

# SÜRDÜRÜLEBİLİR DÜNYA UMUDU YEŞİL KİMYA

Endüstri devriminden sonra yaşam standartlarımız yükseldi. Yaşamı kolaylaştıran birçok ürün geliştirildi, insan ömrü uzadı. Ancak kimsenin; ne tüketicilerin, ne bilimadamlarının ne de endüstri kuruluşlarının aklına kimisi zehirli, binlerce tonluk atığın havaya, suya ve toprağa karıştığı gelmedi. Ekonominin doğrusal yapısı içinde yalnızca yapılan işlerin başarıları ölçüldü, miraslarına bakılmadı. Çok geçmeden ciddi çevre sorunları baş gösterdi ve endüstri kuruluşları, ekosistemi etkileyen atıkları daha fazla görmezlikten gelemediler. Atıkların azaltılması, tekrar kullanımı ve gerikazanımla başlayan yeşil hareket, toplumun doğa koruma konusunda farkındalığının artması, sürdürülebilirliğin 20. yüzyılın sloganlarından biri haline gelmesiyle dalga dalga yayıldı. Kimya alanı da bu akımdan etkilendi ve 1990'larda yeşil kimya araştırma, üretim ve eğitim projeleriyle çiçek açtı.



Geçtiğimiz Haziran ayında, Washington Ulusal Bilim Akademisi'nde EPA'nın (ABD, Çevre Koruma Dairesi) düzenlediği törenle son yeşil kimya çalışmaları görücüye çıktı. EPA, dokuz yıldır araştırma, küçük işletmeler, alternatif kimyasal yollar, alternatif tepkime şartları ve güvenli kimyasallar tasarlama dallarında ödüller dağıtıyor. Yeşil kimya yaklaşımıyla 200 bin ton zararlı maddenin ve 80 bin ton karbon dioksit emisyonunun önlenmesi, araştırmacıların doğru yolda olduğunu gösteriyor. Kimyanın kirliliği düşünülürse, insan ve ekosistem sağlığını ilke edinen bu gelişmeler sevindirici. Üstelik, yeşil kimya yaklaşımının yalnızca doğa dostu değil, ekonomik açıdan da verimli olduğunun ortaya çıkması yeni araştırmalara ışık yakıyor. Çalışmalar, kimyasal işlemlerde yeşil katalizörlerin ve yeşil çözücülerin geliştirilmesi, tarım ve ilaç sektörlerinde yeşil kimyanın kullanılması yönünde artıyor.

Kimyasal işlemlerde kullanılan organik çözücülerin çoğu yanıcı. Çözücüler, havayla kimyasal tepkimeye girdik-

lerinde patlamaya neden olabiliyorlar. Üstelik çözücüler, yenilenebilir özellikte değil. Güvenli kimyasallar arayan yeşil kimya, çözücülerini geliştirmek için işe koyuldu. Bilinen en iyi ve doğal çö-



zücü su. Araştırmacılar, kimyasal tepkime ya da ayrıştırma işlemlerinde suyu kullanmanın yolunu buldular ve kritiğe yakın suyla iyi bir çözücü elde ettiler. Sıcaklık ve basınç arttıkça madde, kritik bir noktaya ulaşıyor. Bu noktada ne sıvı ne de gaz halde oluyor; iki hal arasındaki sınır kalkıyor. İşte, Georgia Teknoloji Enstitüsü'nden araştırmacılar kritiğe yakın koşullar altında yani 275°C sıcaklık ve 60 bar atmosfer basıncında suyun hidrojen atomları arasındaki bağın kırılmasını ve organik substratların (enzimlerin etki ettiği moleküllerin) çözünmesini sağladılar. Tepkime tamamlandıktan sonra sıcaklık ve basınç düşürüldü. Faz ayrımıyla istenen madde elde edildi. Üstelik tepkime sırasında hidrojen (H+) ve hidroksit (OH-) iyonlarının doğal katalizörler olarak işe yaradıklarını gözlemlediler. Bu şekilde kimyasal tepkimenin hızı artırılırken, katalizörlerin gerikazanımı sağlandı. Üstelik, çözücü kullanımından kaynaklanan atık yan ürünlerin de önüne geçildi. Araştırmacılara göre, karşılaşılan kimya problemlerinin disiplinlerarası çözümleri bulunabilir. Gele-

neksel yaklaşımlardan uzaklaşıp, tepki me ve ayrıştırma işlemlerini ayrı düşünmekten vazgeçmek gerekir. Aynı çözücü kimyasal işlemin tüm basamaklarında kullanılabilir. Ayrıştırma işlemlerinin, ekonomik faturasının toplam işlemin %60-80'ini bulduğu, üstelik büyük hacimde organik çözücü gerektirdiğinden bu işlemlerin çevreye etkisinin büyük olduğu vurgulanıyor.

## Biyolojik Yüzey Etkin Maddeleri

Suyun yüzey gerilimini düşüren özellikleriyle yüzey etkin maddeleri, evlerimizde kullandığımız sabunların, deterjanların hatta şampuanların kimyasalları. Gittikçe hijyenleşen dünyamızda farklı kullanımlara yönelik temizlik maddelerinin artması, zehir etkileri bilinen yüzey etkin maddelerinin de evlerimize daha çok girmesine neden oluyor. Hammaddesi petrol olan yüzey etkin maddelerinin 2000 yılında dünya çapındaki üretimi 18 milyon ton. Bu rakam, yeşil kimyanın yüzey etkin maddeleri üretiminde neden devreye girdiğini açıklıyor. Yeşil kimya, petrol yerine doğal hammaddelerin kullanılmasını öngörüyor. Bir şirket, ramnolipidlerden ürettiği biyolojik yüzey etkin maddeler geliştirdi. Ramnolipidler, toprakta ve bitkilerde yaşayan bakterilerden elde edilen, yapılarında bir şeker grubuyla uzun, dallanmış yağ asitleri içeren doğal glikolipidler. Yüksek yüzey etkin özellikleri bu bileşiklerle çekici hale getiriyor. Zehirlilik ince-



lemeleri de diğer yüzey etkin maddelerine göre olumlu sonuçlar veriyor. Gerçekte ramnolipidler, kozmetik, şampuan, asfalt ve beton, deri üretiminden hidrokarbonlarla ağır metallerin topraktan temizlenmesi, saklandıkları depolardan petrokimyasalların temizlenmesi ve rafineriye geri kazandırılmasına kadar bir çok alanda kullanılıyor. Tarımsal uygulamalardaysa mantar oluşumunu engelleyerek bitki zararlılarının etkisini azaltıyorlar. Şirketin başkanı, ramnolipidler üzerinde 50 yıldır çalışıldığını, ancak bileşiğin ticari üretimi için uygun kimyasal yolları kendilerinin bulunduğunu açıklıyor.

## Yeşil İlaçlar

Yeşil kimyanın ilgi alanlandırılan biri de ilaç endüstrisi. Bu alandaki uygulamalarda alternatif kimyasal yollar göze çarpıyor. Bir ilaç şirketi, kansere karşı kullanılan Taxol adlı ilacın üretimini geliştirdi. Taxol, paclitaxel denen doğal bir maddeden yapılıyor. Bu madde, Pasifik porsuk ağacının (*Taxus brevifolia*) kabuğundan elde ediliyor. Ancak, ağacın kabuğundan ayrıştırılan paclitaxelin miktarı düşük ve işlem sonunda ağaç ölüyor. Üstelik, bir ağacın olgunlaşması 200 yıl alıyor ve maddeyi ağaçtan ayırtmak yetmiyor, ilaç 40 basamakta üretiliyor. Bu üretim, ne ekonomik, ne de ekolojik açıdan kullanışlı değil. Çözüm olarak, 1995'de Avrupa porsuk ağacının (*Taxus baccata*) yapraklarından, paclitaxelden daha karmaşık yapıda bir bileşik çıkarıldı. Bu işlem için ağaca zarar verilmedi. Ancak, bileşikten ilacın elde edilmesi, 11 basamak kimyasal tepkime, 7 basamak ayrıştırma ile gerçekleşiyordu. Bu arada çözücüler ve diğer organik kimyasalları unutmamak gerek. Bristol-Myers Squibb, Çin porsuk ağacının (*Taxus chinensis*) yapraklarını kullandı. Alternatif kimyasal yolda, hücre kül-

Plastik elde etmek için her yıl neredeyse 2 milyon ton adipik asit kullanılıyor. Temel olarak, bu asitin yapımında başlangıç maddesi, kanserojen bir kimyasal olan benzen. Yeni geliştirilen bir işlemle gen aktarımlı bakteriler, biyo-katalizör olarak işe yarıyorlar. Bakteriler, basit şeker olan glikozu, benzen yerine işliyorlar. Böylece, adipik asit yapmak için büyük miktarda zararlı kimyasal maddeye gerek kalmıyor!



## Yeşil Kimyanın Tarihçesi

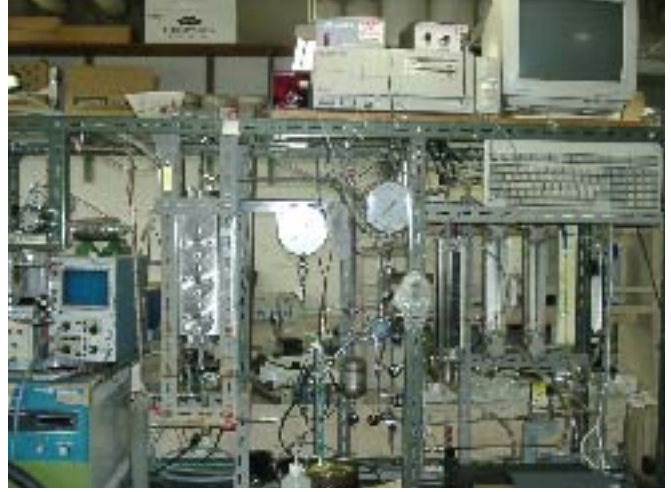
Yeşil kimya, yeni bir teknoloji değil, kimyasal işlemlerin tasarımı, geliştirilmesi ve uygulaması sırasında insan ve ekosistem sağlığına zarar veren maddelerin kullanımının önlenmesi ya da azaltılmasına yönelik bir yaklaşım. Bu yaklaşımın temeli, 1990'da ABD'de yürürlüğe giren Çevre Kirliliğini Önleme Yasası'na dayanıyor. Bu yasayla, ilk kez kirliliğe neden olan atıkların oluşumunun önlenmesine odaklanıldı ve 1991'de EPA (ABD, Çevre Koruma Dairesi) içinde Kirliliği ve Zararlı Atıkları Önleme ofisi kuruldu. O zamanlar EPA'da çalışan Paul T. Anastas, yeşil kimya teriminin babası. EPA, 1995 yılından beri bu alandaki çalışmalarını sürdürüyor. Bu yaklaşım, İngiltere, Almanya, Japonya, Avustralya ve İtalya'ya da yayıldı ve bu ülkeler de yeşil kimya çalışmalarını desteklemeye başladı. 1997'de yeşil kimya, sivil bir organizasyona dönüştü. Yeşil Kimya Enstitüsü adıyla bilinen organizasyon, sürdürülebilir, temiz üretim teknolojilerinin yaygınlaşması için çalışmalar yürütüyor. Şu anda 17 ülkenin işbirliği sağlanmış durumda.

türleri elde edilerek, fermentasyon işleminden geçiriliyor ve kromatografi, kristalleştirme işlemleri sırayla uygulanarak paclitaxele ulaşıyor. Bu işlemler, kimyasal dönüşüm gerektirmiyor. Son işlemlerde organik çözücüler kullanılıyor, ancak eskiye oranla bunların sayısı 15'ten 5'e düşüyor. İşlem basamakları azaldığı gibi enerji gereksinimi de azalıyor.

## Temiz Üretim

Kimyanın ne kadar zahmetli bir alan olduğunu kağıtların gerikazanımı gösteriyor. ABD'de kağıt ve türevlerinin %50'si toplanıyor ve yeniden kullanım için gerikazanım fabrikalarına gönderiliyor. Ancak, kağıdın gerikazanılması kolay değil. Kağıdın üzerinde-





Yeşil kimya yaklaşımıyla ortaya çıkan en popüler madde, alternatif çözücü olarak işe yarayan süperkritik karbon dioksit. (bkz. Bilim Teknik, Kasım 2001) Süperkritik koşullar olarak adlandırılan belirli bir basınç ve sıcaklık altında karbon dioksit, hem sıvı hem de gaz özelliği gösteriyor. Göreli olarak daha yoğunlaşıyor ve sıvı haldeymişesine yüksek sıkıştırılabilir özelliği kazanarak diğer gazlara kolayca karışabiliyor. Bu da onun çözücü olarak kolayca tepkimeye girmesini sağlıyor. Basınç düşürüldüncü yeniden gaz haline dönüşerek sonraki tepkimelerde kullanılabilir. Süperkritik karbondioksit, süper çözücü olarak kuru temizleme ve polimerleşme işlemlerini yeşillendirir. (solda) Yeşil kimyanın diğer alternatif ürünleri de piyasalarda boy göstermeye başladı. Bunların en önemli özelliği, doğadaki döngülerin içine eklenebilmesi. (sağda) Bu ürünlerin çoğalması için çeşitli ülkelerde araştırmacıları teşvik eden ödüllendirme sistemleri var. Üniversitelerin kimya bölümlerinde yeşil kimyayla ilgili yüksek lisans programlarının açılması da, kimyanın çevre perspektifinden kötüye çıkmış adının temizlenmesi yönünde olumlu bir gelişme.

ki yapışkanlar, plastikler, mürekkepler işlem donanımlarına yapıyorlar. Bu durumda makinelerin düzenli olarak durdurularak organik çözücülerle temizlenmesi gerekiyor. Atık kağıtlar üzerindeki atık kimyasalların maliyeti yıllık 500 milyon dolar. Uluslararası bir laboratuvar, atık kağıtlar üzerindeki polivinilasetat vb. polimerleri temiz-

lemek için bir enzim geliştirdi. Bu enzimle polimerleri suda çözünen vinil alkol ve asetik asite çevirmek kolay. Bu maddeler suda kolayca ayrıştırılıyor. Bu işlem, yeşil kimya yaklaşımı taşıyan alternatif koşullara iyi bir örnek. Rakamlarla açıklandığında, alternatif koşullarla ciddi tasarrufların yapılabileceği ortaya koyuluyor. Bir kağıt geri-

kazanım fabrikası, her gün 1000 ton kağıt üretiyor. Enzimle üretim %6 artırılabilir. Bir yılı aşkın süredir marketlerde Optimize adıyla satılan enzim, kırktan fazla kağıt gerikazanım fabrikasında kullanılıyor. Buralarda 2 milyon ton tutarında tuvalet kağıdı, karton gibi 2. el kağıt ürünleri üretiliyor.

## Yeşil Kimya'nın İlkeleri

Yeşil Kimya Enstitüsü'nün başkanı Paul T. Anastas ve Massachusetts Üniversitesi'nden John C. Warner yeşil kimya yaklaşımının on iki ilkesini belirledi. Bu ilkeler, bu konuda çalışacaklara yol gösterici özellikte.

İstenen ürünü elde etmek için uygulanan kimyasal işlemler sonunda birçok yan ürün, atık olarak ortaya çıkıyor. Bu yan ürünlerden kurtulmak zor değil. Ibuprofen, bir ağrı kesici. 1960'larda ilk çıktığında, altı basamaklı işlem sonucunda elde ediliyordu. Bu durumda, kimyasal tepkimeye giren maddelerin %40'ı istenen ürüne, yani ibuprofene %60'ıysa istenmeyen, atık yan ürünlere dönüşüyordu. Geliştirilen yeşil yöntemle, ilaç üç basamakta ortaya çıkarılırken, başlangıçtaki maddelerin %77'si ürüne çevrilebiliyor. Bu, tonlarca atıktan kurtulmamızı sağlama kalıyor, tepkimeye giren maddelerin miktarını da azaltıyor. Bu ilke, "atomik ekonomi" olarak adlandırılıyor.

Yeşil kimya, hammadde seçiminde de özenli davranıyor. Hammaddelerin seçiminde teknik ve ekonomik ölçütler aranıyor. Bunlar kadar önemli bir ölçüt de "yenilenebilirlik". Yerine yenisi koyalımayan petrol ya da doğal gaz başımıza dert. Bu nedenle, bitki türevlerini kullanmaya yönelik çalışmalar yürütülüyor. Mısır nişastasından ya da selülozdan çıkarılabilecek glikoz iyi bir örnek. Mısır koçanı, yaprak saplarından hatta yere düşen yapraklardan bile glikoz elde edilebiliyor. Özellikle doğada geridönüşmeyen plastiklerde kullanılan hammaddelerin yerine bu tür yenilenebilen hammaddeleri kullanmak büyük bir adım. Yeşil kimya, "gerikazanım"a da önem veriyor.

Bir kimyasal ürünün, işlevini yitirince doğada kalacak değil, geri dönüşecek şekilde tasarlanması diğer bir ilkeyle paralellik gösteriyor. "Daha az atık"... Bir ürünün atığını temizlemek ya da ona bir işlem uygulamak tansa, atık oluşmasını engellemenin akıllıca olduğunu söylüyor uzmanlar.

Bütün bunlar, enerjyle ilişkili. Yeşil kimya, "enerjide ekonomi" diyor. Kimyasal işlemlerin ekonomik etkileri yanında ekolojik etkileri de düşünülerek enerji gereksinimini en aza indirmek gerekiyor. İşlemleri uygun sıcaklık ve basınçta yapmak bir çözüm. Kimyasal tepkimeleri hızlandıracak katalizörleri ya da mikrodalgaya ışınımı kullanmak da diğer çözümler. Katalizörlerin olumlu yanı, kimyasal tepkimelerden tükenmeden ve değişmeden çıkabilmeleri. Bu durumda tekrar tekrar kullanılabilirler. Yeşil kimya, "daha çok katalizör" kullanımını destekliyor. (Tamkatlı ayıraçlardansa katolizör ayıraçların tercih edilmesinin sebebi de bu.) Kimyasal tepkimelerde türevleri azaltmakla "daha az türev", çözücü ya da ayırıcı kimyasalların gereksiz kullanımına son vermek ya da bunlardan zararsız olanları kullanmakla "daha az yardımcı donanım" ilkeleri "ekosistem sağlığı" ilkesiyle örtüşüyor. Yeşil kimyanın en büyük hedefi; bir ürün elde etmek için uygulanacak yöntemi, insan ve ekosistem sağlığına en zarar vermeyecek ölçüde tasarlamak. Bu arada şunu unutmamak gerekiyor. Kimya endüstrisine leke süren olaylar var: Sızıntılar, patlamalar, yangınlar... Bu olaylara kötü şans ya

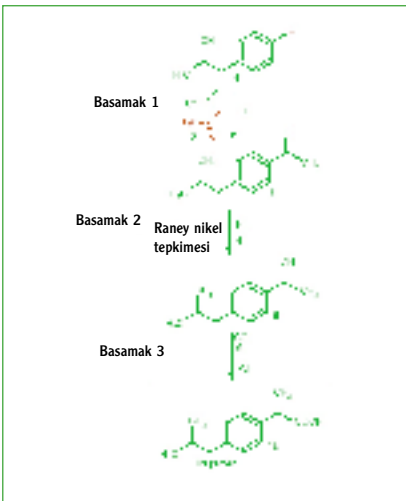
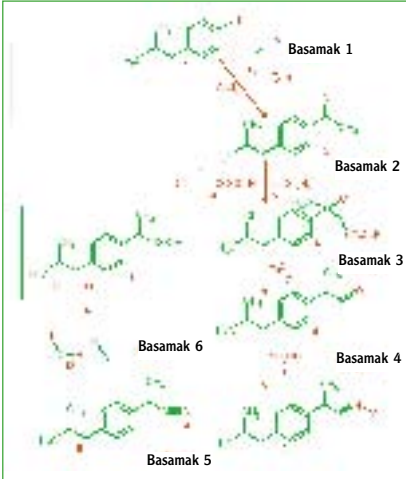


da faili meçhul gözüyle bakmamak gerekiyor. Yeşil kimyanın, bir hedefi de, "kazaları önlemek". Patlayıcı özellikte maddelerin kullanıldığı kimyasal işlemlerde her zaman bir risk olduğu gerçek. Ancak, şimdiye kadar tehlikeli kimyasallarla işlem yaparken risk altında çalışmaya yönelik çözümler düşünüldü. Günümüzdeyse tehlike üzerine odaklanılıyor. Tehlikeyi en aza indirmek için, istenen işlevi yerine getiren "güvenli kimyasallar" kullanılıyor. Böylece, en az yan etkiyle ürün ortaya çıkıyor. Polimerlerden elde edilen plastiklerin, zararlı etkileriyle doğada yıllarca kaldığı biliniyor. Plastik üretiminde mikroorganizmalar tarafından kolayca parçalanıp ve zararlı etkisi olmayan güvenli kimyasallar araştırılıyor. Nişastadan ve selülozdan doğada parçalanıp polimer üretiminin yollarının bulunduğunu söylemiştik. Rakamlar, başarıyı sergiliyor: 1996 yılında 14 milyon kg olan doğada parçalanıp polimer üretiminin, 2001 yılında 68 milyon kg'a çıktığı tahmin ediliyor. Güvenli kimyasalların kullanılması, tarım alanında da önemli. Avustralya'da şeker kamışından elde edilen biyolojik böcek ilacı, Bio-Cane işe yaradığı görülüyor.

Bu hedefler, "gerçek-zamanlı çözümler"le başarılabilir. Gerçek-zamanlıdan ne anlayacağız? Örneğin, bir sürücü ağaca çarpmadan arabayı durdurursa yaptığı işleme gerçek-zamanlı deniyor. Endüstri kuruluşları ve araştırmacılar da bunun farkındalar. Zararlı atıklar oluştuğundan sonra bir şeyler yapmanın ekonomik olmadığını biliyorlar. Artık, zararlı atıklar oluşmadan önce üretim basamaklarında kontrol ve izleme mekanizmaları kurularak zamanında frene basılabiliyor.

## Güvenli Kimyasallar

Kimyanın zahmetli olması bir yana, ciddi tehlikeler de içermesi yeşil kimyacıları güvenli kimyasallar üzerinde çalışmaya yönlendiriyor. Boya yapımında daha önce kullanılan inorganik pigmentler, içerdikleri ağır metaller nedeniyle kimyasalların ne kadar tehlikeli olabileceğinin açık göstergesiydiler. Bunların doğaya etkilerinin büyük olduğu görülünce 1970'lerde organik pigmentler kullanılmaya başlandı. Ancak bu pigmentler de organik çözücüler gerektiriyorlardı. Bunların da doğaya etkileri vardı. Örneğin, bu bileşikler yapmak için kullanılan polifosforik asit, atık sularla doğaya karıştığında bitkilerde zararlı fosfat olarak birikiyordu. 1990'ların ortasında birbirine bağlı iki nitrojen içeren azo (-NN-) pigmentleri devreye girdi. Bir şirket, doğaya zararı düşük azo pigmentleri geliştirdi. Bu



Atomik ekonomi, yeşil kimyanın işlem yönünden en önemli ilkesi. Özellikle ilaç yapımında işlem basamaklarının azaltılması yönünde çalışmalar var. Bir ağır kesici olan ibuprofenin üretimi altı basamaktan üç basamağa indirildi.



EPA (ABD, Çevre Koruma Dairesi), dokuz yıldır yeşil kimya alanındaki akademik ve endüstriyel çalışmaları, ödüller ve ödeneklerle destekliyor. 1996'dan bu yana 5 dalda desteklenen çalışmaları <http://www.epa.gov/greenchemistry/> sayfasından inceleyebilirsiniz.

pigmentlerin özelliği, inorganik pigmentlerdeki tehlikeli kurşun, krom ve kadmiyum yerine daha güvenli kalsiyum, strontiyum ve baryum iyonları içermeleri. Üstelik bu pigmentlerin üretiminde hidrokarbon çözücüler yerine su kullanılıyor. Kırmızı, turuncu ve sarı renklerde pigmentler elde ettiklerini söyleyen araştırmacılar, pigment üretiminde ağır metal kullanımının %80 düşürüldüğünü söylüyorlar. Yakın zamanda ağır metal içeren pigmentlerden tamamen kurtulmanın mümkün olacağını da ekliyorlar.

Geçen on beş yıl içinde yeşil kimya yaklaşımının milyonlarca dolarlık bir endüstriye dönüştüğü düşünülüyor. Endüstri kuruluşları, üretim sonucunda ortaya çıkan atıklar ve yokedilmeleri için ciddi paralar harcamaktansa, baştan yeşil kimyayı uygulamanın önemini anladılar. Kimya devi Dupont, geçen sonbaharda Teflon ve Gore-Tex üretiminden kaynaklanan çevresel zararları temizlemek için 600 milyon dolar harcamaktan hoşnut değil. General Electric, yıllarını ve milyonlarca dolarını Hudson Nehri'ne akıttığı poliklorlu bifenilleri (PCB) temizlemeye harcıyor. Diğer yandan, geleneksel yöntemleri bir anda bırakmak, sistemi değiştirmek, yeşil kimya yöntemlerini bulmak, bunları uygulamak da kolay değil. Bilimadamları, böyle düşünenleri doğanın temiz üretim işleyişini anlamaya çağırıyor. Basit ve geleneksel olarak kimya,  $A + B = C$  yaklaşımıyla çalışıyor. Bunda, iki madde, yeni bir madde üretmek

için bir araya gelebiliyorsa, iş tamamdır mantığı var. Hatta, bunu "ısıt, karıştır, işle" şeklinde sloganlaştıranlar var. Oysa doğada, belki daha yavaş, ancak daha az enerji harcanılan yöntemler işliyor. Bu karmaşık biyomoleküler dünyada A ve B'den D elde ediliyor. Sonra E alınıyor, biraz F, azıcık G, H ve I eklenerek K'ya varılıyor. D ve K'nın karışımı, istenen C'ye dönüşüyor. Yeşil kimya yaklaşımını benimseyenler, doğadan esinlenmemiz gerektiğini düşünüyorlar. Bilimadamları, yaklaşımın kimyacılar tarafından benimsenmesi için kimya eğitimi içinde de bu konuya yer verilmesi gerektiğini düşünüyorlar. Sınıflarına götürdükleri bir bardak suyun özelliklerini öğrencilerine sorduklarında, "içinde toksik (zehirli) madde olabilir" yanıtını da alabileceklerini biliyorlar. Bu nedenle, kimya bölümlerinin programında olan toksikoloji derslerinde bu maddelerin doğaya etkileri de açıklanıyor. Bilimadamları, çevrelerinde dünyayı değiştirmek isteyen gençler bulunmasından hoşnutlar. Tüm bunlar, insan ve ekosistem sağlığı söz konusu olunca, uzun vadede geleceğe bakınca yeşil kimyanın çiçek açmaya devam edeceğini gösteriyor.

Tuğba Can

### Kaynaklar

"Presidential Awards"

<http://pubs.acs.org/cen/news/8227/8227notw2.html>

"Green Innovations" <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/8228/8228greenchemistry.html>

"Chemistry Goes Green" [forest.mtu.edu/faculty/tsai/FW4085/articles/greenchemistry.pdf](http://forest.mtu.edu/faculty/tsai/FW4085/articles/greenchemistry.pdf)

"Green Chemistry" [www.denison.edu/~evans/GreenChem.pdf](http://www.denison.edu/~evans/GreenChem.pdf)

"Green Chemistry: Science and Politics of Change" [www.rohmma.com/EHS/pdfs/gc.pdf](http://www.rohmma.com/EHS/pdfs/gc.pdf)