

Kimya'nın Yeni Rengi: Yeşil Kimya

The New Color of Chemistry: Green Chemistry

Zuhal GERÇEK

ÖZ

Kimya temellerinin yeni bir uygulaması olan yeşil kimya, günümüzde insanlığın karşı karşıya kaldığı iklim değişiklikleri, sürdürülebilir tarım, enerji, toksikler, doğal kaynakların yok olması gibi evrensel sorunlara, zararlı maddelerin üretimi ve kullanımını içermeyen kimyasal ürünler ve prosesler dizayn ederek çözüm üretmektedir. Bu yüzden sürdürülebilir bir gelişim için vazgeçilmez bir araçtır. Günümüz ve gelecekteki kimyacıların profesyonel hayatlarında insan sağlığı ve ekolojik konuları göz önüne almaları bir zorunluluktur. Bu ihtiyaca cevap vermek amacıyla, başta üniversiteler olmak üzere tüm eğitim basamaklarında yeşil kimya kuralları ve anlayışı öğretim programına alınmalıdır.

Anahtar Sözcükler: Yeşil kimya, Sürdürülebilirlik, Atom ekonomisi

ABSTRACT

Green chemistry which is the new application of chemistry rules provides solutions to problems that mankind is faced with climate changes, sustainable agriculture, energy, toxics, depletion of natural sources e.g. designing new chemicals and processes that production and utilization of hazardous matters. So, it is the indispensable tool for sustainable development. Current and future chemists should consider the human health and ecological issues in their professional life. In order to provide a solution for this requirement, green chemistry rules and under standings should be primarily taken in the university curriculum and at all educational levels.

Keywords: Green chemistry, Sustainability, Atom economy

GİRİŞ

Başlangıçta modern hayat için gerekli buluşların kaynağı olarak düşünülen kimya, günümüzde çoğu kişi tarafından dünyamızı tehdit eden evresel kirliliğin temel kaynağı olarak görülmektedir. Fakat, tehlikeli ve zararlı ürünlere odaklanıp medikal ürünler, plastikler, kozmetikler, kumaşlar, pestisitler, sıvı kristaller, yapay organlar gibi hayatımızı kolaylaştıran ve renklendiren kimya çıktılarının gözden kaçırılmaması gerekir.

Hızla gelişen teknoloji, ozon tabakasının incilmesi, küresel ısınma, baca gazları, asidifikasyon, ötrofikasyon, insan sağlığını tehdit eden kanserojenler, eko-toksikite, fosil yakıtların tükenmesi, aşırı toprak ve su kullanımı gibi bazı sorunları da beraberinde getirmiştir (Bare, 2003). İnsanlığın karşı karşıya kaldığı enerji, ulaşım, ısınma, teknoloji, aydınlanma gibi pek çok problemin kaynağı kimya olmakla beraber, çözüm yolları da kimya biliminde saklıdır. Fakat enerji, zaman ve emek açısından ele alındığında, sorunu oluşturan etmenleri ortadan kaldırmak, sorunu çözmekten çok daha etkili bir yöntemdir. Geleneksel

kimya yöntemleri ile meydana gelen olumsuzlukların kaynağında yok edilmesi için kullanılacak yöntem yeşil kimya olarak karşımıza çıkmaktadır.

YEŞİL KİMYA KAVRAMI

Kimyanın 150 yılı aşkın geçmişine bakıldığında, yeşil kimya oldukça genç bir kavramdır. Bu akım 1990'da endüstriyi sonradan temizlemek yerine kirliliği kaynağında azaltmaya ya da yok etmeye çağıran kirlilik engelleme hareketi ile başlamıştır. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) tarafından alınan evresel kirliliği önleme yaklaşımları, envanter kontrolü, proses kontrolü, proses içinde geri dönüşüm, evsel değişiklikler ve yeşil kimya olarak belirlenmiştir (Pollution Prevention Act of 1990).

2000'lerde yeşil kimya, üniversite sınıflarında yer almaya başlamıştır. Yeşil kimya oldukça yeni bir disiplin olmasına rağmen güvenli, pahalı olmayan ve doğaya karşı sorumlu bir yolla araştırma ve üretim olanağı sağladığından, endüstride de yer almaya başlamıştır. Günümüzün bilinçli tüketicileri aldıkları ürünlerin üretim süreçlerinin daha yeşil, daha sürdürülebilir

Zuhal GERÇEK (✉)

Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Zonguldak, Türkiye
Bülent Ecevit University, Faculty of Art and Sciences, Department of Chemistry, Zonguldak, Turkey
zuzhal.gercek@gmail.com

Geliş Tarihi/Received : 25.12.2011

Kabul Tarihi/Accepted : 14.03.2012

olmasını talep etmektedirler. Yeşil kimyanın kavramlarının uygulanması endüstrinin talep ettiği ve ihtiyacı olan, daha güvenli, daha etkili işlemleri olanaklı kılmaktadır.

Şirketlerin sürdürülebilir işlemler ve üretim üzerindeki artan ilgisinden dolayı, yeşil kimya prensiplerine hâkim çalışanlara duyulan ihtiyaç artmaktadır. Çevre kirliliğini önleme hakkında bilgi sahibi olan kimyacılar, kirliliği ve maliyeti azaltacak teknikleri belirleme, geliştirme ve uygulamada daha başarılıdır.

Geçen 150 yıl boyunca toksisite ya da ekotoksisite kavramları kimya eğitim programlarında yer almamıştır. Kimyacılar yeni ürünler ve yeni işlemler bulmak üzere eğitilmiş; ama çalışmalarının biyoakümülyasyon, endokrin bozulmaları gibi çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında bilgilendirilmemişlerdir.

Karşılaşılan evrensel ekolojik, enerji ve sağlık sorunları, bilim adamlarının 'Son ırmak kurduğunda, son ağaç yok olduğunda, son balık öldüğünde; beyaz adam paranın yenmeyen bir şey olduğunu anlayacak' diyen kızıl derili atasözünü hatırlamalarına neden olmuştur. 1970'lerden itibaren sürdürülebilir gelişimin anlamı ve amacı tartışılmaya başlanmıştır. Sürdürülebilir bir gelişim için sadece üretime değil, kaynakların korunmasına, çevreye duyarlı işlemlerin geliştirilmesine de önem verilmesi gerektiği açıığa çıkmıştır. Kimyanın alt dallarının ve moleküler bilimin kullanımı ile sürdürülebilir gelişimin planlanması ve elde edilebilmesi için, yeşil kimyaya girilmesi gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır. Yeşil kimya temel bilimsel kuralları kullanarak hem ekonomik hem de çevresel hedefleri birleştirir.

Bu bilgiler ışığında bakıldığında yeşil kimyanın, kimya ve kimya mühendisliği eğitim programına alınması artık bir tercih değil, bir zorunluluktur.

'IUPAC Yeşil Kimyada Sentetik Yollar ve İşlemler Yeşil Kimya Terimi' çalıştayında yeşil kimya, insan sağlığına ve çevreye zararlı bileşiklerin kullanım ve üretimini azaltmak ya da ortadan kaldırmak için kimyasal ürünlerin ve işlemlerin bulunması, tasarlanması, geliştirilmesi ve uygulanması olarak tanımlanmıştır.

İnsan sağlığını ve çevreyi birincil öncelikte ele alan Anastas & Warner (1998) tarafından listelenen yeşil kimyanın 12 prensibi şu şekilde özetlenebilir:

Atık oluşumunu önleyecek yöntemler geliştirilmeli, başlangıç maddeleri tam olarak ürüne dönüşmeli, çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek maddelerin üretimine yönelilmeli, çözücü ve ayırma ajanlarının kullanımı ya kaldırılmalı ya da minimize edilmeli, enerji tasarrufuna dikkat edilmeli, hammadde seçiminde yenilenebilir kaynaklar tercih edilmeli, işlem basamakları azaltılmalı, stokiyometrik reaktifler tercih edilmeli, ürünler biyobozunur olmalı, proses basamakları eş zamanlı izlenmeli, güvenlik dikkate alınıp patlayıcı, yanıcı maddelerin kullanımından kaçınılmalıdır.

Yeşil kimya prensipleri, bir kimyasal ürünün yaşam döngüsündeki tüm basamaklarda uygulanmasını önerir.

Bir kimyasal işlemin beş anahtar bileşeni; reaktifler, ortam, enerji, ürünler ve sentetik stratejiler olarak belirtilir. Reaksiyon verimini arttırmak sentetik planlamanın bir numaralı amacıdır.

İşlemin toplam verimi arttırıldığında daha az yan ürün oluşumu sağlanacaktır. Yeşil kimyada bir reaksiyonun verimliliği sadece toplam verimle ifade edilmez. 'Atom ekonomisi' de maksimum düzeye çıkarılmalıdır. Trost (1991) tarafından ifade edildiği gibi, bir sentetik transformasyon % 100 verime ulaşabilir ama eğer işlem 'atom ekonomik' değilse, hâlâ zengin miktarda atık üretmeye devam eder. Kimyasal reaksiyon sonuna oluşan atık miktarının ölçümü için atom verimliliği ölçütü kullanılır. Atom ekonomisi, hedef molekülün atom ağırlığının reaksiyon gerçekleşirken meydana gelen tüm bileşiklerin mol ağırlığına oranıdır. Karşılaştırma teorik temeller (%100 verim) üzerine yapılmaktadır ve transformasyonun esas veriminin daha iyi ölçümünü sağlamaktadır. Yeşil kimya bakış açısından, atom ekonomisi 1.0 olan reaksiyonlar yan ürün oluşumunu sıfıra indirgediğinden sentetik öneme sahiptir. Reaksiyonun çevreye olan etkisini ölçmek için çevresel katsayı (ÇK) kullanılır. Burada Ç rastgele seçilen herhangi bir istenmeyen değişkenin katsayısı ile çarpılır.

Yaşam döngüsü değerlendirilmesi (YDD) de atık yönetiminde gerekli bir araçtır. Yaşam döngüsü, bir kimyasalın tüm yaşam döngüsü içindeki tüm basamakları ve yan ürünleri ve katkı maddelerinin sebep olduğu çevresel etkileri de kapsar (Nüchter et al., 2004).

Bir kimyasal maddenin sentezi ve üretiminin ilk basamağı başlangıç maddesinin seçimidir. Pek çok durumda başlangıç maddesinin seçimi sentezin çevre üzerindeki etkisini belirler. Yeşil kimya açısından, başlangıç maddesi zararlı olmamalı, ürüne dönüştürülürken kullanılan ajanlar zararsız olmalı, başlangıç maddesi yenilenebilir olmalıdır.

Reaktif seçimi yaparken de ortaya çıkacak zararlar öngörülmemelidir. Reaktifin kendisi, ürün seçiciliği, reaksiyon verimliliği, ayırma metodları gibi reaktifin kullanımı ile ilgili basamaklarda, yeşil kimya gereklilikleri karşılanmalıdır.

Katalizörler enerji ihtiyacını azalttığı, seçiciliği arttırdığı ve daha az zararlı reaksiyon koşulları sağladığı için yeşil kimyada önemli bir yere sahiptir. Reaksiyonda katalizör kullanılması gerekiyorsa, gerçekten katalitik miktarda kullanılmalıdır. Kullanılan katalizörün yüksek dönüşüm sayısına sahip olmasına dikkat edilmelidir.

Kimyasal reaksiyonlarda hem reaksiyon ortamında hem de ayırma ve saflaştırma basamaklarında çözücü kullanıldığından, daha az toksik çözücülerin seçilmesi oldukça önemlidir. Çözücülerin yol açacağı zararların başında patlama ve tutuşma özellikleri gelmektedir. Çözücülerin çoğu yüksek buhar basıncına sahip olmalarından dolayı insan sağlığını tehdit eden dozajlara ulaşmaktadır. Karbon tetra klorür, kloroform gibi halojenlenmiş çözücüler oldukça güçlü kanserojenlerdir. Bazı çözücülerin de nörotoksik olduğu da bilinmektedir. Çözücülerin, insan sağlığına olan zararlarının yanı sıra yüksek miktarlarda kullanılmalarından dolayı çevreye de çok büyük zararları olmaktadır. Uçucu organik çözücüler yerine önerilen alternatifler, su (Tsukinoki & Tsuzuki, 2001), uçucu süperkritik karbondioksit (Hu, Chen & Banet Osuna, (2001) ve iyonik sıvılardır (Eckstein et. al, 2004). Kimi reaksiyonlar ise çözücüsüz ortamda ve genellikle mikrodalga fırınlarda gerçekleştirilebilir (Vicevic, Jachuck & Scott, 2004).

Kimyasal dönüşümler mekanik, termal, ve diğer enerji girdilerini düşürerek yüksek enerji kullanımını azaltacak şekilde tasarlanmalıdır. Örneğin çözücüsüz ortam deneyleri, deney sonucu çözücü uzaklaştırılması gereğini ortadan kaldırdığından enerji tasarrufu sağlar.

Özetle, yeşil kimya deneylerinde reaktiflerde atık miktarları azaltılmalı, yenilenebilir hammaddeler kullanılmalı, maksimum atom ekonomisi sağlanmalı, stokiometrik değil katalitik miktarlar kullanılmalı ve kaza ihtimali en düşük seviyeye çekilmelidir. Ortam ve enerji konusunda, güvenli, tehlikesiz çözücüler kullanılmalı, enerji verimliliği artırılmalı, daha yeşil kimyasal sentezler dizayn edilmelidir. Sentezlenecek ürünler daha güvenli olmalı ve kullanım sonrası bozunmaları sağlanacak şekilde tasarlanmalıdır. Uygulanacak sentetik stratejiler, kaza olasılığını minimize atom ekonomisini maksimize edecek, istenmeyen kimyasal türevlerin üretimini ortadan kaldıracak şekilde seçilmelidir.

Yeşil kimya temel olarak çevresel korumayı amaçlayan aktiviteler içermekle beraber yaşam kalitesi, insan refahı ve sürdürülebilir bir gelişim üzerinde de etkileri bulunmaktadır.

Çevre kirliliğinin önüne geçmek, güvenli, yeşil ürünler elde etmek ve yeşil işlemler tasarlamak için ilk basamak, günümüz ve gelecek kimyacılarını yeşil kimya alanında eğitmektir. Bu amaçla yeşil kimya, kimya disiplininin içine entegre edilmelidir. Kimyacılar tarafından akademik ve kişisel eğitim boyunca öğrenilmediği takdirde yeşil kimyanın yaygın uygulanması mümkün değildir.

YEŞİL KİMYA EĞİTİMİ

Üniversiteler yeni bilgilerin ve teknolojilerin ürettiği kuruluşlardır. Yeşil kimyanın akademilerde yer alması daha temiz teknolojilerin geliştirilmesi için gerekli temel bilgileri üretir. Akademik bilgiler ve prosesler endüstrinin ihtiyacı olan yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesine yardımcı olur. Üniversitenin bir diğer ayağı olan eğitim, geleceğin bilim adamlarının yeşil kimyanın temelleri ile donatılmasını sağlar. Sürdürülebilir bir gelişim için yükseköğretim müfredatının yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Kimya, kimya eğitimi ve kimya mühendisliği alanları başta olmak üzere; tüm uygulamalı alanlarda yeşil kimya öğretimine başlanması gerekmektedir.

Yeşil kimya eğitimi halen uygulanmakta olan geleneksel kimya eğitiminin ortadan kaldırılması değil, eğitimin farklı bir anlayışla modifiye edilmesidir.

Geleneksel kimya eğitiminin modern bir versiyonu olması, daha az toksik madde kullanılması, öğrenciler için güvenli bir deney ortamı sağlanması, kritik düşünme becerileri kazandırması, daha ucuz çözücüler ve düzenekler kullanılması ve atık miktarını azaltarak maliyeti düşürmesi, bilimsel kavramları sürdürülebilirlik ve sorumlu liderlik kavramlarıyla birleştirmesi, lisans öğrencilerinin araştırmalarda yer almalarını sağlanmasından dolayı yeşil kimya, kimya lisans düzeyindeki bilim eğitimi için ideal bir odaktır.

Eğitimde temel kural; öğretimin pratik ile uyum içinde olmasıdır. Yeşil kimya prensiplerinin geleneksel kimya ders progra-

mına alınması ile öğrenciler sınıfta öğretilen bilgilerle günlük hayatta karşılaştıkları kirlilik, ozon tabakasının incelmeye, küresel ısınma, geridönüşüm, enerji tasarrufu, sürdürülebilirlik gibi kavramlar arasında ilişki kurabilmektedirler (Lerman, 2003).

Yeşil kimya disiplinlerarası bir farkındalık gerektirir. Yeşil kimya amaçlarına ulaşmak için kimyacılar, kimya mühendisleri, üretim, işletme, sağlık ve çevre uzmanları, kontrol mühendisleri, çevre mühendisleri gibi disiplinler arası bir çalışma grubuna ihtiyaç duyar. Yeşil kimya eğitiminin çok disiplinli yaklaşımı öğrencilerin disiplinler arası iletişim yeteneklerini artırır.

Günümüzde işverenler sürdürülebilirlik hakkında nasıl sorular sorulacağını bilen mezunlar aramaktadır. Yeşil kimya bilen öğrenciler, geliştirilmiş beceri hazineleri ile 21. yüzyılda bilimsel işler için aranan eleman olmalarından dolayı oldukça önemli bir avantaja sahiptir.

Yeşil kimya eğitiminde ilerleme kaydedebilmek için uygulanan kimya müfredatında, tasarlanacak ve kullanılacak moleküler yapıların zararlı/toksik etkilerinin fiziksel/kimyasal özelliklerinin sistematik tanıtımı, yeşil kimya prensiplerine uygun laboratuvar deneylerinin uygulanması, kimyasal verim teriminin atom ekonomisi ile yer değiştirmesi, kimyasal toksoloji ve risklerin moleküler temel kavramlarının tanıtılması yer almalı ve ders kitapları yeşil kimya içerecek şekilde düzenlenmelidir.

Yeşil kimya eğitim programlarının/projelerinin yeni eğitim materyalleri ve araçları ile gerçekleştirilmesi ve kuramlaştırılması için yapılması gerekenler de şu şekilde özetlenebilir:

Eğitim materyalleri, öğretmen yetiştirilmesi, hedef finansmanlar, topluluk hareketleri gibi yeşil kimya eğitim program ve projeleri belirlenmelidir. Yeni e-teknolojileri gibi yeşil kimyada yeni tür eğitim derslerine önem veren materyal/araçlar belirlenmelidir. Yeşil kimya hakkında haberler ve bilgilerin web sitesi ve periyodikler yoluyla sağlanması, diğer organizasyonlar ve devlet birimleriyle bağlantı sağlanması, ilgili konferans/çalıştay ve eğitim programlarının organize edilmesi ve gerçekleştirilmesine yardımcı olması, üniversiteler ve okullara eğitim materyalleri sağlanması, hedef alan ve grupları hedefleyen spesifik temalı projeleri gerçekleştirilmesi amacıyla network ağı oluşturulmalıdır.

Lisans ve lisans üstü kimya eğitimi veren akademik kuruluşlar yeşil kimya eğitimi hakkında periyodik yayınlara üye olmalıdır. Yeşil kimya prensiplerinin uygulamalarını vurgulayan yeni dersler açılmalıdır. Web-tabanlı kaynaklar araştırılmalı, çalıştaylar ve bilgilendirme toplantıları düzenlenmeli, interaktif eğitim modülleri geliştirilmelidir. Değişim programlarına katılım teşvik edilmeli, endüstriyel kaynaklar araştırılmalı, yeşil kimyanın ilerlemesine yardımcı olacak ulusal ve uluslararası yarışmalar düzenlenmelidir.

Yeşil kimyaya olan ilgiyi arttırmak için kullanılacak bir diğer eğitim aracı da burslar ve araştırma desteklerinin sunulmasıdır. Öğrencilerin, akademisyenlerin ve araştırmacıların çalıştaylara, sempozyumlara ve konferanslara katılmaları teşvik edilerek yeşil kimya hakkında bilgilendirilmeleri sağlanmalıdır.

SONUÇ

Yeşil kimya çevresel sorunlara atomik ve moleküler düzeyde çözüm ürettiğinden sürdürülebilir bir gelişim için vazgeçilmez temellerden biridir. Yeşil kimya, geleneksel kimya biliminin temelleri üzerine yerleşmiş yeni bir kavramdır. Yeşil kimya kuralları uygulanarak gerçekleştirilen üretim ve prosesler çevre ile uyumlu ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde dizayn edilirler. Üniversite, endüstri ve hükümet arasında oluşturulacak ortak hareketle mevcut kaynaklar maksimum verimle kullanılır, enerji kaynakları korunur, sürdürülebilir ürünler ve işlemler geliştirilir. Yeşil kimyanın en büyük etkisi, kurallarının pratikte uygulanması ile görülür. Bunun için de geleceğin kimyacılarının, kimya öğretmenlerinin ve kimya mühendislerinin lisans eğitimleri sürecinde yeşil kimya felsefesi ve kurallarını öğrenmeleri gerekmektedir.

Yeşil kimya, yaşam kalitesini arttırmak ve uygarlığımızı sürdürülebilir bir geleceğe taşımak için elinde sihirli bir değneğe sahip modern insan yetiştirme potansiyeline sahiptir. Bu yüzden zaman geçirilmeden, önce yüksek öğretim içeriğine alınmalı ardından da her düzeydeki kimya eğitimi müfredatına uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Newyork: Oxford Science Publications.
- Bare, J. C. (2003). The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts. *Journal of Industrial Ecology*, 6, 49-78.
- Eckstein M., Filho M. W., Liese A., & Kragl U. (2004). Use of an ionic liquid in a two-phase system to improve an alcohol dehydrogenase catalysed reduction. *Chemical Communications*, 1084-1085.
- Hu Y., Chen W., & Banet Osuna A. M. (2001). A facile method for preparing one-molecule-thick free-standing organic nanosheets with a regular square shape. *Chemical Communications*, 725-727.
- Lerman, Z. M. (2003). Using the Arts To Make Chemistry Accessible to Everybody. 2002 James Flack Norris Award, sponsored by ACS Northeast Section. *Journal of Chemical Education*, 80, 1234-1243.
- Nüchter M., Ondruschka B., Bonrathard W., & Gum A. (2004). Microwave assisted synthesis – a critical technology overview. *Green Chemistry*, 6, 128-141.
- Pollution Prevention Act of 1990. 42 U.S.C., Sections 13101-13109, 1990.
- Trost, B. M. (1991). The atom economy--a search for synthetic efficiency. *Science* 254, 1471-1477.
- Tsukinoki T., & Tsuzuki H. (2001). Organic reaction in water. Part 5. Novel synthesis of anilines by zinc metal-mediated chemoselective reduction of nitroarenes. *Green Chemistry* 37-38.
- Vicevic M., Jachuck R. J. J., & Scott K. (2004). Rearrangement of α -pinene oxide using a surface catalysed spinning disc reactor (SDR). *Green Chemistry*, 6, 533-537.