden faydalandılar ve her bir iyondan bir elektronu sıyırıp bunları elemente dönüştürdüler. Enerjik klor gazı daha sonra patojenlere saldırarak onları zararsız hale getirdi.

Tuzlu sudan, akiferlerdeki* zehirli sudan ve hepsinin en bol kaynağı durumundaki okyanuslardan içme suyu elde etme savaşı-nın ön cephesinde kimyacılar vardır. Kimyacılar bu kritik göreve doğrudan yollarla katkıda bulunmuşlar ve “ters osmoz” yöntemi-ni geliştirmişlerdir. Ters osmoz sürecinde, su moleküllerini geçi-ren ama onu içilmez hale getiren iyonları geçirmeyen membranlar sayesinde su arıtılır. Kimyacılar yüksek basınçlara dayanabilecek ve sürecin verimliliğine katkıda bulunabilecek membranları gelişt-irerek, söz konusu göreve dolaylı yollarla da katkıda bulunurlar. Kimyacıların geleneksel analiz becerilerinin; neyin mevcut oldu-ğunu, neye müsamaha edilebileceğini ve neyi uzaklaştırmanın gerekli olduğunu keşfetmenin bu uğraş için hayati önem taşıdığını söylemeye gerek yoktur.

Şimdi toprağı, yani gıdaların kaynağını ele alalım. Küresel nüfus arttıkça ve verimli arazi alanı tükendikçe, tahılları daha fazla bolluğa ve verimliliğe ikna etmek gittikçe önem kazanmak-tadır. Genetik mühendisliği (biyolojiyle verimli bir işbirliği içinde gerçekleştirilen bir kimyasal teknik) ilerlemenin bir yoludur ancak çeşitli nedenlerden dolayı tartışmalı olmaya devam etmekte-dir. Bu nedenlerin bazıları makul bazıları ise değildir. Bolluğu teşvik etmenin geleneksel yolu gübrelere başvurmaktır. Kimyacılar bu alanda ekonomik olarak uygun azot ve fosfor kaynaklarına önemli ölçüde katkıda bulundular ve onların bitkiler tarafından özümmlenebilecek bir forma dönüştürülebilmelerini sağladılar.

* Yeraltı suyunca doymuş gözenekli yeraltı kaya katmanları. -ç.n.

Hava toprağı besler. Tarım için gerekli olan elementlerden biri olan azot (N) şaşırtıcı derecede bol olup atmosferin yaklaşık dörtte üçünü oluşturur ancak çoğı bitki tarafından özümlemeyen bir forma sahiptir. Bu inatçı inertlik (atıllık) çok büyük ölçüde, bir azot molekülünün (N_2), parçalanması çok zor olan bir üçlü bağla (paylaşılan üç elektron çifti) birbirine bağlanmış iki azot atomundan oluşması gerçeğinden kaynaklanır. Aslında atmosferik azotun havada çok bol bulunmasının başlıca nedeni budur: Azot basitçe kendisiyle reaksiyona girme girişimlerinden uzak durur, bu da onun kimyasal olarak yakalanması için yıldırımları veya bazı bakterilerle ilişkili bakterileri gerektirir.

Kimyanın yirminci yüzyılın başlangıç yıllarında gerçekleştirdiğı en büyük başarılarından biri, azotun havadan nasıl elde edileceğini ve bitkilerin özümleyebileceğı bir form haline nasıl dönüştürüleceğini keşfetmektir. Ama bu keşif insani bir arzunun itkisi altında değil, öldürmek gibi insanlık dışı bir arzunun tatmin edilmesi için gerçekleşti ve patlayıcı yapmak için kullanıldı. Fritz Haber ve Carl Bosch'un bu başarısı kimya endüstrisinde bir dönüm noktasıydı. Çünkü amonyak (NH_3) eldesi, azot ve hidrojen gazları arasındaki reaksiyonu kolaylaştırmak için uygun katalizörlerin keşfine bağlı olmasının yanı sıra, daha önce hiç elde edilmemiş sıcaklık ve basınçta çalışan endüstriyel tesislerin geliştirilmesine gereksinim duydu. Ne var ki günümüzde hâlâ küresel olarak kullanılan bu süreç enerji yoğun olmaya devam ediyor. Alfalfa, yonca, fasulye, bezelye ve diğer baklagillerin kök nodüllerinde yaşayan bakterilerde meydana geldiğı bilinen süreçlerin endüstriyel ölçekte taklit edilebilmeleri ve atmosferik azotun elde edilmesi için kullanılabilmesi harika olurdu. Kimyacılar bu ihtimal doğrultusunda onlarca yıl süren bir araştırma yaptılar ve bakterilerin sessiz ve enerji verimli bir şekilde, düşük basınç ve düşük sıcaklıkta kullandıkları enzimleri ayrıntılı olarak incelediler. Başarı parıltıları olsa da, henüz ticari olarak uygulanabilir bir yöntem yoktur.

Tarih öncesi hayvanların kalıntılarını oluşturan fosfor (P) da bol miktardadır. Bu hayvanların kalsiyum fosfat kemikleri ile özel içsel enerji kaynakları ATP (adenozin trifosfat) molekülleri, ki hem bizim hem de onların hücrelerine enerji sağlar, fosfat kayaları şeklinde okyanusların dibinde büyük sıkıştırılmış yığınlar

halinde bulunurlar. Bu noktada, kimyacılar canlıları beslemek için ölülerin çıkarılmasına yardım ederler. Çünkü söz konusu gömülü kaynaklardan fosfor çıkarabilme ve onu büyük sürdürülebilirlik döngüsü içinde tekrar kullanabilme yollarına sahiptirler.

Petrol hiç kuşkusuz olağanüstü uygun bir enerji kaynağıdır zira ağırlığa duyarlı uçaklarda bile kolayca taşınabilir. Kimyacılar sıkıştırılmış ve pompalanarak çıkarılmış hammaddenin rafine edilmesine uzun süredir katkıda bulunmaktadır. Doğa tarafından sağlanan molekülleri alıp onları daha uçucu bileşenlere ayırmak ve daha verimli şekilde yanmaları amacıyla yeniden şekillendirmek için kullanan süreçleri ve katalizörleri geliştirmişlerdir. Ancak, doğanın yeraltındaki lütfunun yakılması gelecek nesiller tarafından paha biçilmez bir kaynağın bilerek tahrip edilmesi, türlerin yok oluşuna eşdeğer bir şey olarak görülebilir. Ekonomik açıdan uygun yeni petrol kaynaklarının en azından şimdilik sürekli olarak keşfedilmelerine rağmen, petrol sonlu bir kaynaktır. Onu çıkarmak tehlikeli olup, giderek daha pahalı hale gelmektedir. Boş bir yerküre onlarca yıllık uzakta olmasına rağmen, bunun bir gün geleceğini ve beklenilmesi gerektiğini kabul etmeliyiz.

Kimyacılar yeni kaynakları şu an nerede aramaktadırlar? Güneş –gökyüzündeki uzak, öfkeli, nükleer füzyon fırını– bariz bir kaynaktır ve onun doğa tarafından kabul edilen enerjisinin yakalanması, yani fotosentez taklit etmeye çalışılabilecek net bir modeldir. Kimyacılar bunun için kısmen verimli fotovoltaiik malzemeler geliştirmişler ve onların verimliliğini ilerletmeye devam etmişlerdir. Laboratuvarlarda çalışan kimyacılardan 4 milyar yıl önce bu işe başlayan doğa halihazırda, klorofili temel alan oldukça etkili bir sistem geliştirmiştir. Sürecin başlıca özellikleri anlaşılrsa da, kimyacılar için zorluk, doğanın modelini alıp onu endüstriyel bir ölçeğe uyarlamaktır. Bir yol, suyu arzu edilen hidrojene ve zaten bol miktardaki oksijene parçalamak için güneş ışığını kullanmak ve bu hidrojeni yakılabileceği bir yere boru hattıyla taşımak veya pompalamaktır.

“Yakılmak” dedim. Kimyacılar hidrojenin ve hidrokarbonların temsil ettiği enerjiyi kullanmak için; onları tutuşturup ısı olarak açığa çıkan enerjiyi yakalamak ve bu ısıyı mekanik, verimsiz bir motor veya elektrik jeneratöründe kullanmaktan daha incelikli ve verimli yöntemlerin olduğunu bilirler. *Elektrokimya* –elektrik

üretmek için kimyasal reaksiyonlardan faydalanılması ve elektriğin de kimyasal değişim meydana getirmek için kullanılması—dünya için büyük bir öneme sahiptir. Kimyacılar halihazırda; lambalar, müzik çalarlar, dizüstü bilgisayarlar, telefonlar, her türden izleme aygıtı gibi küçük taşınabilir cihazlarımızı ve giderek artan bir şekilde taşıtılarımızı çalıştıran mobil kaynakları, yani pilleri üretmeye yardımcı olmuşlardır.

Kimyacılar, dizüstü bilgisayarları çalıştırmaktan bütün evlere ve muhtemelen köylere enerji sağlamaya kadar uzanan “yakıt hücreleri”nin her düzeydeki gelişiminde mühendislerle kapsamlı bir işbirliği içindedirler. Bir yakıt hücresinde, ister hidrojen isterse de hidrokarbon olarak dışarıdan yakıt sağlanırken, kimyasal reaksiyonların iletken yüzeylere elektron vermeleri veya bu yüzeylerinden elektron almaları sağlanarak elektrik üretilir. Bir yakıt hücresinin yaşayabilirliği kritik bir biçimde, reaksiyonların gerçekleştiği yüzeylerin ve bu yüzeylerin içine daldırıldıkları ortamın doğasına bağlıdır.

Nükleer enerji, hem fizyon ve hem de olası füzyon (Güneş’in Dünya’da taklit edilmesi), kimyacıların becerilerine dayanır. Nükleer reaktörlerin inşası yeni malzemelerin mevcudiyetine bağlıdır. Nükleer yakıtın, uranyum ve onun cevherlerinden elde edilen oksitleri formunda ekstraksiyonu kimyayı gerektirir. Politik ve ekonomik sorunların yanında, nükleer enerjinin gelişimini ve kamuoyu tarafından kabulünü engelleyen bir korkunun daha olduğunu herkes bilmektedir. Bu korku, son derece radyoaktif olan kullanılmış yakıtın nasıl bertaraf edileceği sorunudur. Kimyacılar bu sorunun çözümüne, nükleer atıktan faydalı izotopları çıkarmanın ve söz konusu atığın çevreye bulaşıp yüzyıllarca sürecek bir tehlike oluşturmasını engellemenin yollarını bularak katkıda bulunmaktadırlar.

Petrolde Yapay Maddeler Elde Etme

Petrol olarak bildiğimiz kompleks organik karışım bin yıllar boyunca yattığı yerden çıkarılıp sonrasında gelişigüzel bir biçimde yakıldığında, paha biçilmez bir kaynağın bilerek yok edilmiş gibi görüleceğinden bahsetmiştim. Hiç kuşkusuz petrolün tümü motorlarda kullanılmaz ve onun yanma ürünleri otomobillerimi-

zin, kamyonlarımızın, trenlerimizin ve uçaklarımızın egzozlarıyla dışarı atılmaz. Petrolün çoğu ekstrakte edilir ve kimyacıların geliştirdiği ve petrokimya endüstrisini teşkil eden müthiş bir zincirleme reaksiyonun başı olarak kullanılır.

Etrafınıza bakın ve yerküreden çıkan siyah, viskoz ham petrolü alıp geliştirdikleri reaksiyonlara maruz bırakan ve ortaya çıkan ürünleri modern dünyanın yapay madde imalatçılarına aktaran kimyacıların neler başardığını tespit edin.

Plastiklerin geliştirilmesi, belki de bu süreçlerin en büyük çıktısı olmuştur. Bir asır önce, gündelik hayat ahşap, yün, pamuk ve ipekten yapılmış nesneleriyle metalik, seramik veya doğaldı. Bugün ise çok sayıda nesne petrolden elde edilen sentetiklerden üretilmiş durumdadır. Kumaşlarımız kimyacılar tarafından geliştirilen malzemelerden eğrilmiş olup, sentetiklerden oluşmuş el çantaları ve valizlerle seyahat ediyoruz. Elektronik ekipmanımızın, televizyonlarımızın, telefonlarımızın ve dizüstü bilgisayarlarımızın tümü sentetik kalıba sahiptir. Araçlarımız giderek artan bir biçimde sentetiklerden üretilmektedir. Dünyanın görünüşü ve hissiyatı bile şimdi yüz yıl öncesine göre farklıdır: Günümüzde bir nesneye dokunun, dokusunun tipik olarak sentetik bir malzemedenden ibaret olduğunu göreceksiniz. Bu dönüşümü, yerküreden çıkarılan uzun molekülleri nasıl doğrayacaklarını ve sonrasında onları polimerizasyon sürecinde çok uzun zincirler halinde nasıl yeniden birleştireceklerini keşfeden kimyacılar borçluyuz. Böylece, etilen (X'in H olduğu $\text{CH}_2=\text{CHX}$) polietilene dönüştürülür ve alışverişten (plastik poşetler olarak, hem iyi hem de kötü) 2. Dünya Savaşı'nın (radar kablolarının kaplaması olarak) kazanılmasına yardımcı olmaya kadar her şey için kullanılır. 4. Bölümde bahsettiğim gibi, X'in klor (Cl) olması durumunda monomerler PVC'ye dönüşürler, ki bu da birçok inşaat işinde odun ve metalin yerine geçmiştir.

Her ne kadar plastik poşetlerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri sağladıkları rahatlığa ağır bassa da kimyacılar tarafından icat edilen ve daha sonra yığın halinde imal edilen polimerik malzemeler olmasaydı neye sahip olmazdık diye düşünün. Naylonun ve giysilik, döşemelik ve dekoratif poliester kumaşların olmadığı bir dünya düşünün. İçecekler, yiyecekler ve temizlik malzemeleri için sadece ağır metalden yapılmış kapların olduğu bir dünya

düşünün. Gündelik hayattaki küçük plastik maddelerin; elektrik anahtarlarının, fişlerin, prizlerin, oyuncakların, bıçak saplarının, klavyelerin, düğmelerin... olmadığı bir dünya düşünün. Abartısız bir şekilde, liste neredeyse uçsuz bucaksızdır. Dolayısıyla kimya kaynaklı polimerik malzemeler her yerdedirler.

Birçok doğal malzemenin ölümü için yas tutsanız bile, hâlâ kullanıldıkları yerlerdeki muhafazaları için kimyacılar teşekkür edebilirsiniz. Doğal madde çürür ancak kimyacılar bu çürümenin ötelenmesini sağlayan malzemeler geliştirmişlerdir. Kısacası, kimyacılar hem yeni malzemeler (uygun olduklarına hüküm verildiği veya arzu edildikleri zaman) hem de doğal malzemelerin ömrünü uzatmanın araçlarını (hüküm ve tercih onların benimsenmesine yol açtığı zaman) sağlarlar.

Plastikler geçtiğimiz yüzyılı karakterize eden ve günümüzde de bunu kuvvetli bir şekilde devam ettiren malzemelerdeki devrimin bir yüzüdür. Kimyacılar taşıtlarda kullandığımız metallerin yerini almaya başlayan seramikleri geliştirmekte ve böylece taşıtları hafifletip taşıma sistemlerimizin verimliliğini artırarak onun çevre üzerindeki etkisinin azalmasını sağlamaktadırlar. Hiç kuşkusuz seramikler büyük antik çağın malzemeleridirler çünkü bunlar çömlerlerin hammaddeleridirler (sosyal yaşamın varlığını sürdürmesine hakkı büyük ölçüde verilmemiş bir katkı daha). Modern seramikler, saflaştırılmış kil ve diğer malzemelerden daha sistematik bir biçimde elde edilirler ve bazen şaşırtıcı özellikler gösterirler. Mesela, neredeyse bir cadı karışımı halindeki elementlerden pişirilmiş bir seramik sınıfının, süperiletkenlik – elektriği dirençsiz iletme yeteneği– özelliklerine sahip olacağını kim farz ederdi? Çok düşük sıcaklıklarda ancak daha önce bilinen süperiletken malzemelere göre çok daha yüksek sıcaklıklarda iş gören ve bu nedenle ekonomik olarak daha umut verici ve kabul edilebilir olan bu malzeme uygulamalar bakımından hâlâ el yordamıyla ilerlemekte olup, seramikten tellerin ve filmlerin imal edilmesi zor bir problem olmaya devam etmektedir.

Seramikler camı da kapsar. Modern cam, küresel haberleşme sistemimizin omurgasını oluşturan optik fiberleri içerir. Cam temel olarak silika (silisyum dioksit, SiO_2) olup; saflaştırılmış, eriyik hale getirilmiş ve daha sonra soğumaya bırakılmış olan kumdan elde edilir. Yüzyıllar boyunca kimyacılar bu temel kom-

pozisyonu kurcaladılar ve büyüleyici renk tonlarına dikkatli ve seçici bir şekilde eklenen safsızlıkların neden olduğu “renkli cam”ı bize verdiler. Kuşkusuz, renkler ilk zamanlarda spesifik olarak kimyacılar tarafından değil, camcılarının beceri ve bilgeliğiyle geliştirilmişti. Ama bugün camların bileşimini formüle eden kişiler kimyacılarıdır. Bu camlar bazı durumlarda renkçe zengindirler. Diğer durumlarda ise, özellikle de fiberler örneğinde olduğu gibi şaşırtıcı derecede şeffaflar ve ışık pulsalarını minimum sönümlenmeyle büyük mesafeler boyunca iletebilirler.

Renk Yaratma

İnsanların imalat dünyası kimyacıların katkıları olmadan donuk renkli olurdu. Canlı renkler bir zamanlar, belirli deniz salyangozlarının (*Bolinus brandaris*) glandüler mukusundan çıkarılan Tire moru gibi doğal renkleri satın almanın maliyetine katlanabilen zenginlerin ilgi alanıydı. Bu çıkarma işleminde 12 bin deniz salyangozu bir pelerinin kenarını boyamaya güç bela yetecek miktarda (bir gramdan biraz fazla) boya elde edebilmek için sağılır veya vahşice ezilirdi. Zenginlerin bir başka gözdesi ise, keskin bir güzelliğe sahip deniz mavisi (ultramarin) rengi için Afganistan’dan getirilen lapis lazuli (“cennet taşı”) idi. Sonrasında ortaya William Perkin (1838-1907) çıktı. İmparatorluk ordularını ve bürokratlarını sıtmadan kurtarmak amacıyla yapısını bilmeden başarısız bir şekilde kinin sentezlemeye kalkışan Perkin bunun yerine tesadüfen anilin moru (“mauveine”) denilen boyayı buldu. Perkin bu sayede askerleri değil ama deniz salyangozlarını kırımdan kurtarmış ve şans eseri İngiliz kimya endüstrisini kurmuş oldu. Perkin böylece tüm kişisel servetinin ve İngiltere’nin ulusal zenginliğinin çoğunun üretiminin de temelini attı.

Kimyacılar maddi dünyaya renklerin tüm spektrumunu sundular. Söz konusu dünya artık ihtiyaç duyulan durumlar dışında (kamuflejda olduğu gibi) donuk olmayıp, aksine ateşli bir şekilde iddialı veya ölçülü bir biçimde incelikli herhangi bir şey olabilmekte. Muazzam olan sadece renk yelpazesi değil. Floresans ve yansıtıcı parlamaların yelpazeye eklenmesiyle birlikte renkler artık ışığa dayanıklı olup, kirli çamaşırların zorluklarına katlanabiliyorlar.

Kimyasal olarak yaratılan renkler kumaşla sınırlı değildir. Genel olarak pigmentler geliştirilmiştir. Pigmentler sadece renklendirici maddeler olmayıp, aynı zamanda binalarda kullanılan boyalarda ve sanatçıların kullandığı akriliklerde olduğu gibi taşıyıcı ortam şeklinde de kullanılırlar. Ev boyalarında katedilen ilerlemeleri; onların akış özelliklerindeki gelişimi, agresif atmosferlerdeki kararlılıklarını ve boyanın uygulanmakta olduğu yeri göstermek için bilerek solan renkler de dahil olmak üzere sahip olduğu renk yelpazelerini düşünün.

Televizyon ekranlarının ve bilgisayar monitörlerinin renkleri bile kimyacılar tarafından geliştirilen katulardan faydalanmaktadır. Enerji düşkünü, hantal katot ışınlı tüplerin hâkim olduğu günler geride kaldı. Artık sıvı kristallerin, plazma ekranların ve OLED'lerin (organik ışık yayan diyotlar) dünyasındayız. Sıvı kristaller ve OLED'ler, kimyacılar tarafından üretilen moleküllerden oluşurlar. Elektrik alanlarına özel şekillerde yanıt veren bu moleküller görsel ekranlı taşınabilir cihazları mümkün kılmıştır.

Gündelik Hayatın İnşası

Kimyacılar, modern haberleşme ve hesaplama dünyasının altında yatan yarıiletkenleri geliştirmenin de sorumlularıdır. Gerçekten de, kimyanın şu andaki başlıca katkılarından biri, dijital dünyanın maddi altyapısı olarak kabul edilebilecek olan şeyin geliştirilmesidir. Kimyacılar bilgisayarlı hesaplamanın kalbinde yer alan yarıiletkenleri ve sinyallerin iletimi konusunda giderek bakırın yerini alan optik fiberleri geliştirmektedirler. İnsanın görsel sistemi için görüntü arayüzleri olarak işlev gören malzemeler, kimyacılar tarafından üretilen maddelerin bir sonucudurlar.

Kimyacılar bugünlerde, ağ anahtarlarının ve belleklerin moleküllerin şeklindeki değişikliklere bağlı olduğu moleküler bilgisayarları geliştirmektedirler. Bu tür malzemelerin başarılı bir şekilde geliştirilmesi –bilim için çok tipik olan bir iyimserlikle bu çabaların başarılı olacağından emin olabiliriz– bilgisayarlı hesaplama gücünde eşi benzeri görülmemiş bir artışa ve şaşırtıcı bir kompaktlığa yol açacaktır. Eğer böyle akıllı malzemelerin geliştirilmesiyle ilgileniyorsanız, o zaman hesaplamada bir devrime katkıda bulunmayı bekleyebilirsiniz. Bunun dışında, kuantum

bilgisayarlı hesaplamanın geliştirilmesi ihtimali de vardır; ki bu durum kimyacıların uygun yeni malzemeler üretmelerine bağlı olup, haberleşme ile hesaplamada neredeyse öngörülemez olan bir devrime yol açacaktır.

İlaç Kimyası

Sağlıktan çok az bahsettim. Kimyanın insanlık medeniyetine (buna kişilerin refahı da eklenmelidir) yaptığı büyük katkılardan biri, farmasötiklerin geliştirilmesi olmuştur. Kimyacılar haklı olarak hastalıklarla savaşılan ajanların gelişimine katkılarıyla gurur duyabilirler. Belki de en içten şekilde karşılanan katkıları, anesteziğin geliştirilmesi ve bunun sonucunda acı olasılığının azaltılması olmuştur. 200 yıl önce bir amputasyon geçirdiğinizi düşünün. Acıya katlanmak için sadece brendiye ve sıkılmış dişlere sahipsiniz! Önem bakımından bir sonraki katkı, kimyacıların çoğunlukla doğayı yakından gözlemleyerek geliştirdikleri antibiyotikler olmuştur. Bir yüzyıl önce, bakteriyel enfeksiyon ölümcül bir ihtimaldi ama şimdi penisilin ve onun kimyasal olarak değiştirilmiş torunlarının varlığı sayesinde tedavi edilebilir durumda. Bunun bu şekilde kalacağını umut etmeliyiz ama aksine de hazırlanmalıyız. Zira bakteriler düşmanlarından kaçabilmek için evrimleşmektedirler.

İlaç şirketleri pek çok kişinin ahlaksız çıkarlar ve sömürü olarak gördüğü şeyler nedeniyle sık sık eleştirilerin hedefi olsalar da, temkinli bir sempatiyi hak ediyorlar. Bir gözleri kâr elde etmede olsa da, temel motivasyonları ve takdire şayan amaçları, hastalıklarla savaşılan ilaçlar geliştirerek insanların acılarını hafifletmektir. Kimyacılar bu çabaların kalbinde yer almaktadırlar. Gelişimin oldukça pahalı olması çok üzücü bir durumdur. Modern hesaplama teknikleri yeni yaklaşımların araştırılmasına ve *in vivo* hayvan testlerine olan bağımlılığı azaltmaya yardımcı olmaktadır ancak yabancı maddeleri canlı insan bedenlerine sokarken olağanüstü bir dikkat gerekmektedir. Eğer testin son aşamasında kabul edilemez sonuçlar keşfedilirse yıllar süren maliyetli araştırmalar birden boşa gidebilmektedir.

Kimyacıların hastalıkların hafifletilmesine katkısıyla yakından ilişkili olan şey, onların işlere moleküler düzeyde dahil olma-

larıdır. Biyoloji yarım yüzyıl önce, DNA'nın yapısı keşfedildiğinde (1953'te) kimyaya dönüştü. Büyük ölçüde bu keşiften kaynaklanan moleküler biyoloji, organizmanın işleyişine uygulanan kimyadır. Genellikle moleküler biyologlar olarak gizlenen kimyacılar, yaşamı ve onun başlıca karakteristiğini, yani kalıtımı anlama kapısını temel bir düzeyde aralamışlar ve böylece moleküler dünyanın büyük bölgelerini rasyonel incelemeye açmışlardır. Kimyacılar ayrıca adli tıbbı dönüştürüp suçluları adalete teslim etmişler ve son olarak antropolojiyi de değişikliğe uğratmışlardır.

Kimyanın dikkatini yaşam süreçlerine kaydırması, geleneksel kimya dallarının (organik, anorganik ve fizikokimya) önemli bir olgunluğa eriştikleri ve organizmaların –özellikle de insan vücudunun– içinde harika bir biçimde meydana gelen karmaşık süreçler ağının üstesinden gelmeye hazır oldukları bir zamanda ortaya çıkmıştır. Hastalıkların tedavisine ve daha da önemlisi önlenmesine yönelik yaklaşım, kimyacıların yapmaya devam ettiği keşiflerle rasyonel bir temele oturtulmuştur. Eğer bu alana girmeyi planlıyorsanız, o zaman genomik ve proteomik işiniz için çok kritik bir öneme sahip olacaktır. Burası gerçekten, sizden önceki devlerin omuzlarında yükselmek hususunda kendinize güvenebileceğiniz ve hastalıkların köklerine saldırmakta olduğunuzu fark edebileceğiniz bir kimya bölgesidir.

Savaş ve Diğer Kötülükler

Sırada kimyanın karanlık tarafı var. Kimyanın büyük başarılarına ilişkin bu anlatımda, onun insanlığın zarar verme ve öldürme kabiliyetini artırma becerisinden hiç bahsetmemek uygunsuz olurdu. Zira söz konusu başarılar bazı durumlarda insan hayatına, diğer durumlarda ise çevreye mal olarak elde edilmiştir.

İlk olarak, öldürme ve sakat bırakma hususundaki ilerlemeler. Kimyacılar savaş gazlarının geliştirilmesinden ve patlayıcıların optimizasyonundan sorumludurlar. Hakikaten, kuvvetli etkiye sahip gübrelerin yaygın kullanılabilirliğine yol açan amonyak sentezi süreciyle ilgili olarak sözünü ettiğim Fritz Haber aynı zamanda zehirli gaz geliştirilmesi bakımından da bir liderdi. Bu tür silahların yok edilmesinin, kişiliğini nasıl yargılasak yargılayalım, Haber'in insan hayatına olan net katkısını daha nazik bir

şekilde değerlendirebilmemizi mümkün kılacağını umuyorum. Böylesi korkunç silahları kullanma sorumluluğunu hükümetler taşıyor olsalar da, gelişimlerine katkıda bulunan kimyacılar bana kalırsa suçlamalarımızdan kaçamazlar. Kimyasal silahların geliştirilmesine yönelik suçlamamızı hafifletmek için, bu silahların terazinin karşı kefesine koyabileceği hiçbir iyilik yoktur: Onlar saf kötülüktür. En güçlüler olmasalar da dünya nüfusunun yaklaşık %98'ini kapsayan çok sayıda devlet bunları yasadışı savaş silahları olarak reddetti. Umalım ki, geri kalanlar da onları izleyecekler ve bu silahları yasaklayan antlaşmaya dahil olacaklar.

Kimyasal savaş kaza eseri de yürütülebilir. Böyle bir durum 1984 yılında Hindistan'ın Bhopal kentinde kurulu olan Union Carbide fabrikası kontrolden çıktığında yaşandı. Resmî kaynaklara göre doğrudan felaketle ilintili olarak yaklaşık dört bin kişi, iki hafta içinde ise ilaveten sekiz bin kişi hayatlarını kaybederken, beş yüz binden fazla kişi de yaralandı. Kasıtlı kimyasal savaş bile bu kadar başarılı olmamıştı. Felaketin en önemli sebebi, bir pestisitün üretim sürecindeki bir ara ürün olan metil izosiyanatın (CH_3NCO) aşırı stoklanmış ve yetersiz soğutulmuş bir tankına su girmesiydi. O dönemde pestisit için artan talep, normal miktarlardan daha fazla ara ürünün stoklanmasına yol açmıştı. Suyun söz konusu tanka nasıl girdiği hâlâ tartışmalıdır: Şirket bunun hoşnutsuz bir çalışanın sabotajı olduğunu iddia etmekte, başkaları ise suyun fabrikaya kaza eseri girdiğini ve buradaki güvenlik kontrollerinin düzensiz, etkisiz, eksik ve yetersiz olup ihmal edildiğini öne sürmektedir. Reaksiyon atmosfere 30 ton toksik gaz vermiş ve fabrika çevresindeki yoğun nüfuslu gecekondu mahallesinin sakinlerine ölüm ve fiziksel ve duygusal olarak hesaplanamaz bir acı getirmiştir.

Kimyasal tesislerin doğal tehlikeleri hakkında yorumda bulunmak gereksiz, risklerin avantajlara ağır bastığını öne sürmek de basmakalıp olurdu. Ne var ki bu tür felaketler çok nadiren meydana gelirler. Ödenmiş acı bedelden alınan derslerin, çoğu kez refahımıza katkıda bulunan tesislerin tasarımında ve işletilmesinde daha iyi bir uygulama getireceğini umuyoruz.

Kimyanın başka bir karanlık yüzü de, patlayıcıların temini, geliştirilmesi ve üretilmesi noktasındadır. Buradaki yüz tümüyle karanlık değildir çünkü patlayıcılar; taş ocakçılığı ve madencilik

açısından yararlı maddelerdir. Karanlık yüz, patlayıcıların bombalarda ve mermilerin –kurşunların, havan toplarının ve benzerlerinin– itici gücünün sağlanmasında kullanılmalarıyla ortaya çıkar. Patlayıcılar, infilak ettirildiklerinde çok hızlı bir reaksiyona uğrayan bileşiklerdir. Aslında, moleküller bir gaz oluşturan çok küçük parçalara bölünürler ve bu gazın çok hızlı oluşumu da patlamanın yıkıcı veya itici şokunu meydana getirir.

Patlayıcıların ilk günlerinde barut kraldı. Barutun etkisi, yükseltgeyici ajanların (kükürt, potasyum nitrat) yükseltgenebilen maddelerle (kömür, esasen karbon elementinin saf olmayan bir formudur) derinlemesine karışımlarına bağlıdır. Elektronların karbondan yükseltgeyici ajanlara göçü ve beraberinde atomları da sürüklemesi çok sayıda küçük moleküle, yani bir gaza yol açar. O zamandan bu yana daha hızlı reaksiyon gösteren ve buna bağlı olarak daha keskin bir şok yaratan maddeler ve karışımlar geliştirildi. Farklı bileşenlerin karışması yerine, kimyacılar nihai yakınlığa yönelik olarak çalışmışlardır: Elektron transferi ve takriben atomun yeniden düzenlenmesiyle moleküler parçalanmanın mümkün olduğu kadar hızlı olması ve böylece şoku çoğaltmak üzere çok sayıda küçük molekülün oluşması için, kimyacılar yükseltgeyici ve yükseltgenebilir bileşenlerin aynı molekülün parçaları olmalarını sağlamışlardır. Bu bileşikler arasında en ünlüsü nitrogliserindir. Alfred Nobel (1833-1896) oldukça kararsız olan bu bileşiğin gözenekli bir kil türü tarafından soğurulabildiğini keşfedince, onun uysallaştırılmasını sağlamış ve böylece dinamiti bulmuştur. Nobel'in bu buluşu zamanla, en büyük vicdan rahatlatıcı kurumlardan biri olan Nobel Vakfı'nın kurulması için fon sağlamıştır. Nobel Vakfı ve dağıttığı ödülleri insanlık koşullarının iyileştirilmesine ve barışın yayılmasına adanmıştır.

Çevre Meseleleri

Kimyanın utandırıcı bir şekilde olumsuz bir bölgesinde bulunmamıza rağmen, kendimi diğer bir büyük sorunu işaret eden parmağın gösterdiği yöne bakmaktan alamıyorum. Bu sorun kimyanın kapısının önünde veya en azından drenaj sisteminde çevresel hasar olarak duruyor. Kimyasal tesisin istenmeyen atığının ekolojik yıkıma yol açtığını inkâr etmek imkânsızdır. Perkin'in fabrikalarının zamanın imalat öncelikleri doğrultusunda yakının-

daki kanalları kırmızı, yeşil ve sarıya dönüştürdüğünden beri, insanlığın kendi iyiliğine yönelik arzusu çevresel bir maliyete sahip olmuştur. Aslında, çevre kirliliğinin yeşil filizleri, eğer bu çok ironik bir terim değilse, Yunanlara ve Romalılara kadar uzanabilir. Bu devirlere ait katmanlarda bulunan buz çekirdeklerinin analizi, metal işlemenin sonuçlarının izlerini gösterir.

İleriye giden yol ya yasal ya da kimyasaldır. Yasal olan ceza ihtimaliyle kısıtlar, kimyasal olan ise kaynakta bertaraf etmeyle önler. Sonuncusu, her zaman daha iyi bir eylem tarzı olup kimyadaki gelişmelere bağlıdır ve *yeşil kimyanın* politik-çevreci-kimyasal hareketine ilham vermiştir. Yeşil kimya geniş anlamda; kimyasal imalat süreçlerinin çevreye olan etkisini, malzeme kullanımı ve atık bertarafı hususundaki katı talimatlarla en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Yeşil kimya taraftarları, atıkların üretildikten sonra temizlenmelerinden önce önlenmelerinin daha iyi olacağı yönündeki makul önermeyle işe başlarlar. Bu temel ilkenin anlamı, bir süreçte başlangıç maddeleri olarak kullanılan her şeyin nihai ürün içinde (mümkün olduğu kadar) tüm bütünlüğüyle yer alması gerektiğidir: Sürece katılmış ne kadar atom varsa bunlar ürünün moleküllerinde yer almalı, mümkün olduğunca az sayıda atom istenmeyen olarak atılmalıdır. Bunun ciddi ekonomik ve teknolojik etkileri olacak ve dolayısıyla ticari isteksizliğe yol açacaktır. Çünkü süreçlerin ve tesislerin uygun şekilde tasarlanmaları ve zahmetli kaynaklardan muhtemelen büyük harcamalarla spesifik hammadde-lerin elde edilmesi gerekecektir.

Süreç optimize edilmeli –özellikle de optimizasyon teknolojik ve ekonomik kavrayışın ötesinde ise– ve yöntemler, toksik bileşiklerin sadece atık olarak değil aynı zamanda potansiyel bakımdan kaçınılabilir ara ürünler olarak sürece katılımını önleyecek veya en azından minimuma indirecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu gereklilik, insan yaşamı (tanımlanmış yöntemlerin uygulayıcıları açısından söz konusu olup, listeye genel olarak organizmaların eklenmesi gerekli olandan fazlası gibi görünüyor) ve çevre için asgari toksisite riski göstermesi gereken nihai ürün için de geçerlidir. Bu kısıtlama süreçte kullanılan yardımcı maddeler için de söz konusudur. Özellikle de çözücü olarak kullanılan ve geri dönüşüm yöntemlerinde sızıntılar ortaya çıkıkça küçük miktar-

larda olsa bile çevreye atık olarak salınma ihtimali bulunan –ihtimal” diyorum çünkü bazı güncel süreçlerde bu bir “zorunluluk”-tur– sıvılar açısından. Kimyacılar, kendi minik laboratuvar yöntemleri için bile olsa, tehlikeli olmayan çözücülerin bulunması ve bu alışılmadık yeni ortamlarda meydana gelen reaksiyonların geliştirilmesi için kritik önemdedirler.

Yeşil kimyanın savunucularının bir diğer ideal arzusu, hammaddenin yenilenebilir olması gerektiğidir. Yenilenebilirlik çeşitli şekillerde alabilir ancak bunların tümü yerkürenin oyulup kaynakların çıkarılmasından kaçınır. Doğa her yıl mahsul verir; bu mahsul Güneş’in cömertliği ve onun fotosentez yoluyla karbondioksitin geri dönüştürülmesine sağladığı enerji nedeniyle yenilenebilir sayılır. Karbondioksit dışındaki maddeler geri dönüştürülebilirler. Katı atık sahalarının maden gibi işlenmesi için planlar sunulmuştur ancak bu kaynak tehlikeli ve jeolojik hükme kapalıdır.

Yeşil kimyanın savunucuları atık ve kirliliğe yapılan bir başka katkıyı daha teşhis ederler: Enerjinin kimyasal bir süreçteki rolü. Bütün enerji gereksinimleri ya yakıt gereksinimi ya da kirli gazın atmosfer üzerindeki etkisi yoluyla çevreden taleplerde bulunur. İdeal olarak, tüm yöntemler ısıtmaya ve soğutmaya (daha pahalı ve daha yıkıcı) gerek kalmadan gerçekleştirilmelidirler.

Sürecin mümkün olduğunca yeşil olması için bazı teknik gereklilikler vardır. Farmasötiklerin imalatında olduğu gibi organik kimyadaki birçok yöntem, moleküllerin nihai ürün haline gelme yolunda geçici olarak modifiye edildikleri ara adımlar gerektirir. Her adımın özel koşullara, kendi reaktiflerine ve belki de çeşitli zararlı çözücülere ihtiyacı vardır. Süreç, bu ara ürünleri en aza indirerek ve hammaddeden ürüne doğru daha fazla rota arayarak, üretim spektrumunun yeşil ucuna doğru kayar.

Önde gelen yeşil kimyacılar sürecin kendisinin ötesine, onun ürününün tüm yaşam süresine kadar bakmakta ve fonksiyonel ömrünün sonunda ürünün ve onun bozunması sonucunda oluşacak herhangi bir şeyin toksik olmamasını veya çevrede toksik kalıntılara ayrışmamasını sağlayacak yollar aramaktadırlar. “Tüm yaşam süresi” düşüncesi, imalat süreci sırasında bir felaket yaşanmasının (Bhopal’ı hatırlatarak) öngörülmesini ve kaza halinde, üretilmiş veya depolanmış her ne varsa çevre üzerinde asgari düzeyde bir etki yaratması gerektiğine ilişkin ihtiyati bir çıkarımı

içerir. Felaket ihtimalinin azaltılması, Bhopal'da olduğu gibi göz ardı edilemeyecek veya geçiştirilemeyecek tüm bileşenlerin, reaksiyon ve depolama tanklarının koşullarının ve de arıza-güvenlik izleme prosedürlerinin kesintisiz ve güvenilir analizini gerektirir.

Yeşil kimyanın arzuları bunlardır. Onun temel düşüncesi, kimyanın neden olabileceği problemleri çözmek ve tercihen önlemek için kimyanın yardımına başvurmanın elzem olduğudur. Hiç kuşkusuz ticari faaliyetlerle sosyal ve çevresel sorumluluk arasında bir gerilim her zaman vardır. Bu gerilimin çözümüne, bazı ortamlarda neredeyse abartısız bir biçimde endüstrinin hatalarının cezasız kalmasını sağlayan düşük düzeylerdeki denetimin yardımı dokunmamaktadır.

Pandora'nın kutusu her zaman böyle olmuştur: Doğanın işine karışmak her zaman risk içerir. Kimyacılar maddi doğanın gerçek köklerini kurcalarlar ve doğanın sağladığı atomları alıp ona yabancı olan bileşikler haline getirirler. Bu bileşikler doğanın ekosistemine müdahale ederek onun dengesini bozabilirler. Merlin'in^{*} sahip olduğuna benzer bir yetenekle atomları ikna etmek sorumluluğu da beraberinde getirir. Geçmişte bu sorumluluğa her zaman dikkat etmemiş olan kimya endüstrisi bugün toplumsal baskı altında bu bakımdan yüksek bir farkındalığa sahiptir.

Ancak önemli olan husus şudur: Dünyanın sorunları için güvenilir çözümler eğer kimyanın daha fazla gelişmesinden değilse nereden kaynaklanacaktır? Kimya, beşikten mezara kadar ve aradaki tüm noktalar dahil gündelik hayatımızın hemen hemen her yönünün geliştirilmesinin yoludur. Sadece sağlıklı iken değil aynı zamanda hastalık halinde de, kimya tüm rahatlıklarımızın maddi temelini sundu. Onun zirvesine ulaştığını düşünmek için hiçbir sebep yoktur. Kimya hem sanal hem de fiziksel haberleşmemize katkıda bulunur çünkü elektronlarımızın ve fotonlarımızın, hesaplamayla elde edilen karmaşık örüntüler ve etkileşimler ağı boyunca seyahat ettiği malzemeleri sağlar. Kimya ayrıca yakıtlarımızı geliştirir, onların daha verimli şekilde yanmalarını sağlar ve kataliz yoluyla onların zararlı ürünlerini minimize eder,

* Kral Arthur efsanesindeki büyücü. -ç.n.

fotovoltaik maddelerin geliştirilmesinde olduğu gibi fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara göçe yardımcı olur. Kimyanın çevrede, ister toprakta isterse de havada veya suda olsun, yol açtığı sorunların tek çözümü yine kendisidir.

Kimyanın Kültürel Katkıları

Bu çalışmada görmezden gelinmesinin uygunsuz olacağı başka bir kimya başarısı daha vardır: Kimya maddi dünyanın işleyişlerine ilişkin içgörüler kazandırır. Kayadan organizmaya kadar uzanan bu içgörüler insanlık durumunda bir gelişmedir çünkü bilgiyi merakın hizmetine sunarlar ve böylece keyfimize katkıda bulunurlar.

Kimya yoluyla doğal manzarayı oluşturan minerallerin bileşimini ve yapısını anlıyoruz. Kayaların yapılarını görebiliyor ve bunların neden sert olduklarını, neden parlayabileceklerini, neden kırılabileceklerini ve aşınabileceklerini ve de neler içerdiklerini biliyoruz. Metallerin dövülüp şekil verilebileceğini, telleştirilebileceğini ve atomlarının dizilişi hakkındaki bilgimiz sayesinde bazılarının neden irademize boyun eğip diğerlerinin eğmediğini biliyoruz. Alaşımlar ve çelikler oluşturarak, metallerin özellikleriyle yapılabilecek oyunu öğreniyoruz. Değerli taşların renklerini ve neden camın içinden bakabildiğimizi ancak ahşabın içinden bakamadığımızı öğreniyoruz.

Kimya yoluyla doğal dünyanın bir zamanlar anlaşılmaz gizemlerini çözebiliyor ve anlayabiliyoruz. Bir yaprağın yeşilini ve bir gülün kırmızısını, bir otun ve yeni biçilmiş samanın kokusunu anlayabiliyoruz. Yavaş ama giderek artan bir şekilde, yaşam olarak bildiğimiz harika ve çok yönlü varlığı oluşturan doğal dünyadaki girift ve karmaşık süreçleri anlayabiliyoruz. Algılamamızı, merak etmemizi ve anlamamızı sağlayan beynimizdeki kimyasal süreçleri yavaş yavaş öğrenmeye başlıyoruz.

Kimya maddi dünyanın nihai dokusuyla –parçacık fiziği alanının konusu olan temel parçacıklarla– uğraşmasa da, bunların birleşimlerinden oluşan ve ayırt edici karakterlere sahip olan atomları ele alır. Kimya aracılığıyla elementlerin karakterlerini anlamaya başladık. Atomlarının yapıları vasıtasıyla neden söz konusu elementlerin bu karakterlere sahip olduklarını ve neden

bazı birleşimlere girip diğerlerine girmediklerini öğrendik. Kimya aracılığıyla, daha doğru deyişle kimyanın hammaddesi üzerinden, galaksimizin başka hiçbir yerinde bulunmayabilecek moleküller ve madde biçimleri oluşturmak için söz konusu karakterleri nasıl kullanacağımızı biliyoruz.

Kimya aracılığıyla gıdaların tatlarını, kumaşların renklerini, maddenin dokusunu, suyun ıslaklığını, ilkbahar, yaz ve sonbaharda yaprakların değişen renklerini anlıyoruz. Hayatımızın her anını anlamaya ihtiyacımız yok çünkü hayvansal zevke benzer şekilde sırtımızı yaslayıp sadece çevremizin tadını çıkartmak da başlı başına bir keyif olabilir. Ama kimya bu keyfe bir derinlik katar çünkü keyif bizi harekete geçirdiğinde ve heves bizi ittiğinde, dünyanın yapay zevklerinin altına bakabiliriz ve şeylerin nasıl olduğunu bildiğimizi bilmenin tadını çıkarabiliriz.

7. BÖLÜM

Kimyanın Geleceği

Yeni elementler keşfedilmeye devam ediliyor. Keşif hızı şu anda yılda bir civarında. Bu durum Periyodik Tablonun büyüyüp kapsamının prensipte, kimyacıların yeni araştırmalar gerçekleştirmesini gerektirecek şekilde genişlediği anlamına geliyor. Ne yazık ki, tüm bu yeni elementler son derece faydasızlar: Hem radyoaktifler hem de o kadar kararsızlar ki, saniyenin küsuratları içinde yok oluyorlar. Üstelik bunların birkaç atomundan daha fazlası hiç elde edilemedi. Temel parçacıkların bir esintisi halinde hemen yok oldular.

Bilinmeyenin Eşiği

Periyodik Tablo boyunca çok az daha ilerlenebileceğine ilişkin şüphelerin kuramsal nedenleri vardır. Henüz yapılmamış elementler 126 civarında (2013'te 116'ya kadar geldik. Aradaki bir iki element henüz isimlendirilmemiş ve görüldükleri henüz doğrulanmamış olmakla birlikte varlıklarına ilişkin ipuçları yakalanmıştır) "kararlılık adası" olarak bilinen bir şey oluşturacaklar ve etrafındakilerden daha uzun süre yaşayacaklar. Ancak bunların herhangi birinin nükleer yapı kuramları için sınama araçları olmaları haricinde herhangi bir yararlı uygulamaya sahip olmaları muhtemel gözüküyor. Kimyacıların bu elementlerin kimyaya bir itki sağlayacağını düşünmek için hiçbir sebepleri bulunmuyor.

Kimyacıların işlerini devam ettirecekleri bir sürü element var. Gözlemlerin duyarlılığını, kesinliğini ve kapsamını artırmayı vaat eden yeni teknikler geliştiriliyor. Olağanüstü küçük miktarlardaki maddeleri tespit etme yeteneği hem bir nimet hem de bir lanet.

* Sayfa 25'deki dipnota bakınız. -ç.n.

Bir örneğin bileşimini oldukça ayrıntılı bir şekilde anlamak bilgiyi daha yakın bir hale getiriyor, bombaların bir teröristin ellerinde bulunduğuna ilişkin ipuçlarını tespit etmek hayatta kalmamıza yardımcı oluyor ancak her yerde kirliliklere rastlamak –bu çalkantılı dünyada her zaman böyle olacak– kafa karıştırıyor ve belki de gereksiz yere alarma yol açıyor.

Yeni Dünyalar

Geliştirilmekte olan önemli teknikler, atom ve moleküllerin davranışının yığın halindeki örnekler üzerindeki gözlemlerden çıkarılması yerine, araştırmamanın az sayıdaki atom ve molekül üzerinden gerçekleştirilmesine imkân tanıyan yöntemleri içerir. Kimyacılar moleküler etkileşim ve dönüşümün ilişkilerini bilmek isterler. Moleküllerin özelliklerini –izole olarak veya bir araya gelip reaksiyona girdikleri halleriyle, yani bağların gevşeyip atomların serbestçe sallanması ve yeni dizilişler edinmesiyle– inceleyebilmek, kimyanın (en azından fizikokimyanın) kutsal kâsesidir. Birkaç yıldan beri, moleküllerin femtosaniye zaman ölçeği (10^{-15} sn, 1/1.000.000.000.000.000 sn) mertebesinde değişiklik geçirdiklerini görmek mümkün olmuştur ve bunu attosaniye zaman ölçeği (10^{-18} sn, bin kat daha kısa sürede) mertebesine genişletecek kadar ilerleme kaydedilmiştir. Attosaniye ölçeğinde, elektronlar bile hareket halinde iken donarlar ve kimya nihayet fizik haline gelir.

Çok küçük atom gruplarıyla karşılaştığımızda ilginç sorular ve özel kurallar devreye girer. Suyu ele alalım örneğin: Mümkün olan en küçük buz küpü nedir? Buz benzeri özellikler göstermeden önce bir kümede (cluster) en az 275 su molekülüne, gerçek buz haline gelmeden önce ise yaklaşık 475 su molekülüne ihtiyaç duyulduğu keşfedilmiştir. Bu, her biri bir köşede bulunan sekiz H_2O molekülünden oluşan bir küptür. Bu bilginin önemi, atmosferdeki bulut oluşum sürecini modellememize ve aynı zamanda sıvıların nasıl donduğunun anlaşılmasına yardımcı olmasıdır.

Çok küçük atomların düşük sıcaklıklardaki toplanmalarıyla uğraşırken, onların davranışlarının kuantum mekaniği tarafından yönetildiğini ve tuhaf özellikler beklememiz gerektiğini kabul etmeliyiz. Gündelik kullandığımız biçimleri dahil olmak üzere

tüm madde kuantum mekaniği tarafından yönetilir ancak bir tuz tanesinde bile öylesine devasa miktarda atomla uğraşırız ki, tuhaflıkları bir kenara atar ve sadece ortalamaları, bilindik ortak madde davranışlarını algılarız. Ortaya çıkarılmaya başlanan bu yeni madde halleri kimya için önemi az olan sonuçlar doğurabilir ama belki de öyle değildir: Onlar, verilerin depolanması ve kuantum bilgisayarlı hesaplamanın geliştirilmesi için mükemmel olabilirler.

Kimyacılar henüz az sayıda molekülün mevcut olduğu yeni gelişen bir alana, nanobilim ve nanoteknoloji dünyasına, büyük katkı bulunuyorlar. Nanosistemler (Yunanca *nanos* “cüce” anlamına gelir) yaklaşık 100 nm (10^{-7} m, 1/10.000 milimetre) çapındadırlar ve münferit moleküller (yaklaşık bin kat daha küçük) ile yığın halindeki madde (yaklaşık bin kat daha büyük) arasındaki ara bölgede bulunurlar. Sınırlar her zaman büyüleyici yerlerdir ve büyük ile küçük arasındaki bu kavramsal sınır da bunun dışında değildir. Nanoparçacıklar (“nano” önekinin sırada bekleyen pek çok isme nasıl eklenebildiğine dikkat edin) kuantum etkilerinin işe dahil olması için yeterince küçüktürler. Söz konusu parçacıklar aynı zamanda, bir zamanlar tamamlanmış bir kuram olarak düşünülmüş olan termodinamiğin şaşkına çevrilmesi ve yeniden düşünülmesi için de uygundur.

Bu alan fizikokimyacılar için keşfetmek, formüle etmek ve geleneksel kuramlarını bu alışılmadık malzemelere uygulamak amacıyla değiştirmek bakımından verimli bir zemin sunuyor. Burası aynı zamanda hem organik hem de anorganik kimyacıların katkı sunacakları –özellikle de nanomalzemelerin üretilmesinde– çok şeylerinin olduğu bir alan. Çünkü hem organik hem de anorganik maddeler nanodünyada yaşayacak hale getirilebilirler. Üretim “yukarıdan aşağıya” veya “aşağıdan yukarıya” olabilir. İlk durumda nanoyapılar, tıpkı mermer üzerinde çalışan bir heykeltıraşın yaptığı gibi, makroskopik malzemelerden oyulurlar. İkinci durumda ise, nanoyapılar mikroskopik malzemeler üzerinden adım adım inşa edilirler. İkincisi özellikle ilginçtir çünkü inşa tipik olarak “kendiliğinden toplanma” üzerinden gerçekleşir. Bu kendiliğinden yöntemde, birlikte çalkalandıklarında arzu edilen nanoyapıda bir araya gelen moleküller inşa edilirler. Bir zamanlar hepimizin yapboz oynarken bezdirici bir şekilde tek tek parçaları

birbirine bağlamaktansa, yapbozu çalkalamanın parçaları kendiliğinden yerlerine kenetleyip resmi bir araya getireceğini ummuş olabileceği gibi.

Nanoteknoloji –nanomalzemelerin ve nanobilimin geliştirilmesi ve uygulanması– ve genel olarak nanoteknoloji çalışmaları şu an kimyada son derece ve haklı olarak popülerdir çünkü nanomalzemeler büyük bir umut vaat etmektedir. Bütün enstitüler nanoteknoloji çalışmalarının hizmetine sunulmaktadır. Nanomalzemelerin potansiyel uygulamaları disiplinler boyunca uzanmakta olup pek çok pratik uygulamanın şimdiden merkezi konumundadırlar. Örneğin geleneksel silikon güneş hücreleriyle karşılaştırıldıklarında üstün ışık toplama özellikleri gösterirler ve kan glukoz sensörlerinin içine yerleştirilirler. Kadmiyum içeren malzemeler sonuncusu bakımından yoğun olarak araştırılmışlardır. Toksik bir element olan kadmiyumun insan bedenlerine enjekte edilmesinin uygunsuz olabileceği korkusuyla birlikte yürüten bu araştırmalarda primatlarla ilgili elde edilen yeni sonuçlar bu korkuyu hafifletiyor gibi görünüyor. Nanomakineler ve nanobilgisayarlardaki potansiyel uygulamalarla birlikte nanoçubuklar, nanoteller, nanofiberler, nanokristalitler, nanokemerler ve nanotüpler de üretildi.

Kimya, bilgisayarlı hesaplamanın minyatürleştirilmesinde başat bir rol oynamaya hazırlanmaktadır. 1950'lerin oda kaplayan ilk bilgisayarlarıyla bugünün küçük, her yerde bulunan, güçlü bilgisayarları arasındaki ebat ve enerji tüketimi farkının toplum ve gündelik hayat üzerindeki etkilerini gördük. Bunun anlamı metreler ölçüsünden santimetreler ölçüsüne bir adım, lineer boyutta yüz kat azalma, hacim ve ağırlıkta bir milyon kat azalma, oda boyutundan cep boyutuna küçülme ama hesaplama gücünde büyük bir artış demektir. Moleküler hesaplamadaki gelişmeyle birlikte mevcut ilerlemenin meyvesini vermesi durumunda, kapasitedeki artışın eşlik ettiği ebattaki bu küçülme ve bunları takip eden sosyal etkideki artış tekrarlanabilir.

Hesaplamalı yöntemler iki özelliğe dayanır: bellek ve manipülasyon (yönlendirme). Belleği moleküler seviyede elde etmek oldukça kolaydır. Bir molekül sonrasında muhafaza edilecek ve belli bir gözleme açık olacak bir biçim değişikliğine uğratabilir. Örneğin molekül 1'i temsil edecek şekilde belirli bir biçime ve 0'ı

temsil edecek şekilde farklı bir biçime yönlendirilebilir. Çubuk şekilli bir molekülün her iki ucuna da kayabilen ve orada kalabilen halka benzeri bir molekül örneğinde olduğu gibi, çeşitli yapısal değişiklikler artık gerçekleştirilebilir durumdadır. Manipülasyon daha zordur ama belli bir girdiden belirli bir çıktının elde edilmesini sağlar. Kimya tümüyle girdilerden çıktılar elde etmekle (kimyasal reaksiyonlar şeklinde) ilgilidir. İki reaktif karşılaştığında gerçekleşen ışık çıkışı da buna dahildir.

Doğa halihazırda DNA'nın gelişimindeki veri depolama problemini çözmüş ve söz konusu bilgiyi çıkarma ve onu organizmalara iletme yöntemlerini geliştirmiştir. Belleklerimiz beynimizde henüz bilinmeyen şekillerde kimyasal olarak kodlanırlar, muazzam ama kırılğan ve kusurlu bir şekilde depolanmış bir veritabanı sağlarlar. DNA molekülleri, basit aritmetik işlemleri gerçekleştirmek ve hasar görmüş bir protein molekülüyle karşılaşmaları halinde gerekli tedaviye “karar vermek” için kullanılmışlardır. Bilgisayar yapmaktansa bilgisayar olmak hâlâ bilimkurgudur ancak ufukta bunun ipuçları vardır.

Yeni Boyutlar

Son zamanlarda dikkat çeken bir gelişme de, kimyanın üçten iki boyuta geçişi olmuştur. Hepimizin bildiği kurşun kalemin dolgu malzemesi olan grafit, karbon elementinin bir formudur. Grafitin yapısındaki karbon atomları kümes teli gibi tabakalar oluşturur. Safsızlıklar mevcut olduğunda, bu tabakalar birbirleri üzerinden kayıp bir sayfada işaret bırakabilirler veya bir yağlayıcı olarak işlev görebilirler. Tek tek tabakalar *grafen* olarak adlandırılırlar. Grafenlerin çok basit bir yöntemle katı grafitten koparılabilmeleri, Andre Geim ile Konstantin Novoselov'un 2010 Nobel Ödülünü (fizik için) kazanmasına yardımcı olmuştur.

Grafenin kendisi şu anda fizikçiler için büyük bir ödül, mühendisleri içinde potansiyel olarak görülüyor. Kırılma noktası çeliğinkinden 200 kat daha büyük olan grafen bilinen en güçlü malzemelerden biridir. Aynı zamanda çok hafif olan grafenin metre-kare başına ağırlığı gramdan azdır. Nobel ödül metni alıntısında, grafitten yapılmış “1 metre-karelik bir hamak 4 kg'lık bir kediye taşır ama sadece kedinin bıyığının bir teli kadar ağırlığa

sahip olur” denilmektedir. Grafitin sıradışı elektronik, termal ve optik özellikleri de büyük ilgi görmektedir. Potansiyel uygulamaları arasında öne çıkanlar, hareketli aksamaları olmayan ve farklı yüzeylere kalıplanabilen hoparlörlerin üretilmesi ve suyun süzülmesi yoluyla votkanın oda sıcaklığında distilasyonunun gerçekleştirilmesidir.

Kimyacılar bu iki boyutlu altına ilişkin uğraşlarında nerede bulunuyorlar? Grafen şu anda, farklı türlerdeki molekülleri ayırmada bir elek olarak kullanımı (biyoyakıt üretimi hedeflenmektedir) ve tuzdan arındırma (deniz suyunun içilebilirliğinin sağlanması) örneklerinde olduğu gibi laboratuvar teknikleri için geliştirilmektedir. Grafenin kendisi gaz moleküllerini kolayca adsorbe etmese de, yüzeyi –neredeyse tamamen yüzeyden ibarettir– değişik gaz çeşitlerine karşı duyarlı olması için kimyasal olarak modifiye edilebilmektedir. Gazların adsorpsiyonu, alttaki grafen tabakaların elektriksel özelliklerini değiştirerek söz konusu gazların varlığının tespit edilebilmesini sağlamaktadır.

Kimyacılar doğal olarak, bu iki boyutlu harikalar diyarının başka malzemeler tarafından ikame edilip edilemeyeceğini ve bu malzemelerin de mucizevi görünen grafenin eksikliklerini aşip aşamayacağını merak etmektedirler. Grafen benzeri bir formdan oluşan yeni malzemeler; molibden disülfür, tungsten disülfür gibi bileşikler ile titanyum karbür bazlı daha tuhaf maddeler elektrokimyasal olarak yapılmışlardır. Bu iki boyutlu maddelerin bazıları, grafenin yoksun olduğu yarıiletken özellikler göstermektedirler ve halihazırda entegre edilmiş devrelere dönüştürülmüş durumdadırlar. Grafenin kendisi kimyasal modifikasyona açıktır. Yöntemlerden biri, onu grafen oksit oluşturmak üzere yükseltgectir. Bu malzemenin pulları “grafen kâğıdı” tabakaları halinde toplanmaktadır. Malzeme bilimciler grafen kâğıdının, ayarlanabilir elektriksel, termal, optik ve mekanik özelliklere sahip tümüyle yeni bir malzeme sınıfının temelini oluşturabileceğini umut etmektedirler.

Yeni Uygulamalar

Kimyacıların fizikçiler, biyologlar ve mühendislerle işbirliği içinde geliştirdikleri yeni malzemelerin uygulamaları öylesine

geniştir ki Alaaddin'in bu harikalar mağarasında ayakta durmaktan fazlasını yapamayacağım ve çok önemli bir gelişmeyi veya örneği kaçıracığımı bile bile rastgele bir noktaya değineceğim. Yine de, sadece birkaç örnek üzerinden yaşamın bu işbirliğiyle dönüştürüldüğü izlenimini vermeyi umuyorum.

Kendi kendini temizleyen camla başlıyorum. Emekten tasarruf sağlayan bu gelişme, fotokimyaya ve moleküller arasındaki çekme veya itme kuvvetlerinin, özellikle de bir yüzeyi "hidrofobik", yani su itici yapan özelliklerin anlaşılmasına dayanır. Tipik bir kendi kendini temizleyen cam ince bir şeffaf titanyum dioksit katmanıyla kaplıdır. Bu katman üzerine biriken tüm kirleri kimyasal olarak parçalayarak güneş ışığına tepki verir. Su itici yüzey, her türlü suyun, özellikle de yağmur suyunun, bu fotokatalitik parçalanmanın ürünlerini geride kirli çizgiler bırakmadan alıp götürdüğü anlamına gelir.

Diğer bir örnek olarak akıllı kumaşları gösterebilirim. Akıllı kumaşlar, muhtemelen kullanıcının sıcaklık dağılımını ve daha kaba bir şekilde ruh halini temsil eden farklı renklerde parlayabilirler veya görünümlerini elektriksel olarak değiştirerek ortam koşullarına veya kullanıcının isteklerine cevap verebilirler. Kumaşlar sadece eğlenceli olmakla kalmamalı, aynı zamanda yıkandıklarında çamaşırların içinden geçme zorluklarına ve yıpranma, buruşma ve kırışma stresine karşı da dayanıklı olmalıdır.

Kataliz, daha önce endüstri için belirttiğim üzere oldukça önemlidir ancak içten yanmalı motorlardan kaynaklanan kirliliğin ortadan kaldırılması söz konusu olduğunda bu önem hayati bir anlam taşır. Artık hepimizin otomobillerinde var olan katalitik konvertör son derece karmaşık bir kimyadan yararlanır. Bu konvertör motor soğuk bir halde çalışmaya başlar başlamaz (kirliliğin önemli bir kısmı sonra meydana gelir) hızlı bir şekilde devreye girmeli ancak motor dokunulamayacak kadar sıcak iken de görevini yapmaya devam etmelidir. Dahası, katalizörler azot oksitlerin zararsız azota indirgenmesini sağlamakla kalmamalı, aynı zamanda karbonmonoksitin karbondioksite yükseltgenmesini başarmalı ve yanmamış hidrokarbon yakıtın da yükseltgenmesini tamamlamalıdır. Sadece bu da değil. Katalizörler aynı zamanda motor çalışırken oluşan farklı koşullara, örneğin yakıt/hava karışımının fakirliğine veya zenginliğine ve hızlanma sırasındaki ani dalga-

lanmalara da cevap vermelidir. Bütün bunların kimyacılar tarafından geliştirilmesi gerekiyor.

Belki de modern kimyada hastalıklarla savaşmak, ağrıyı hafifletmek ve yaşam deneyimini artırmak için yeni ilaçlar geliştirmekten daha önemli bir şey yoktur. *Genomik* –genlerin ve protein üretimini yöneten karmaşık etkileşimlerinin tanımlanması– farmakogenomikteki güncel ve gelecekteki gelişmelerin merkezinde yer alır. Farmakogenomik, genetik bilginin bireylerin ilaca verdiği yanıtı nasıl değiştirdiğini inceler ve kişiselleştirilmiş tıp olasılığını sunar. Kişiselleştirilmiş tıpta, bir ilaç kokteyli bireyin genetik kompozisyonuna göre uyarlanır.

Proteomik –bir organizmanın tüm protein tamamlayıcılarının (komplementlerinin) incelenmesi– genomikten bile daha ayrıntılıdır. Proteinler, yaşamın işler yüzü olup çoğu ilacın etki ettiği yerlerdir. Hesaplamalı kimya burada tıbbi kimyanın temel ittifak gücüdür. Çünkü eğer bir hastalığa karışan bir protein tanımlanabilir ve onun aksiyonunu sonlandırmak istenir ise, o durumda proteinin aktif bölgesini işgal edip bloke edebilecek olası moleküllerin bilgisayar modellemesi akıllı ilaç keşfinin ilk adımıdır. Bu da verimliliğe ve kişiselleştirilmiş tıbbın etkinliğine giden başka bir yoldur.

Yeni Keşifler

Kimyadaki ilerlemelerin tümüyle onun uygulamalarıyla sınırlı olduğu izlenimini vermek istemiyorum. Söz konusu uygulamalar kesinlikle manşetleri süsleyen şeyler olup hepimizi etkiliyorlar. Bununla birlikte kimyacılar madde hakkında daha fazla şey keşfetmeyi ve onun nasıl değiştirilebileceğini bulmayı amaçlayan temel çalışmalarda da yer alıyorlar. Giderek artan bir şekilde, doğanın işleyişini moleküler düzeyde tanıyorlar, onun yollarını öğreniyorlar ve şaşırtıcı olabilecek olanların yanı sıra varlıkların en değerlisi olan bilgi haricinde herhangi bir doğrudan uygulamaya sahip olmayan özellikleriyle karşılaşıyorlar. Temel araştırma bu uğraş için kesinlikle hayati önem taşımaktadır çünkü öngörülemeyen keşiflere, öngörülemeyen bilgilere ve olağanüstü zekâların öngörülemeyen uygulamalarına yol açmaktadır.

Süslü bir kapanış konuşması için burada tek bir benzersiz, özel, pür akademik bir keşiften bahsedeceğim: Kimyacıların keş-

fine göre doğa kendine düğüm atabiliyor. Araştırmacıların şaşkınlık ve sevinç içinde keşfettikleri bir molekül sınıfı kendine kendiliğinden yonca düğümü atabiliyor.* Bu çalışmada konusunda bir yorumcu (Fraser Stoddart) şunları belirtti: “Yeni araştırma, sentetik ve fiziksel organik kimyanın en iyi yönlerinden bazılarını gösteriyor ve stereokimyanın en zarif haliyle ifade edildiği ender rastlanan örneklerden birini oluşturuyor.”

Modern kimyanın ilham verdiği neşe, entelektüel keyif böyle bir şeydir. Umarım bu sayfalar, bu olağanüstü disiplinle ilgili görüş açınızı kirletmiş olabilecek anıları bir ölçüde silmiştir ve bu keyfi bir miktar siz de paylaşmışsınızdır.

* Naftalin diimid bazlı sulu disülfür kastedilmektedir. Ayrıntılı bir inceleme için *Science* dergisinin Kasım 2012 tarihli 6108. sayısındaki “Discovery of an Organic Trefoil Knot” başlıklı makaleye bakınız. –ç.n.

Grup

Periyodik Tablo

Periyot

1 H Hydrogen																	2 He Helium						
3 Li Lithium	4 Be Beryllium																	5 B Bor	6 C Karbon	7 N Azot	8 O Oksijen	9 F Fluor	10 Ne Neon
11 Na Sodyum	12 Mg Magnezyum																	13 Al Aluminyum	14 Si Silisyum	15 P Fosfor	16 S Kükürt	17 Cl Klor	18 Ar Argon
19 K Potasyum	20 Ca Kalsiyum	21 Sc Skandiyum	22 Ti Titanyum	23 V Vanadyum	24 Cr Krom	25 Mn Mangan	26 Fe Demir	27 Co Kobalt	28 Ni Nikel	29 Cu Bakır	30 Zn Çinko	31 Ga Galyum	32 Ge Germaniyum	33 As Arsenik	34 Se Selenyum	35 Br Brom	36 Kr Kripton						
37 Rb Rubidyum	38 Sr Stronsiyum	39 Y Ytiryum	40 Zr Zirkonyum	41 Nb Niyobyum	42 Mo Molibden	43 Tc Teknesiyum	44 Ru Rutenyum	45 Rh Rodiyum	46 Pd Palaedyum	47 Ag Gümüş	48 Cd Kadmilyum	49 In Indiyum	50 Sn Kalay	51 Sb Antimon	52 Te Tellür	53 I Yod	54 Xe Ksenon						
55 Cs Sesiyum	56 Ba Baryum	57-71 Lantanitler	72 Hf Hafnyum	73 Ta Tantal	74 W Volfram	75 Re Reniym	76 Os Osmiyum	77 Ir Iridiyum	78 Pt Platin	79 Au Altın	80 Hg Cıva	81 Tl Taliyum	82 Pb Kurşun	83 Bi Bismut	84 Po Polonyum	85 At Astatin	86 Rn Radon						
87 Fr Fransiyum	88 Ra Radyum	89-103 Lantanitler	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnyum	106 Sg Seborgiyum	107 Bh Bohrtyum	108 Hs Hassium	109 Mt Meitneriyum	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonyum	114 Fl Fleroviyum	115 Mc Moscoviyum	116 Lv Livermoriyum	117 Ts Tennessie	118 Og Oganesson						
Lantanitler			57 La Lantan	58 Ce Seryum	59 Pr Praseodim	60 Nd Neodimyum	61 Pm Prometyum	62 Sm Samaryum	63 Eu Eвропыum	64 Gd Gadolinyum	65 Tb Terbiyum	66 Dy Dizprazyum	67 Ho Holmiyum	68 Er Erbiyum	69 Tm Taliyum	70 Yb Ytterbiyum	71 Lu Lutetsiyum						

Terimler Sözlüğü

Alkali: Suda çözünen baz; bazın sulu çözeltisi.

Aminoasit: $\text{NH}_2\text{CHRCOOH}$ formülüne sahip organik bileşik (R, $-\text{CH}_3$ veya daha karmaşık bir atom grubunu simgeler).

Analiz: Maddelerin teşhisi, miktarlarının ve konsantrasyonlarının tayini.

Anyon: Negatif yüklü atom veya atom grubu.

Ara ürün: Bkz. *Reaksiyon ara ürünü*.

Asit: Proton vericisi (bkz. *Lewis asidi*).

Atom: Bir elementin en küçük parçası; etrafı elektronlarla çevrili bir çekirdekten oluşan yapı taşı.

Baz: Proton alıcısı (bkz. *Lewis bazı*).

Bileşik: Birbirine bağlanmış elementlerin spesifik bir birleşimi.

Çözünen: Çözücü içinde dağılan madde.

Elektrofil: Elektronca zengin (negatif) bölgelere ilgi duyan kimyasal tür.

Elektrofilik yer değiştirme: Reaktantlardan birinin elektrofil olduğu yer değiştirme reaksiyonu.

Elektrokimya: Kimyasal reaksiyonların elektrik üretiminde ve elektriğin de kimyasal değişim meydana getirmede kullanılmasını konu alan bilim dalı.

Elektroliz: Bir elektrolitten elektrik akımı geçirerek kimyasal reaksiyon gerçekleştirme.

Elektron: Negatif yüklü atomaltı parçacık.

Element: Kimyasal olarak kendinden daha basit maddelere parçalanamayan ve tek bir atom cinsinden oluşan madde. Elementler ve sembollerinin bir listesi için önceki sayfadaki Periyodik Tabloya bakınız.

Eşleşmemiş elektron çifti: Bağ yapımına doğrudan katılmamış elektron çifti.

Foton: Bir elektromanyetik ışıma parçacığı.

Geçiş metalleri: Periyodik Tabloda 3'ten 12'inci gruba kadarki elementler.

Genomik: Genlerin ve protein üretimini yöneten karmaşık etkileşimlerinin tanımlanması.

Hidroksil iyonu: OH^- .

Hidronyum iyonu: H_3O^+ .

İkili bağ: İki atom arasındaki iki elektron çifti paylaşımı.

İndirgenme (Redüksiyon): Kimyasal bir türün elektron alması.

İyon: Elektriksel olarak yüklü atom veya atom grubu (bkz. *Anyon* ve *Kasyon*).

İzotoplar: Atom numaraları (proton sayıları) aynı, nötron sayıları farklı çekirdeklere sahip atomlar.

Karbonhidrat: $(\text{CH}_2\text{O})_n$ genel formülüne sahip organik bileşik.

Karışım: İki veya daha fazla maddenin yeni kimyasal bağlar oluşturmaksızın bir araya gelmesi.

Kataliz: Kimyasal bir reaksiyonun, bu reaksiyondan hiçbir değişime uğramadan çıkan bir madde (katalizör) vasıtasıyla hızlandırılması.

Kasyon: Pozitif yüklü atom veya atom grubu.

Kırınım: Elektromanyetik dalgaların, ilerleme yolları üzerindeki bir nesne nedeniyle girişim oluşturmaları.

Kimyasal bağ: İki atom arasındaki elektron paylaşımı.

Kimyasal tür: Atom, molekül, iyon veya radikal.

Kompleks: Bir merkezi metal atomu ve ona bağlı ligandlardan oluşan atom grubu.

Lewis asidi: Elektron çifti alıcısı.

Lewis asit-baz reaksiyonu: Bir Lewis asidi ile bir Lewis bazı arasında-
ki $\text{A} + \text{:B} \rightarrow \text{A-B}$ reaksiyonu

Lewis bazı: Elektron çifti vericisi.

Ligand: Bir kompleks bileşikte merkezi metal atomuna bağlı atom grubu.

Molekül: Bir bileşiğin en küçük parçası; belirli bir dizilişteki atomların belirli bir kombinasyonu.

Monomer: Polimerizasyon reaksiyonunda kullanılan küçük molekül.

Nükleofil: Elektronca fakir (pozitif) bölgelere ilgi duyan kimyasal tür.

Nükleofilik yer değiştirme: Reaktantlardan birinin nükleofil olduğu yer değiştirme reaksiyonu.

Polimer: Polimerizasyon reaksiyonunun ürünü.

Polimerizasyon: Küçük moleküllerin (monomerlerin) birbirine kimyasal bağlarla bağlanarak uzun zincirler oluşturmaları.

Protein: Aminoasitlerin oluşturduğu karmaşık bileşik.

Proteomik: Bir organizmanın tüm protein tamamlayıcılarının incelenmesi.

Proton: Hidrojen atomunun çekirdeği.

Radikal: En az bir eşleşmemiş elektronu bulunan kimyasal tür.

Reaksiyon ara ürünü: Reaktantlar ve ürünler haricinde reaksiyon mekanizmasına dahil olan kimyasal tür.

Reaktant: Belirli bir kimyasal reaksiyondaki başlangıç maddesi.

Reaktif: Çeşitli reaksiyonlarda reaktant olarak kullanılan madde.

Redoks reaksiyonu: İki kimyasal türden birinin yükseltgenip diğerinin indirgendiği reaksiyon; elektron transfer reaksiyonu.

Sentez: Basit kimyasal bileşenlerden karmaşık maddeleri üretme.

Spektroskopi: Bir örnek tarafından soğurulan veya yayılan ışımının incelenmesi.

Süperiletkenlik: Elektrik dirençsiz iletme yeteneği.

Titrasyon: Bir asidin (veya bazın) konsantrasyonunu, bu asidi (veya bazı) nötralleştirmek için gereken alkali (veya asit) hacmini ölçerek tespit etme.

Tuz: Asit-baz reaksiyonu sonucu oluşan iyonik bileşik.

Ürün: Kimyasal reaksiyon sonucu oluşan madde.

Yer değiştirme reaksiyonu: Bir molekülde bulunan bir atom veya atom grubunun bir başkasıyla yer değiştirdiği reaksiyon.

Yeşil Kimya: Kimyasal imalat süreçlerinin çevre üzerindeki etkisini, malzeme kullanımı ve atık bertarafı hususundaki katı talimatlarla en aza indirmeyi amaçlayan bilim dalı.

Yükseltgenme (Oksidasyon): Kimyasal bir türün elektron vermesi; oksijenle reaksiyon.

Zincirleme reaksiyon: Bir molekül, iyon veya radikalın bir başkasına, oluşan ürünün bir diğerine, vs. saldırması sonucu gerçekleşen ardışık reaksiyon.

Okuma Önerileri

Kimyasal termodinamik konusundaki bir inceleme için *Four Laws that Drive the Universe* (2007) [Evreni Yöneten Dört Yasa, çev. Eser Bakdur, İstanbul: Alfa Yayınları (2014)] kitabıma ve bunun yeniden yayımlanmış hali olan *The Laws of Thermodynamics: A Very Short Introduction*, Oxford: Oxford University Press (2010)'e bakınız.

Kimya prensiplerine daha kapsamlı bir giriş için *Physical Chemistry: A Very Short Introduction*, Oxford: Oxford University Press (2014) kitabıma bakınız.

Bu kitapta kısaca değinilen kimyasal reaksiyonların çeşitliliği *Reactions: The Private Life of Atoms*, Oxford: Oxford University Press (2011) kitabımda resimli olarak detaylandırılmıştır.

Kimya prensipleri ve teknikleri üzerine kapsamlı bir inceleme için; Loretta Jones ve Leroy Laverman'la birlikte yazdığımız *Chemical Principles: The Quest for Insight*, New York: W.H. Freeman & Co (2013) [daha önceki versiyonu için *Genel Kimya: İlkeler ve İçyüzünü Kavrama*, çeviri editörü Ali Rehber Türker, Ankara: Palme Yayınevi (2013)] kitabına bakınız.

Hiç kuşkusuz başka kişiler de kimya üzerine harika ve kapsamlı eserler ürettiler. Oxford University Press'ten çıkmış *Very Short Introductions* serisi özellikle dikkat çekicidir ve şunları içerir:

Molecules, Philip Ball (2003)

The Elements, Philip Ball (2004) [*Elementler*, çev. Nursu Örgü, Ankara: Dost Kitabevi Yayınları (2015)]

The Periodic Table, Eric Scerri (2011)

Modern trendler ve kimya uygulamaları üzerine bir inceleme için *The New Chemistry*, ed. Nina Hall, Cambridge: Cambridge University Press (2000) kitabına bakınız.

A

absorpsiyon 63, 64, 65
adenozin trifosfat 75
adli kimyayı 20
adsorbe 62, 96
ağır hidrojen 26
ağır su 26
aktivasyon bariyerleri 43
aktivasyon enerjisi 43
Alfalfa 75
alkali 49, 50, 103
alüminyum oksit 54
ametalik 35
aminoasit 71, 72
amonyak 45, 75, 83
amputasyon 82
analitik kimya 20
analiz 9, 12, 20, 61, 62, 64, 71, 74
anilin moru 80
anorganik kimya 17, 19, 20
antibiyotikler 82
anyon 30, 34, 35
aşağıdan yukarıya 93
asetik asit 49
asit 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 62, 102, 103
ateşböcekleri 44
atomaltı parçacık 101
atomik kuvvet mikroskopisi 68
atomik spektroskopisi 63
atomik yapı 39
atomlar 13, 24, 28, 30, 33, 34, 49, 58, 68, 69, 102
atom numarası 25, 26
attosaniye zaman ölçeği 92
ayırma 48, 62, 72
azot 24, 25, 27, 32, 45, 58, 65, 74, 75, 97

B

bağ 29, 31, 32, 33, 34, 39, 40, 44, 54, 57, 58, 60, 102
bağ oluşumu 33
barut 85
baz 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 61, 101, 102, 103
Bhopal 84, 87, 88
biyokimya 20
biyoloji 15, 16, 21, 83
biyoyakıt 96
Bolinus brandaris 80
Bosch, C. 45, 75
boya 47, 58, 59, 80
Bragg, W. 67,
Brønsted, J. 49
bulut katmanları 27

C

C₆₀ 69
cam 79, 80, 97
çömlleklerin 79
çözücülerin 87

D

Dalton, J. 12
değerlik 39
denge 45
dinamit 85
Dirimselfilik 18
distilasyon 48, 62
döteryum 26
dügüm 99
düzensizlik 38, 41, 46

R

radikal 55, 56, 102
radyoaktivite 64
Reaksiyon Hızları 42
reaksiyon mekanizmasını 42
reaktant 43, 59, 60, 103
redoks reaksiyonu 54
renkli cam 80
Röntgen, W. 67
Rutherford, E. 24

S

sabun 49
salyangozları 80
sentez 61
seramik 78, 79
serbest radikal 55
silika 79
simya 14
siyanür 18, 57, 58
sodyum 30, 31, 35, 50, 63, 74
sodyum klorür 30, 50, 74
sodyum sülfat 50
sofra tuzu 74
spektroskopi 17, 63
spektroskopisi 64
spin 33, 64
sülfürik asit 49
su molekülü 51, 57
süperiletkenlik 79

T

Taramalı tünelleme mikroskopisi
(AKM) 68
tartım 12
teflon 56
tekli bağ 33
terazi 11
termodinamiğin ikinci kanun 15
termodinamik 14, 41, 105
termokimya 40

Thomson, J.J. 51

Tire moru 80
titanyum dioksit 97
titrasyon 50, 61
toksisite 86
toz kırım deseni 68
trityum 26
tuz 29, 31, 50, 52, 93

U

üçlü bağ 33
ultraviyole (morötesi) ışımaya 63
Union Carbide 84
ürün 52, 62, 72, 84, 86, 87, 101
UV-görünür bölge spektroskopisi 64

W

Watson, J. 67
Wilkins, M. 67

X

X-ışını kırınımı 67
X-ışınları 67, 68

Y

yakıt hücreleri 77
yangın 56
yangın geciktirici 56
yapı 12, 16, 39, 57, 66, 91, 101
yarıniletkenler 19, 21
yaşam süresi 87
yer değiştirme reaksiyonu 59,
101, 102
yerküre 76
yeşil kimya 20
yukarıdan aşağıya 93
yükseltgenme 52, 53, 54
yüzeyler 68, 69

Z

zehirli gaz 83
zincirleme reaksiyon 56

