

# Kimyasallar Her Yerde

## Geleceğin Kimyası Nasıl Tasarlanmalı?

Dr. Tuncay Baydemir [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Kimya alanındaki gelişmeler özellikle Sanayi Devrimi'nden sonra küresel ekonominin tüm paydaş sektörlerinin dönüşmesine neden oldu ve toplumların yaşam kalitesini önemli ölçüde artırdı -hâlâ da artırmaya devam ediyor. Ancak seri üretilen yüksek teknoloji ürünleri, kimyasal içerikleri ile pek çok çevre sorununa ve ekolojik hasara yol açabiliyor. Endüstriyel üretimin ve kimyasal madde kullanımının daha yoğun olduğu yerler ile zararlı etkileri önlemek için en az tedbirin alındığı bölgelerde canlılar ve doğa kirlilikten daha fazla etkileniyor, gıdalar ve hatta içme suları bile toksik kirlenmeye maruz kalabiliyor.

Karmaşık kimyasal molekülü malzemeler sentezlemek ve bunları ürüne dönüştürmek günümüzün bazı problemlerini çözmeye veya mevcut durumu iyileştirmeye yardımcı olabilir. Ancak bu karmaşık yapıları kimyasal ürünlerin üretim ve kullanım süreçlerindeki kısa ve uzun vadeli olumsuz etkileri tam olarak bilinmiyor. Neyse ki günümüzde bu etkileri tespit etmek ve gerekli önlemleri almak için yeterli sayılabilecek bilgi birikimi ve teknolojik cihazlar mevcut.







**K**imyasal maddelerin kullanımı hayat kalitesini artırıyor olsa da yeterli düzenlemeler ve etkili geri dönüşüm süreçleri olmadan çevre ve canlılar üzerinde çok ciddi zararlı sonuçlara yol açabiliyor.

İnsanlar ve biyota (belirli bir bölgede, ortamda ya da jeolojik dönemdeki canlıların tümü) pek çok farklı kaynaktan gelen binlerce kimyasal maddeye maruz kalıyor. Hatta durum öyle bir hâle geldi ki çevre kimyagerleri ve toksikologlar artık kapalı ve açık ortamlarda tek bir kimyasal maddenin izini sürmek yerine kimyasal karışımları tespit etmek ve bunların doğa ve canlılar üzerindeki karmaşık etkilerini araştırmak zorunda kalıyorlar.

## Kimyasal Birikim

Çevreye bırakılan kimyasallar ile tehlikeli etkilerine dair bilgiler ve bu konulardaki farkındalık son kırk yıllık süreçte oldukça arttı. Bilim insanlarıncı yapılan araştırmalar geçmişteki deneyimleri günümüz analiz teknikleriyle birleştiriyor. Böylece doğada kirlilik sayılabilecek olası kimyasal madde birikimlerini ve neden olabilecekleri zehirli etkileri en az seviyeye indirgemeyi ve en ideal durumda da tamamen ortadan kaldırmayı hedefliyorlar. Günümüz kimyasalları ve buna bağlı olarak ürünleri değişiyor, ürün çeşitliliğine her geçen gün yenileri ekleniyor. Aslında bu konuda bilim

insanlarının ve sanayi şirketlerinin iş birliği içinde hareket etmesi gerekiyor. Ayrıca gerekli yasal düzenlemelerin yapılması, biyoekonomi stratejileri ve politikaları gibi küresel ölçekte politikalar geliştirilmesi de hedeflerin gerçekleştirilmesi için büyük önem taşıyor.

Sentetik kimyasallar gıda üretiminde ve yaşam standartlarında önemli ilerlemeler sağlıyor. Kullanılan kimyasal malzemelere endişeyle yaklaşılsa da bu kimyasalların aslında çok azı doğal yaşama gerçek anlamda zarar veriyor. Kimyasal malzemelerin özellikleri doğada ve canlılarda ne kadar kalacaklarını, birikme davranışlarını ve zararlı etkilerinin süre ve boyutlarını etkiliyor. Kimyasalların çeşitli organizmalara zararlı etkileri hakkında hâlihazırda bilinenler yeterli düzeyde olmasa bile gelecek dönemde yapılması gereken çalışmalar hakkında araştırmacılara ışık tutuyor.

Piyasada bulunan endüstriyel kimyasal madde sayısının 140.000 civarında olduğu tahmin ediliyor. Bu

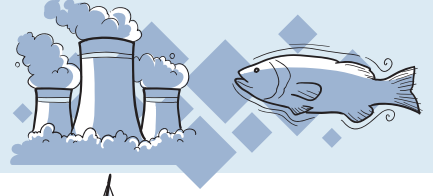
kimyasalların çok düşük bir yüzdesi için kalıcılık, doğada birikme ve toksiklik verileri mevcut. Ancak bu alanda hesaplamalı tahmin yöntemleri belli bir düzeye kadar bilgi sağlayabiliyor ve kimyasalların farklı ortamlarda, başka kimyasallarla karışması ve etkileşime girmesi hem doğa hem de organizmalar üzerinde öngörülenden daha fazla zarara yol açabiliyor. Günümüz araştırmaları genel olarak risk kapsamında değerlendirilen kimyasal madde gruplarına odaklanıyor ve araştırmalara yapılacak yatırımlar da bu doğrultuda gerçekleştiriliyor.

Doğal çevreyi kirleten pek çok kimyasal madde göz önünde bulundurulduğunda hangisine daha fazla odaklanmak gerektiğini iyi analiz etmek gerekiyor. Örneğin, hipertansiyon hastalarında kullanılan atenolol etken maddeli ilacın doğaya verdiği zararın etki faktörü bakur kullanımının sadece % 0,001'i kadardır. Benzer şekilde diğer bazı metaller zehirlilik değerlendirmelerinde odaklanılan kimyasallar arasında daha üst sınıflarda yer alıyor.



## Bazı kimyasallar ve yaban hayvan popülasyonu üzerine etkileri

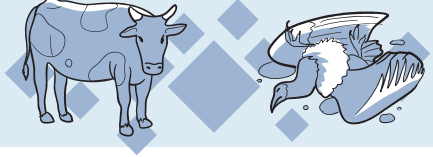
Metaller ve asitlenme tatlı su balıklarına ve karada yaşayan solucan gibi omurgasızlara zarar verdi.



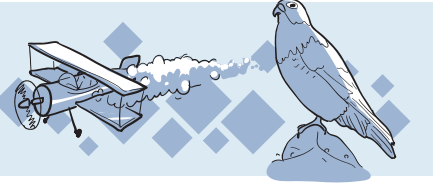
Gemi ve teknelerin yüzeylerini sucul organizmaların verdiği zararlardan korumak için boyalarda kullanılan biyosit (canlıkıran tribütilkalay (tribütylin-TBT)) birçok karından bacaklı yumuşakça türünün kısırlaşmasına ve doğadan kaybolmasına neden oldu.



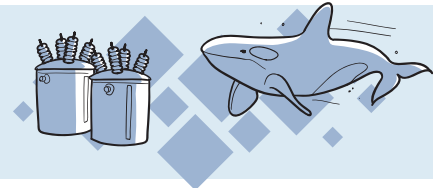
Sığırlarda Diklofenak ilaçlarının yaygın kullanımı, bu hayvanların leşlerini yiyen Asya akbabalarının toplu ölümlerine neden oldu. Aynı kimyasalın bazı alabalık türlerine zarar verdiği de tespit edildi.



DDT (dikloro difenil trikloroetan) gibi çok zehirli böcek ilaçlarının kullanımı yırtıcı kuş türlerinin popülasyonlarını oldukça azalttı.



Doku ve sütlerinde biriken organik klorlu bileşiklerin (poliklorlanmış bifeniller (PCB)) katil balina popülasyonunun azalmasına neden olduğu bildirildi.



*Açık ve kapalı ortamlardaki hava kirliliği, pasif içicilik ve kurşundan kaynaklı zararlı kimyasallara maruz kalmanın azaltılması veya bu kimyasalların ortadan kaldırılması sayesinde küresel boyutta ölüm ve sakatlıkların önemli nedeni sayılan iskemik kalp hastalıklarının %35'i ve inme vakalarının %42'si önlenebilir.*



## Kimyasallara ve kullanım alanlarına her geçen gün yenileri ekleniyor

Günümüz toplumlarında neredeyse hayatın her alanında çok çeşitli kimyasallar kullanılıyor. Daha geniş çerçeveden bakıldığında sayısız faydaları olan pek çok kimyasal malzemenin zararlarını da görebiliyoruz. Örnek vermek gerekirse önceden zararlı böceklerle karşı kullanılan bazı böcek ilaçlarının yabancı arıların nüfusunu azalttığı günümüzde biliniyor. Bu nedenle aynı amaca hizmet edecek yeni ve güvenli kimyasal maddelerin bulunması, yeni geliştirilen ürünlerde de bunların kullanılması gerekiyor.

Küreselleşme nedeniyle günümüzdeki kimyasal madde üretiminin büyük çoğunluğu Asya kıtasında gerçekleşiyor. Etkisiz düzenlemeler ve şeffaflık ile denetimlerin istenilen düzeyde olmaması gibi nedenler yüzünden dünyanın bazı bölgelerinde

toprak, su ve atmosfer kirlenmeleri diğer bölgelere nazaran daha fazla. Gerekli önlemler alınmazsa canlı yaşamı ve doğal hayat geri dönülmesi mümkün olmayacak bir şekilde zarar görebilir.

## Çevre kimyasalları ile ilgili düzenlemeler

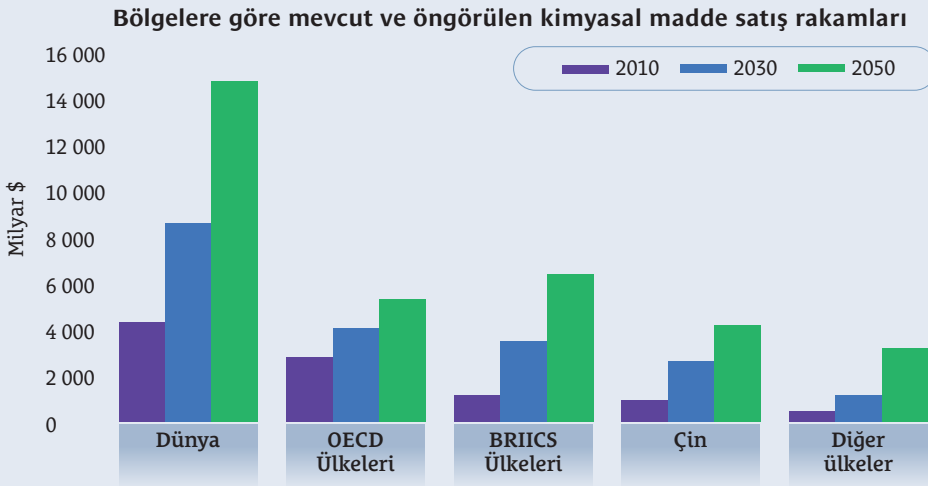
1960 ve 1970'li yıllarda kimyasallarla ilgili düzenlemeler yapılırken genel olarak geçmiş kirlilik ve hasarların düzeltilmesi hedeflendi ve sınırlı sayıdaki kirlenici maddenin emisyonu kontrol edildi. Günümüz yaklaşımında, pazara girecek yeni kimyasalların insan sağlığı ve çevre standartlarına uygunluğu ürün piyasaya sürülmeden önce test ediliyor, böylece risk faktörlerinin kabul edilebilir limitler içerisinde olup olmadığı belirleniyor. Bu standartlar ülkeler bazında olmadığı gibi Avrupa Birliği ve Dünya Sağlık Örgütü gibi kuruluşlarca da belirlenebiliyor. Tüm standardizasyon çalışmalarında, daha önce kulla-

nımına izin verilen zararlı olabilecek kimyasallar da yeni düzenlemelerle kontrol altına alınmaya çalışılıyor. Üretimde kullanılacak kimyasalların canlılar ve çevre için güvenli olduğunu göstermek, üreticilerin önemli bir sorumluluğu hâline geliyor.

## Analiz ve Modelleme Tekniklerindeki Gelişmeler

Analitik kimyanın gelişmesiyle birlikte çok düşük miktarlarda da olsa kimyasalların varlığının tespiti ve miktarlarının tayini günümüzde mümkün. Çeşitli ortamlardan alınan örneklerin bileşimi kolaylıkla belirlenebiliyor, olağan dışı kirlilikler hemen tespit edilebiliyor ve bu sayede hangi olayın veya hangi endüstriyel tesisteki hangi süreçlerin kirliliğe sebep olduğu ortaya konabiliyor.

Diğer yandan, yapılan çalışmalarda ortaya çıkan yeni kimyasalların ve



OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction, (Chapter 6: Health and Environment) OECD, 2012.





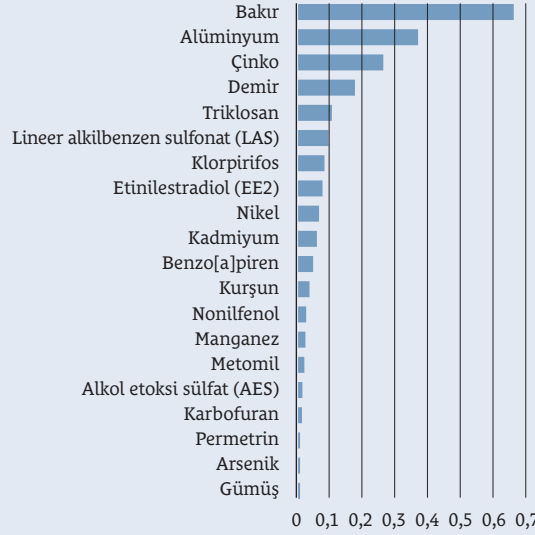
ürünlerin hayvanlar üzerinde test edilmesi tartışmalı konular arasında sayılıyor. Etik kaygılara neden olan bu durumun önüne geçebilmek için zehirlilik ve maruz kalma testleri günümüzde bilgisayar modellemeleri kullanılarak belirli ölçüde yapılabiliyor. Örneğin, yaklaşık 100.000 adet kimyasal madde üzerinde yapılan bir çalışmada kullanılan bilgisayar modellemesi, bu kimyasallardan hangilerinin kalıcı, doğada biriken ve zehirli özellikte olduğunu öngörmeyi başardı.

## Kimyasalların etkilerini azaltmak için daha iyi su arıtma sistemleri

Kimyasallara maruz kalma olasılığı bölgelere hatta ülkelere göre farklılıklar gösteriyor. Kimyasallarla kirlenen atık suların zehirli etkisi, ilgili bölgenin yüz ölçümü, nüfusu ve aldığı yağış miktarı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebiliyor.



Kimyasalların bağıl riskleri



Yapılan Yayın Sayısı (2015 - 2019) (Web of Science - Eylül 2019)



Atık su arıtma tesislerinde çöktürme sonrasında gerçekleştirilen biyolojik arıtma işlemlerinde daha etkili yöntemlerin kullanılması ve biyolojik arıtma süresinin uzatılması hem genel su kalitesinin artırılması hem de sulardaki kimyasalların azaltılması açısından önemli yararlar sağlıyor.

## Disiplinlerarası Çalışma

Kimyasalların üretimi, çeşitliliği ve kullanımı hiçbir zaman günümüzdeki kadar yaygın olmamıştı. Hem kullanılan kimyasallara hem de kimyasal madde kullanımına dayalı çözümlere her geçen gün yenileri ekleniyor.

Farklı kimyasallar esas alınarak yapılan laboratuvar çalışmaları ve modellemeler, o kimyasalların canlılara ve çevreye zarar verip ver-

meyeceği hakkında bilgi veriyor. Moleküler düzeyden popülasyon düzeyine kadar olası etki analizlerinin zarar gerçekleşmeden önce yapılması alınacak önlemler hakkında yol gösterici oluyor.

Çevredeki kimyasalların ve etkilerinin incelenmesi büyük ölçüde ekotoksikoloji ve çevre kimyası uzmanları tarafından gerçekleştiriliyor. Bunlara kimyasalların yaban hayatı üzerine olan kısa ve uzun dönem etkilerini araştıran ekologları da eklemek mümkün. Bu üç disiplinin iş birliği içinde çalışmasının araştırmaların başarısına önemli katkısı olacağı düşünülse de şimdiye kadar yapılan çalışmalara bakıldığında böyle örneklerin istenilen az sayıda olduğu görülüyor. Kimyasallardan kaynaklı zararların daha iyi bir şekilde belirlenebilmesi için ilgili alanlardan bilim insanlarının kuvvetli bir iş birliği içinde çalışması gerekiyor.

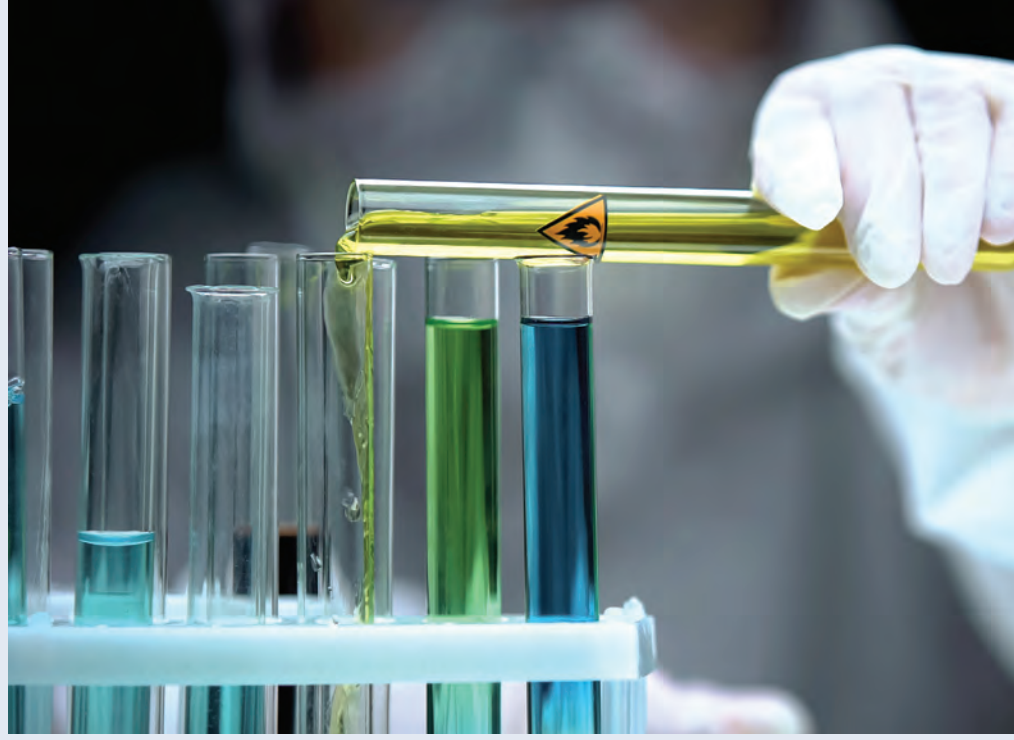
## Kimyasal karışımların izini sürmek

Pestisitler, farmasötikler, endüstriyel ve sentetik kimyasallar çevreye ve besin zincirine katılarak istenmeyen etkilere ve hastalıklara hatta ölümlere neden olabiliyor. Yapılan klinik araştırmalar kronik hastalık riskinin büyük kısmının sadece genetik faktörlerle açıklanamayacağını, çevre veya gen/çevre etkileşimlerinin bu hastalıkların görülmesinde etkili olabileceğini gösteriyor. Lancet Kirlilik ve Sağlık Komisyonu, ortalama yaşta daha erken gerçekleşen ölümlerin %16'sını çevre kirliliğinin etkilerine bağlıyor.

*Kimyasal madde kullanımının kontrol edilmesi gelecek nesillerde görülebilecek hastalıkların engellenmesinde önemli rol oynayabilir.*

*Benzindeki kurşunun engellenmesi sayesinde yılda 2,4 trilyon \$ fayda sağlanıyor ve 1,2 milyon kişinin erken ölmesinin önüne geçiliyor.*

*Düşük ve orta gelirli ülkelerde çocukluk dönemlerinde kurşuna maruz kalmanın kümülatif maliyetinin yıllık en az 977 milyar \$ olduğu tahmin ediliyor.*



Yapılan araştırmalar ve elde edilen veriler kimyasalların canlılar ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini işaret etmekle kalmıyor, aynı zamanda zararları kesin olarak bilinen kimyasalların kullanımının önlenmesi ve zararsız alternatiflerinin bulunması için harekete geçilmesi gerektiğini de gösteriyor.

Ulusal ve uluslararası boyutlarda alınan önlemlerle bazı kimyasalların kullanımı asgari düzeye indirildi, bazıların kullanımını ise sonlandırıldı. Ancak her geçen gün kullanılan kimyasallara yenileri eklenmeye devam ediyor. CAS (evrensel olarak kabul gören kimyasal madde veri tabanının kısaltması) sistemine kayıtlı kimyasal sayısı 2002 yılında 20 milyon civarlarındayken, bu sayı 2019 yılında 156 milyona ulaştı. Son verilere göre ise kayıtlı kimyasal madde sayısı 162 milyondan fazla.

Bu büyüme çok hızlı gerçekleşirken yeni kimyasal maddeler hakkında bilgi elde etmek ve gerekli düzen-

lemeleri yapmak uzun zaman alabiliyor. Bu nedenle kimyasal madde yönetimi ile ilgili tüm kurum ve kuruluşların çalışmalarına sürekli devam etmesi gerekiyor.

Geçmişte bilinen kimyasal kirlilikler genelde tanımlanmış bir grup endüstriyel kimyasal maddeye bağlanıyordu. Günümüzdeyse durum artık çok farklı boyutlara ulaştı. Kimyasalların bire bir etkilerinin yanında farklı kimyasalların karışımları da büyük çaplı risklere yol açabiliyor. Küresel anlamda bakıldığında kirleticilerin bölgesel dağılımı eşitlik göstermiyor. Özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu yüzden daha yüksek risk altında bulunuyor.

Hemen hemen aynı toksik özelliklere sahip kimyasalların etkileri doğadaki derişimlerine (çözünmüş madde miktarı) bağlı olarak artıyor. Farklı etkilere sahip kimyasallar ise birbirinden bağımsız olarak zehirli özelliklerini gösteriyor. Çeşitli zarar-



lı etkilere sahip düşük derişimli çok sayıdaki kimyasalın toplam etkisini kabul edilebilir limitlerde öngörmek mümkün olabiliyor. Ne var ki kimyasal karışımlardaki farklı kimyasalların birbirleriyle ve çevresel dış et-

menlerle (sıcaklık, asitlik gibi) olan etkileşimleri zararlı etkilerin daha büyük boyutlarda olmasına yol açabiliyor. Bazı kimyasal maddelere maruz kalmanın hastalıklara hatta ölümlere yol açabileceğini gösteren kanıtlara rağmen günümüz yaklaşımları ve düzenlemeleri kimyasal madde karışımlarına ve birleşik etkilerine karşı yetersiz kalıyor.


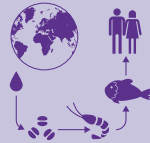

Daha önceki toksikoloji çalışmaları toprakta, sedimentlerde ya da lipitçe zengin organizmalarda biriken hidroforbik (suyu sevmeyen) kalıcı organik kirleticilere odaklanıyordu. Daha sonra özellikle içme suyu kaynakları olarak kullanılan yüzey ve yer altı sularındaki polar kirleticiler de araştırma hedefine alındı. Günümüzde bunlarla birlikte farklı çevre-

sel bölgelerden salınan kimyasalların birbirleriyle olan etkileşimleri de önem kazanıyor.

Çok düşük derişimlerdeki kimyasalların ve dönüşüm ürünlerinin çevrede ve vücuttaki varlıklarının izlenmesi oldukça zor süreçler gerektiriyor. Örnek toplama, örneklerdeki maddelerin ayrıştırılması, kimyasal analizler ve veri analizlerinin doğru bir şekilde yapılması sağlam bilgilere ulaşmak için çok büyük önem taşıyor.

Doğayı ve canlıları çevremizi kirleten kimyasalların etkisinden korumak için sistematik ve tarafsız yaklaşımlar şart. Analiz cihazlarındaki teknolojik gelişmeler ve büyük çaptaki verileri işleme yeteneğinin artması kimyasal maddelere maruziyetin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaya başladı.

Çevreden alınan örneklerdeki kimyasallar gelişmiş cihazlarla tespit edilebiliyor ve bu kimyasalların birleşik etkileri ve toksiklik mekanizmaları gelişmiş yöntemlerle anlaşılabilir. Şimdilik tüm bu gelişmeler tam anlamıyla istenilen sonuçları vermekten biraz uzak duruyor. Kimyasalların çevre, doğal yaşam ve insanlara olan etkisini daha iyi anlamak için farklı alanlardan araştırmacıların ortak çalışmalar yapması ve mevcut düzenlemelerin kimyasal karışımların etkilerini de göz önünde bulunduracak şekilde yeniden yapılandırılması gerekiyor.

	<b>Geleneksel Yöntem</b>	<b>Günümüz Teknolojisi</b>	<b>Gelecekteki Yaklaşım</b>
<b>Örnekleme</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Bağımsız örnekler</li></ul> 	<ul style="list-style-type: none"><li>•Multimedya ortamı</li><li>•Besin zinciri ve biyota</li></ul> 	<ul style="list-style-type: none"><li>•İkincil örnekleme (saç, tırnak vb.)</li><li>•Birbirleriyle ilişkili ana yapılar</li></ul> 
<b>Ekstraksiyon</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Aktif örnekleme ve toplam çözücü ekstraksiyonu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Pasif örnekleme</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Özelleştirilmiş örnekleyciler</li></ul>
<b>Temizleme</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Ana yapının ve istenmeyen kimyasalların ortadan kaldırılması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Çok düşük seviyede</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Çok az seviyede ya da hiç</li></ul>
<b>Analiz</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Kirleticileri önceliklendirme</li><li>•Hedef analizleri</li><li>•Biyoişaretçiler</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Kapsamlı hedef analizleri</li><li>•Şüpheli ve hedef-dışı inceleme</li><li>•Raportör gen biyoanalizleri</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Doğum öncesinden başlayan ve yaşam boyu maruz kalınan çevresel etmenlerin tümü</li><li>•Örneklerdeki tüm kimyasalların analiz edildiği otomatikleştirilmiş büyük veri analizleri</li><li>•Çoklu biyoanalizler</li></ul>

Karmaşık çevresel kimyasallar için örnekleme ve (biyo)analiz stratejileri



## Çevresel faktörlerin hastalıklara etkisi

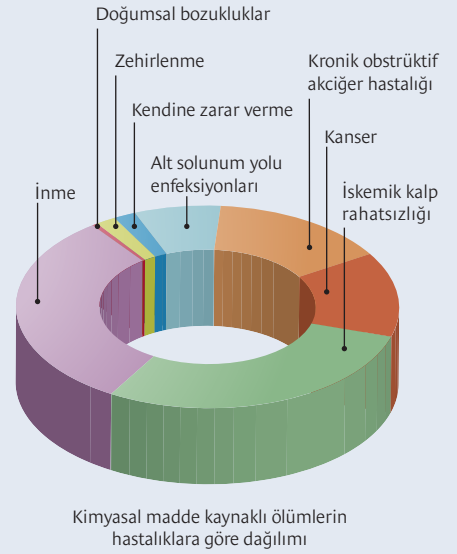
2005 yılında C.P. Wild tarafından öne sürülen “Ekspozom” terimi yaşam boyu maruz kalınan, sağlıklı ya da hasta olmamızı belirleyen, genetik temeli olmayan çevresel etmenlerin tümünü ifade etmek için kullanılıyor. Kimyasallar penceresinden bakıldığında vücuttaki kritik molekülleri, hücre yapısını ve fizyolojik süreçleri değiştiren kimyasallar yüzünden toksik etkiler görülüyor. Vücudumuz yalnızca hava, su ve gıdalar yoluyla aldığımız kimyasallara değil aynı zamanda iltihaplanma, oksidatif stres (reaktif oksijen türlerinin dengesiz olarak artması), lipid peroksidasyonu (yağların yakıldığı ve serbest radikallerin olduğu kimyasal süreç), enfeksiyonlar ve bağırsak florasının etkinlikleri gibi süreçler neticesinde üretilen kimya-

sallara da maruz kalıyor. Bu nedenle vücudumuzdaki kimyasal bileşenler sürekli olarak değişkenlik ve dalgalanmalar gösteriyor.

İnsan genomunun haritalandırılması hastalıkların genetik kökenlerini keşfetmek için kullanılıyor ancak çoğu hastalığı öngörmek için tek başına yeterli değil. Örnek vermek gerekirse dünyada ölümlerin en büyük sebebi sayılan kalp krizine genetik faktörlerin etkisi %50’den daha az.

“Global Hastalık Dağılımı” projesi kapsamında 195 farklı ülke ve bölgedeki 84 adet metabolik, çevresel, mesleki ve davranışsal risk faktörünün hastalıklara olan etkilerinin altı çiziliyor. Bu risk faktörleri dünya çapındaki ölümlerin aşağı yukarı %60’lık kısmından sorumlu. Buna göre, küresel ölçekteki yıllık ölümlerin %16’sı yani yaklaşık 9 milyon ölüm sadece hava, su ve toprak kirliliği yüzünden gerçekleşiyor. Kimyasal kirliliğin ekonomik boyut-

ları da oldukça büyük. Eldeki eksik verilere rağmen, sağlık hizmetlerinin ve iş göremezlik sonucunda üretimde ortaya çıkan kaybın yıllık maliyeti yaklaşık 30 trilyon TL. Bu sebeple çok yönlü bir sorun olarak değerlendirilen kimyasal kirliliğin azaltılması ve önlenmesi konusunda hem bölgesel hem de küresel ölçekte gerekli adımların atılması gerekiyor.



Yakıt olarak kömür kullanan elektrik santralleri çevre kirliliği ve civa emisyonuna yol açıyor.

*Hava kirliliğinde enerji üretimi, endüstri ve ulaşım/ulaştırma faaliyetlerindeki süreçler önemli rol oynuyor. Karbon monoksit (CO), sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve organik kimyasal, metal, toprak ve toz partikülleri ortam hava kirliliğinin en önemli kaynakları olarak biliniyor. Kimyasalların kullanımı ve yönetimindeki eksiklikler hava kirliliğine doğrudan etki ediyor. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitler püskürtülerek uygulanıyor ve havada asılı kalabiliyor.*



Tarım uygulamalarında zehirli pestisit ve kimyasal madde kullanımını engellemek ve bunların yerine daha zararsız ve çevreci kimyasallar kullanmak birçok zehirlenme vakasının ve istenmeyen çevresel etkilerin önüne geçmeyi sağlayabilir.

*Ağır metaller, böcek ilaçları, çözücüler, temizlik malzemeleri, boyalar, karosen, karbon monoksit ve ilaçlardan kaynaklı istem dışı zehirlenmelerden dolayı yılda yaklaşık 193.000 insan hayatını kaybediyor. Bu ölümlerin önemli bir kısmı önlenabilir olarak nitelendiriliyor.*

## Gelecek için daha yeşil bir kimya

Kimyasal ürünler ve üretim süreçleri, sürdürülebilir bir toplum için çok büyük önem taşıyor. Cevaplanması gereken asıl soru geleceğin dünyasında kimya sektörünün olup olmayacağı değil, bu sektörün nasıl şekilleneceği.

Bu nedenle molekül ve bileşik özelliklerinin (toksiklik, yenilenebilirlik, biyobozunurluk vb.) sentez aşamasından başlayıp ürün tasarımı ve üretim aşamalarını da kapsayacak şekilde dikkate alınması gerekiyor. Yeşil kimya ve yeşil mühendislik ilkelerinin benimsenerek üretim süreçlerinin tamamına entegre edilmesinin küresel hedeflere ulaşılmasına yardımcı olacağı düşünülüyor.

Günümüz kimya sektörü, genellikle fosil bazlı tükenir hammaddeler ile başlayan, sonrasında oldukça yüksek

tepkinirliğe sahip, dolayısıyla da kalcılığ ve toksik özellikleri fazla olan kimyasallarla tepkimeler içeren düz bir üretim hattından oluşuyor. Bu üretim şeması işçilerin kimyasallara maruz kalmasına ve kazara veya kasıtlı olarak zararlı kimyasalların doğaya bırakılmasına yol açıyor. Çoğu üretim sonucunda atık olarak zehirli, kalıcı ve biyobirikimli kimyasallar çevreye bırakılıyor.

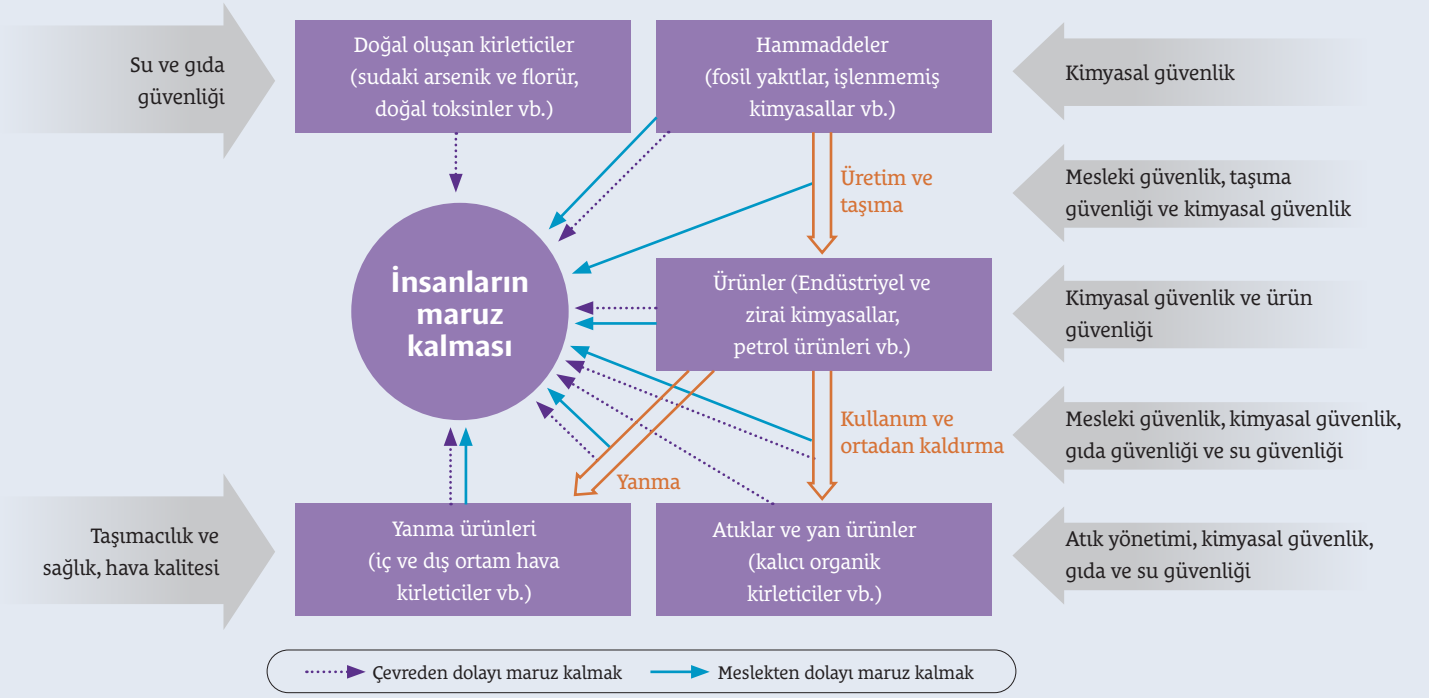
Kontrollü kullanım yaklaşımları kimya sektöründe genel olarak istenilen sonuçları vermiyor. Faydalı ilaçlara ihtiyacı olmayan kitleler maruz kalabiliyor; tarım kimyasalları hasat edilen ürün miktarını artırırken balık ölümlerine ve yer altı sularının kirlenmesine neden olabiliyor; malzemelerin performanslarını artıran kimyasallar kalcılıkları yüzünden doğada, atmosferde ve vücudumuzda kolaylıkla birikebiliyor; tüm bunlar ve benzeri durumlar istenmeyen sonuçlara yol açabiliyor. Sera gazı

emisyonları ile enerji ve su tüketimi gibi nispeten kolay kontrol edilebilecek parametreler içinse bu yaklaşımın başarılı olma olasılığı hayli yüksek. Ancak günümüzde sürdürülebilir bir gelecek için geleneksel yaklaşımların karmaşık tasarım ve sistemlerle birleştirilmesi gerekiyor.

Bu noktada sorulması gereken en temel soru belki de şudur: Kimya endüstrisi çeşitli fonksiyonlardaki faydalı ürünleri geliştirirken dünyayı ve içerisindeki tüm canlıları tehdit eden zararlı etkileri yeterli seviyede sınırlandırabiliyor veya ortadan kaldırılabiliyor mu?

Yeşil kimya ve yeşil mühendislik uygulamaları ile kimyasal ürün ve süreçlerden daha fazla performans ve işlevsellik elde edilebildiğinin pek çok örneği bulunuyor. Bu başarıların genele yayılmasının yolu akıllı tasarımlar yapmaktan ve iyi planlanmış üretim süreçlerinden geçiyor.

## Kimyasallara maruz kalma ve alınabilecek önlem programları



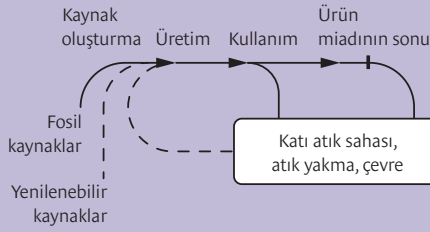
## Kimya sektörünün geleceği

Geleceğin kimyasal ürünlerinin tasarımı, ürün işlevselliği en üst düzeyde tutulurken tehlikeli ve zararlı etkileri asgariye indirmek ya da tamamıyla ortadan kaldırmak hedefleniyor. Moleküler düzeydeki kimyasal mekanizmaların daha iyi anlaşılması ve planlanmış üretim süreçlerinin iyi bir biçimde yönetilmesi ile birlikte bu hedefler gerçekleştirilebilir olarak değerlendiriliyor.

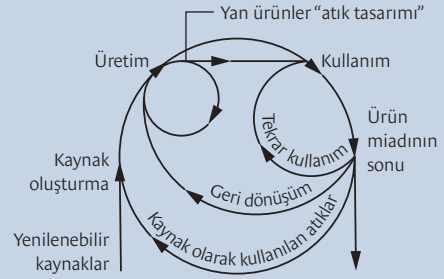




## Günümüz Kimya Sektörü



## Gelecekteki Kimya Sektörü



Doğrusal süreçler	→	Döngüsel süreçler
Fosil kaynaklar	→	Yenilenebilir kaynaklar
Reaktif, kalıcı, zehirli kimyasal madde ve ürünler	→	Zararsız kimyasal madde ve ürünler
Nadir metal katalizörler	→	Yaygın metal, enzim, foton ve elektron katalizörler
Kovalent bağlar	→	Zayıf, kovalent olmayan etkileşimler
Geleneksel çözücüler	→	Çözücüsüz ya da düşük toksikliğe sahip, kararlı, bol bulunan ve kolaylıkla ayrıştırılabilir çözücüler
Malzeme ve enerji sarfiyatlı izolasyon ve saflaştırma	→	Kendiliğinden ayrışan sistemler
Büyük hacimli atıklar	→	Az atık ve maliyeti düşük süreçler
Atık artımı	→	Atıklardan istifade etme
Kullanım amacına bağlı tasarım	→	Tam yaşam döngüsü için akıllı molekül tasarımı
Performans = fonksiyonelliği artırmak	→	Performans = fonksiyonelliği artırmak + tehlike ve riskleri en aza indirmek
Kazançları artırmak için azami seviyede kimyasal üretim	→	Kazançları artırmak için tehlikesiz yüksek performanslı malzemeler

## Önemli Adımlar Atmak

Döngüsel ekonomi, üretim sürecinde oluşan yan ürün ve atıkların tekrar değerlendirildiği, sürdürülebilir kaynakların verimli kullanıldığı ve çevresel faydanın üst düzeyde tutulduğu sürdürülebilir üretim modeline deniyor. Kimya endüstrisinin döngüsel ekonomiye entegrasyonu için bazı temel değişimlerin yapılması gerekiyor.

**Yenilenebilir kaynaklar:** Fosil bazlı hammaddeler gibi tükenbilir kaynakların kullanımından yenilene-

bilir kaynak temeline dayalı kimya endüstrisine geçmek ve buna bağlı olarak üretim süreçlerini doğrusal yapıdan döngüsel yapıya dönüştürmek gerekiyor.

### Zehirli olmayan kimyasallar:

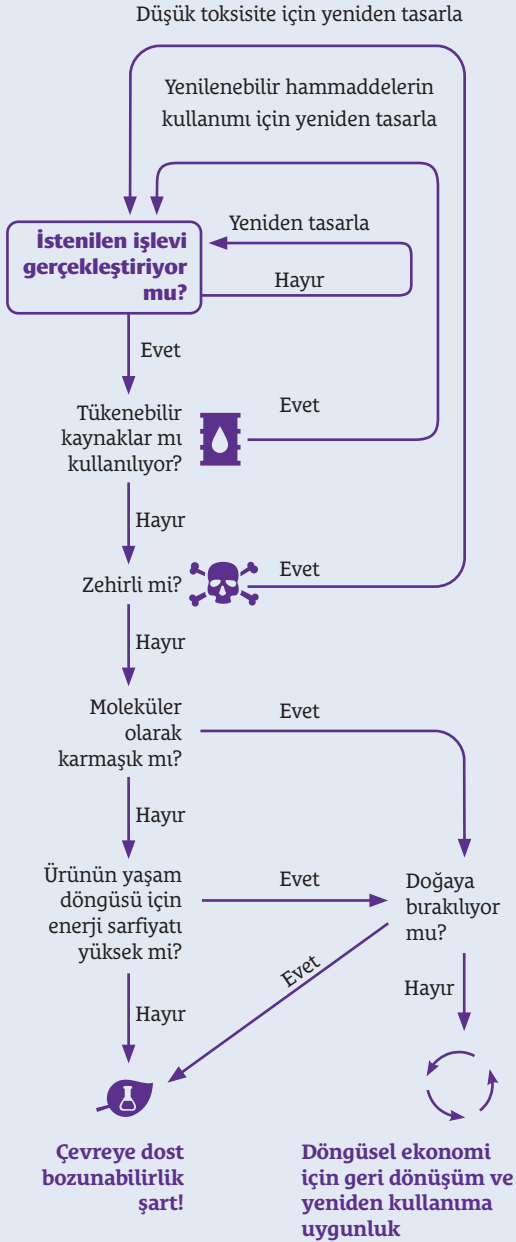
Toksik özellik taşımayan kimyasalların ve ürünlerin tasarımı için kimya, toksikoloji, genetik ve ilgili diğer alanlardan araştırmacıların ortak çalışmalar yapması büyük önem taşıyor. Kullanılması planlanan kimyasallarla ilgili moleküler mekanizmaların analizi, fiziksel ve kimyasal özelliklerin tespiti, farklı

ortamlardaki tepkinirlik ve etkileşimlerin incelenmesi ve toksik etki modellemelerinin çıkarılması yapılması gereken çalışmalar arasında.

### Kolay ve hızlı bozunma:

Yarının kimyasallarının çevreye ve canlılara zararlı olmayan nitelikteki bileşenlere kolay ve hızlı bozunacak şekilde tasarlanması bekleniyor. İlaçlar, kişisel bakım ürünleri, farmasötikler, böcek ilaçları ve zirai ürünler geliştirilirken bu kriterin sağlanması öncelikli olarak hedeflenmeli.

## Kimyasal Tasarım İçin Karar Şeması



## Döngüsel ekonomi ve yeni kimya sektörü

Dünya, malzeme üretimi için ihtiyaç duyulan kaynaklar bakımından (kimyasallar, mineraller ve petrol gibi) her geçen gün daha yetersiz kalıyor. Bu kaynakların elde edilmesi ekonomik olarak daha maliyetli hâle gelirken doğa ve canlılara olan olumsuz etkileri de giderek artıyor.

Sürdürülebilir bir gelecek için kimya sektörünün doğal kaynakları tasarruflu kullanan, çevre ve canlıları

koruyan, yan ürünler ile atıkları değerlendiren/geri dönüştüren döngüsel ekonomi sistemine uyumlu hâle gelmesi gerekiyor.

Yeni düzenlemelerle ürünlerin özelliklerini kaybetmeden uzun süre kullanıma uygun olmaları hedefleniyor. Modern üretim yaklaşımına göre yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ürünlerin ayrıca onarım ve yenileme kolaylığına, tekrar kullanılabilirliğe, kolay ve faydalı geri dönüştürülebilirlik özelliğine sahip olacak şekilde tasarlanması bekleniyor.

Döngüsel ekonomi yaklaşımını benimseyen ve uygulayan Çin, ABD



ve Avrupa Birliği ülkeleri ile diğer bazı ülkeler Dünya Sağlık Örgütü ve Birleşmiş Milletler gibi uluslararası kuruluşlarca da destekleniyor. Yapılan tüm çalışmalar dünyanın kaynak ve atık sorunlarıyla yüzleşmeyi, çözüm yollarını hayata geçirmeyi ve en nihayetinde de sürdürülebilir bir geleceği inşa etmeyi hedefliyor. Günümüzde oldukça büyük miktarlardaki kimyasal malzemeler ve bağlı ürün akışları göz önünde bulundurulduğunda tüm endüstriyel sektörlerin nasıl bir süreç izleyerek üretim yapacaklarını belirlemeleri ve bu süreci sıkı bir şekilde yönetmeleri gerekiyor.



## Elbette bazı sınırlar var

Araştırmacılar önümüzdeki yıllarda sanayinin metal hammadde taleplerinin hem kimya sektörü hem de dijitalleşme ve iletişim sektörlerindeki ürün ve süreçler dikkate alındığında önemli ölçüde artacağını öngörüyor. Sürdürülebilir geleceğin inşası cevherlerden ya da geri dönüşümden elde edilecek yüksek kaliteli metallerin varlığına büyük ölçüde bağlı görünüyor.

Örneğin, kablolama, rüzgâr türbinleri, elektrik motorları, bilişim teknolojileri ürünleri, jeneratörler, sensörler ve diğer elektronik cihazlar için kullanılan bakırın üretimi 20 yılda %3000'den fazla arttı. Önümüzdeki yıla kadar bakır için 600.000 tonluk pazar açığı olu-

şacağı tahmin ediliyor. Yeni bakır cevherlerinden elde edilen bakır istenilen kalitenin altında kalıyor, kaliteyi yükseltmek için ise giderek daha fazla kaynak ve enerji harcamak gerekiyor. Derin madenlerden cevher çıkarılması da daha fazla atığa, daha fazla zehirli kimyasal kullanımına, dolayısıyla doğada daha büyük bir çevre ayak izi oluşmasına yol açıyor. Ayrıca madencilikte işlenen alanların giderek genişlemesi bölge halkının kaygılarını ve rahatsızlığını da beraberinde getirebiliyor.

Metal geri dönüşümü, enerji tasarrufu yönünden madencilik işlerinden daha avantajlı ancak ürünlerde kullanılan metal karışımları atomik ve moleküler düzeyde ayrıştırılmaya ve saflaştırma işlemlerine gerek duyuyor. Bazı bileşenler için bu işlemler uygulanamayabiliyor, bu da ileriki





kullanımlar için daha fazla kayıplara yol açıyor. 2012 yılına kadar yaklaşık 560 milyon ton bakır madeni çıkarıldı ve bu miktarın sadece %50'lik kısmı hâlâ aktif kullanımda. Önemli miktardaki kaybın başlıca nedenleri arasında düşük geri toplama oranları var. Bir diğer önemli sebep ise geri dönüştürülen malzemenin düşük kaliteli olması sebebiyle yüksek kaliteli metallere karıştırılarak işlenmesi. Öngörülebilir bir gelecek için döngüsel ekonomi girişimleri son derece faydalı olsa da hammadde talebi karşılanmadığı her durumda yeni kaynaklara yönelmek, daha fazla atığın ortaya çıkmasına ve yüksek enerji sarfiyatına yol açacaktır.

Organik bileşiklerde ise durum metallerdekinden biraz farklı. Çoğu organik kimyasal madde sentezleme yoluyla elde edilebiliyor. Ancak çok sayıda bileşenin bir araya gelmesi geri dönüşüm aşaması için fazladan kimyasalların kullanılmasına ve enerji sarfiyatının yükselmesine, bunlar da yüksek maliyetlere sebep olabiliyor. Örneğin, plastik ürünlerde genellikle bir veya daha fazla polimer çeşidi ile birlikte ürünün istenilen özellikte olmasını sağlayacak (alev geciktirici, renklendirici, UV koruyucu ve oksitlenmeyi önleyici vb.) çeşitli kimyasallar kullanılıyor. Bu maddelerin çoğu zehirli olmakla birlikte geri dönüşüm işlemlerini de zorlaştırıyor. Öyle ki plastik su şişelerindeki polietilen tereftalat (PET) geri dönüşümlerinde bile yaklaşık %5 malzeme kaybı oluyor. Bu nedenle geri dönüşümün mümkün olmadığı veya istenilen düzeyde gerçek-

leştirilemediği pek çok malzeme ve ürünün kullanımından tamamen uzak durmak gerekiyor.

Yenilenebilir biyo-kaynaklar kimya endüstrisinde giderek daha yaygın bir şekilde kullanılıyor. Hammaddenin yenilenebilir özellikte olması önemli avantajlar sağlıyor ancak tarımsal sanayi ve orman ürünleri atıklarının karmaşık yapıları geri dönüştürülmelelerini olumsuz etkiliyor. Kullanıma, doğal yaşlanma süreçlerine ve geri dönüştürme işleminde kullanılması gereken kimyasallara bağlı olarak yeneden elde edilen ürünler genellikle düşük kalitede ve önceki işlevini yerine getirmekten uzak oluyor.

Pestisitler, kozmetikler, biyositler ve farmasötikler gibi açık çevre uygulamaları olan ürünler düşük derişimle ve geniş alanlara dağılımları yüzünden döngüsel sürece tabi olamıyor ve geri dönüştürülemiyorlar. Çevre için zehirli özellikteki atıklara sebep olan bu tür ürünler aynı zamanda kontrol edilmesi en zor olanlar. Araştırmacılar bu tür ürünleri geliştirirken istenilen işlevi sağlamakla birlikte hızlı ve tam bir çevresel mineralizasyona (organik bileşiklerin mineral maddelere dönüşmesi) uğrayabilen yeni moleküller ve malzemeler kullanımlar. Ürünlerin çevreye olan olumsuz etkilerinin bu sayede ortadan kaldırılabileceği öngörülüyor.





*Kansere yol açtığı bilimsel olarak gösterilen kimyasalların listesi bir hayli uzun. Mesleki kanserojenler tüm kanser vakalarının %2 ila %8'inin kaynağı olarak gösteriliyor. Akciğer kanseri vakalarının %31'i açık ve kapalı ortam hava kirliliği, %2'si pasif içicilik, %7'si de meslekten dolayı kirleticilere maruz kalmalar yüzünden görülüyor.*

Deri tabaklama ve boyama atölyelerinde kullanılan kimyasalların büyük bir bölümü kanser ve daha pek çok rahatsızlığa yol açıyor. Ancak alınacak basit tedbirlerle çoğu zararlı etki kolaylıkla engellenebiliyor.

## **Daha yeşil ve sürdürülebilir bir geleceğin anahtarı elimizde**

Kimya sektörünün dögüsel ekonomiye adaptasyonu için önemli üç ayağı eğitim, yasal düzenlemeler ve endüstri oluşturuyor. Öncelikle kimya, mühendislik ve ürün tasarımı eğitimlerindeki genel yaklaşımın değişmesi gerekiyor. Günümüzde kullanılan ürünlerin büyük bir kısmı yenilenemeyen özellikte oldukça karmaşık moleküller içeren sentetik kimyasallardan oluşuyor. Geleceğin ürünleri ise geri dönüştürmeye uygun ve daha basit yapıda olmalı. Ayrıca katkı maddelerinden ve toksik bileşenlerin kullanımından mümkün olduğunca kaçınılmalı. Tüm bu çabalar sayesinde atık dönüştürme işlemi daha az adımda ve daha az enerji sarfıyatı ile gerçekleştirilebilir.

## **Dünya Kimyasal Güvenliği**

Kimyasal madde güvenliği, doğal veya sentetik tüm kimyasal maddeler ile ilgili olarak hammadde elde edilmesi/sentezlenmesi, endüstriyel üretim, ürün nakliyesi, ürün kullanımı/uygulaması ve atık yönetimi aşamalarında canlı sağlığı ve çevre ile alakalı alınacak tüm önlemleri kapsıyor.

Dünya Sağlık Örgütü, Uluslararası Kimyasal Madde Güvenliği Programı (IPCS) ile kimyasalların ulusal ve uluslararası düzeyde güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için çalışmalar yürütüyor. Ayrıca OECD gibi uluslararası organizasyonlarla iş birliği içinde kimyasalların kullanımına ilişkin standartlar ve kılavuzlar oluşturuyor. Bu sayede kimyasalları değerlendirmek üzere bilimsel temellere dayalı ve genel geçerliliği

olan sağlam metodolojilerin geliştirilmesi, uyumlulaştırılması ve bu metodolojilerin yaygın kullanımının teşvik edilmesi amaçlanıyor.

2017 yılı 70. Dünya Sağlık Asamblesi'nde onaylanan yol haritası ile kimyasal ve atık yönetiminde gerekli gelişme ve iyileştirmelerin yapılması ve kimyasal kaynaklı risklerin, hastalıkların ve ölümlerin azaltılması amaçlanıyor.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı bünyesinde yürütülen Kimyasal Madde Yönetimi Stratejik Yaklaşımı (SAICM), kimyasalların insan sağlığı ve çevre üzerindeki önemli olumsuz etkilerini en aza indirecek şekilde üretim ve kullanımının hedeflendiği bir politika çerçevesi çiziyor.

Kimyasal madde yönetimi oldukça dinamik bir özellik gösteriyor. Yeni kimyasallar, yeni riskler oluşturuyor. Araştırmacılar sürekli olarak bu değişime ayak uydurmak zorunda kalıyor. Bilimsel veriler ışığında şekillenen ulusal ve uluslararası platformlarda kimyasal yönetimine ilişkin yeni düzenlemeler ve iş birlikleri gerekiyor. Tüm bu çalışmaların merkezinde yer alan Dünya Sağlık Örgütü koordinasyonunun sağlanmasında oldukça önemli bir rol oynuyor.

## Zehir Merkezleri

Zehirlenmeler küresel halk sağlığının önemli bir sorunu olarak karşımıza çıkıyor. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre 2012 yılında yaklaşık 193.000 kişi zehirlenerek öldü. Bu ölümlerin %84'lük bir kısmı düşük ve orta gelirli ülkelerde görüldü. 2016'daysa bu sayı 106.000'den fazlaydı. IPCS'in Zehirlenmeyi Önleme ve Yönetimi Programı, ülkelerin bu tür problemlerle başa çıkmasını sağlamak için dünyanın pek çok yerinde zehir danışma merkezleri kurulmasını teşvik ediyor. Böylece zararlı



kimyasallar hakkında bilgi akışı sağlanıyor, zehirlenmenin önlenmesi ve klinik yönetimi konularında hakemli kılavuzlar geliştiriliyor.

Zehir merkezleri, zehirlenmenin teşhisi, önlenmesi ve yönetimi ile ilgili konularda çalışan özel birimler. Değişik yerlerdeki örnekleri birbirinden bazı farklılıklar gösterse de temel görevleri genel olarak aynı. İlaçlar, doğal toksin kaynakları, böcek ilaçları ve endüstriyel kimyasallar gibi çeşitli kimyasal maddelere maruz kalınması durumlarında destek veriyorlar. Ayrıca yerel ve ulusal düzeydeki kimyasal olaylara hazırlık ve müdahale faaliyetlerine de katılıyorlar. Bazılarında ayrıca toksikoloji laboratuvarı ve klinik tedavi üniteleri de bulunuyor.

Türkiye'de Ulusal Zehir Danışma Merkezi (UZEM) T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunuyor. 1986 yılında kurulan merkez 1988'den itibaren kesintisiz olarak hizmet vermeye devam ediyor. Merkeze telefonla 114'ü

arayarak 24 saat ulaşmak mümkün. Ayrıca bazı üniversiteler bünyesinde de ilaç ve zehir danışma merkezleri bulunuyor. Buralarda düzenli olarak toplanan ve işlenen bilgiler hem ulusal hem de uluslararası platformlarda paylaşılıyor, risk analizleri yapılarak erken önlemler alınması sağlanıyor.

## Genel Değerlendirme

Çok çeşitli kimyasallara her gün, solunuma, yutma ve cilt teması gibi farklı yollarla maruz kalıyoruz. Hatta öyle ki doğmamış bebekler bile göbek kordonu yoluyla bu durumdan etkilenebiliyor. Faydalarını saymakla bitiremeyeceğimiz kimyasalların kullanımına artık daha fazla dikkat etmemiz gerekiyor. Günümüz ihtiyaçlarının karşılanması için çok çeşitli kimyasalların üretimi ve ürünlerde kullanımı oldukça ileri seviyelere ulaştı. Bu nedenle zararlı kimyasalların erken tespiti, kullanımlarının kısıtlanması/yasaklan-







ması ve aynı işlevi görecek zararsız kimyasallarla değiştirilmesi büyük önem taşıyor. Küresel anlamda tüm paydaşların sürdürülebilir bir gelecek için kararlı ve istikrarlı bir şekilde daha yeşil bir kimya için çaba göstermesi gerekiyor.

Ulusal ve uluslararası mutabakatlar doğrultusunda tüm kimyasal maddelerin ve kimyasal atıkların yönetiminin gerçekleştirilmesi;

kimyasalların hava, su ve toprağa salınımının azaltılması ve bu sayede canlılar ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi gerekiyor. Kimyasallardan kaynaklanan hastalıkların ve ölümlerin önemli ölçüde azaltılması ancak bu sayede başarılabilir gibi görünüyor.

Kimyasal madde kontrol kanun ve mevzuatları ülkelerin kendi bölgelerinde ürettiği, ithal ettiği ve kullandığı kimyasal maddelerin kontrol ve yönetimini düzenliyor. Sağlam bir kimyasal madde ve atık yönetimi sürdürülebilir kalkınma için de ön koşul olarak görülüyor. Bu doğrultuda, pek çok ülke kimyasallar ve atıklarla ilgili uluslararası kabul görmüş düzenlemeleri içeren çok taraflı çevre anlaşmalarına onay veriyor.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler kimyasal madde kullanımının zararlı boyutlarıyla yüzleşmek ve gerekli

tedbirleri almak zorundalar. Kalıcı organik kirleticilerle ilgili Stockholm ve Minamata Sözleşmeleri, tehlikeli atık yönetimine yönelik Basel Sözleşmesi, tehlikeli kimyasallar ve pestisitlere ilişkin Rotterdam Sözleşmesi gibi uluslararası anlaşma ve mutabakatlar dünyanın zararlı kimyasallarla ortak mücadelesine önemli katkılar sağlıyor. Tüm dünya ülkeleri kimyasalların yönetimi konusunda stratejik yaklaşımların belirlenmesine ve günün ihtiyaçlarına göre gerekli düzenleme ve güncellemelerin yapılmasına katkı vermelidir.

Kimyasalların kontrollü bir şekilde kullanılması ve yönetilmesi, zehirli maddelerin kullanımının sonlandırılması, kontrol mevzuatlarına uyulması, tüm süreçlerde kişisel ve çevresel koruma tedbirlerinin alınması, kullanım sonunda atık yönetimi faaliyetlerinin eksiksiz düzenlenmesi canlılar ve çevre adına son derece önemli. ■

## Kaynaklar

- Vermeulen, R., Schymanski, E.L. ve ark., "The exposome and health: Where chemistry meets biology", *Science*, 367 (6476), 392-396, 2020.
- Kümmerer, K., Clarck, J.H. ve Zuin, V.G., "Rethinking chemistry for a circular economy", *Science*, 367 (6476), 369-370, 2020.
- Johnson, A.C., Jin, X. ve ark., "Learning from the past and considering the future of chemicals in the environment", *Science*, 367 (6476), 384-387, 2020.
- Escher, B.I., Stapleton, H.M., ve Schymanski, E.L., "Tracking complex mixtures of chemicals in our changing environment", *Science*, 367 (6476), 388-392, 2020.
- Zimmerman, J.B., Anastas, P.T. ve ark., "Designing for a green chemistry future", *Science*, 367, 397-400, 2020.
- Funk, M. ve Ash, C., "A cleaner, greener future for chemicals" *Science*, 367 (6476), 378-379, 2020.
- Prüss-Üstün, A., Vickers, C., ve ark., "Knowns and unknowns on burden of disease due to chemicals: a systematic review", *Environmental Health*, 10:9, 2011.
- "The Public Health Impact of Chemicals: Knowns and Unknowns", World Health Organisation, WHO/FWC/PHE/EPE/16.01, 2016.
- "Benefits of Chemicals Control", UN Environment Programme Report
- <https://www.cas.org/support/documentation/chemical-substances>
- <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/01/200123152456.htm>