

# Sudaki İhmaller Can Yakıyor!..

**Ağrı kesicilerden asetaminofen, antimikrobiyal sabunlardan triklosan, sabah kahvesinden kafein ve bunlar gibi birçok kimyasal madde nehirlerimizden akıyor.**

**En büyük risk suda yaşayan canlılar üzerinde. Bu ortamda yaşayan türler 7 gün 24 saat boyunca bileşiklere maruz kalıyor.**

**Prof.Dr. Adil Denizli & Dr. Handan Yavuz**  
Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölümü

Dünya nüfusunun yaklaşık beşte biri sağlıklı su kullanma olanaklarına sahip değildir. Sudaki patojenler, çoğunluğu beş yaşın altında olmak üzere her yıl 2 milyon ölüme neden olmaktadır. Yüzey ve yeraltı sularının artan bir şekilde kimyasal maddelerle kirlenmesinin de büyük ölçüde sudaki yaşam ve insan üzerine uzun vadeli sonuçları, bilinmeyen belki de eşit hatta daha tehlikeli sonuçlar doğurması olası bir durumdur. Dünyanın ulaşılabilir, yenilenebilir taze suyunun üçte birinden fazlası tarımsal, endüstriyel ve evsel amaçlarla kullanılmakta ve bu aktivitelerin çoğu suların yapay bileşiklerle kirlenmesine yol açmaktadır (Çizelge 1). Dolayısıyla, doğal suların kimyasal maddelerle kirlenmesi dünyanın tüm bölgelerinde yaşamsal öneme sahiptir.

Endüstri ve belediyeler, küresel olarak ulaşılabilir akımın, yaklaşık yüzde 10'unu kullanarak nehirlere, göllere, yeraltı sularına, kıyı denizlere ulaşan bir atık su akımı oluştururlar. Bu atık sular, değişen derişimlerde çok sayıda kimyasal madde içermektedirler. Her yıl yaklaşık 300 milyon ton endüstriyel ve tüketiciler tarafından kullanılan yapay bileşik doğal sulara karışmak üzere yollarını bulmaktadır. Her yıl tarımsal olarak kullanılan, 140 milyon ton gübre ve birkaç milyon ton pestisit de bunlara ek olarak kirlenici unsurlardır. Örneğin; Avrupa Birliği'nde günlük kullanımları 30 bin -70 bin ton arasında değişen 100 bin'den fazla kimyasal madde tanımlanmıştır. Diğer bir faktör de, kaza ile sulara karışan 0.4 milyon ton petrol ve ürünleridir. Diğer kayda değer kirlenici unsurlar; yeraltı sularına tuzlu suların karışması, zehirli toksik kimyasalların (ağır metaller ve metalleidler) insanlar vasıtasıyla yer değiştirmesi, toksinler ve kötü kokulu bileşiklerin biyolojik üretimi olarak sayılabilir.

## **Sinsi ve Görünmeyen Problem**

Günümüze kadar bu sinsi ve görünmeyen problem için etkin ve sürekli bir küresel strateji geliştirilememiştir. Atık su işleme tesisleri, endüstrilemiş ülkelerde kısmi bir engel olabilir; ancak yeterli değildir.  $\mu\text{g/L}$ - $\text{mg/L}$  seviyelerinde bulunan, görece az sayıda makrokirleticilerin (asitler, tuzlar, besinler ve organik maddeler gibi) kaynağı, davranışı ve bunların işlenmesi iyi bilinmemektedir. Yüksek besin yüklemeleri artan primer üretime, oksijen azalmasına ve toksik alglerin oluşuma neden olabilmektedir. Bu durumlarda takip edilecek yol, ekosistemin tepkilerini tahmin ederek teknolojilerin optimizasyonuna ve nehir yatakları ölçeğinde plan geliştirilmesidir.

Ancak sulara düşük ya da çok düşük derişimlerde ( $\text{pg/L}$ - $\text{ng/L}$ ) bulunan binlerce sentetik ve doğal eser maddelerin su kaynaklarına etkilerini kestirmek çok güçtür. Çizelge 2, bazı mikrokirleticilerin muhtemel toksikolojik etkilerini göstermektedir. Bu kimyasal maddeler, geçen 25 yılda sadece endüstrilemiş bölgelerdeki doğal sulara değil, buralardan çok uzak alanlarda da izlenmiştir. Bazı kimyasal maddeler hiç yıkıma uğramayarak (örneğin ağır metaller) ve bazıları da çok yavaş yıkılarak (DDT, lindane ya da poliklorlu bifeniller gibi kalıcı organik kirleticiler) su ya da havayla kaynaklarından kilometrelerce uzağa yol kat ederler. Daha az kalıcı olan ve uzun mesafelere taşınmayan ürünlerin ve bunların biyotransformasyon ürünlerinin de, sürekli olarak aynı çevrede kalması uzun süre bu bileşiklere maruz kalmaları bakımından problemler oluşturabilir. Bu tür bileşiklere örnek olarak hormonlar, ilaçlar ya da nonilfenol gibi yüzey aktif ajanların kalıcı bozunma ürünleri verilebilir.

**Dünyanın ulaşılabilir, yenilenebilir taze suyunun üçte birinden fazlası tarımsal, endüstriyel ve evsel amaçlarla kullanılıyor.**



Şekil 1. Su probleminin boyutları. Su kullanımı ve makro ve mikro kirlenici akımlar

İnsanların ulaştığı taze su (km <sup>3</sup> /yıl)	
Toplam küresel akış	40,700
Ulaşılabilir küresel akış	12,500
Su tüketimi (toplam)	4,430
Tarım	2,880
Endüstri	975
Belediyeler	300
Rezervuar kayıpları	275
Dünya nehirleriyle makrokirlenici akımları (106 ton/yıl)	
Toplam inorganik azot (≈%75 antropojenik)	21
Toplam fosfor (yüzde 60 antropojenik)	5.6
Akuatik sistemlerine antropojenik ağır metal girişi (106 ton/yıl)	
Zn, Cr, Ni, Pb, Cu, Cd, Hg	0.3-1
Su kalitesini etkileyen antropojenik akımları (106 ton/yıl)	
Küresel gübre üretimi (2000)	140
Küresel pestisit üretimi	5
Sentetik organik kimyasal üretimi	300
Petrol dökümleri (1980-2000 ortalama)	0.4

**Antibiyotikler sadece sularda değil çamur ve diğer sedimentlerde de birikiyor.**

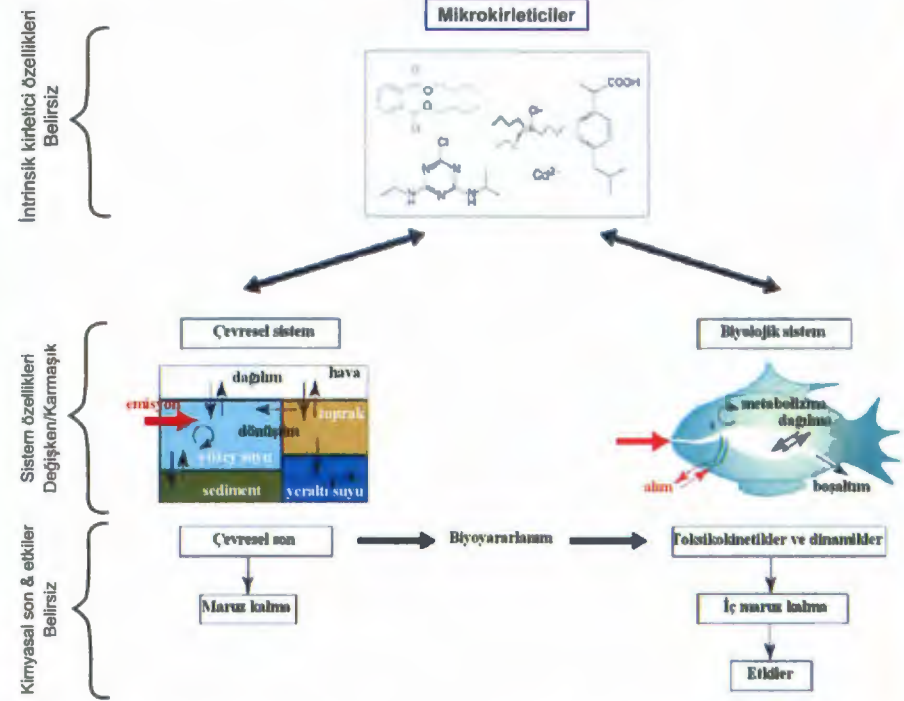
Şekil 2. Bazı su kirlenicileri.

İçin/Kullanım	Sınıf	Örnek	Bağlantılı problemler
Endüstriyel kimyasallar ve ürünler	çözücüler metil-t-bütiller	tetraklorometan petrokimyasallar	İçme suyu kirlenmesi BTEX (benzen, toluen, ksilen)
Endüstriyel ürünler İçilebilirler	katkılar PCB'ler (poliklorlu bifeniller)	flaflatlar alev geciktiriciler	biyobirikme, uzun vadeli taşınım polibromlu difeniller
Kirlenici ürünleri	deterjanlar	nonilfenol etoksilatlar	endokrin aktif dönüşüm ürünü (nonil fenol) Bakteriyel direnç, hedeflenmeyen etki cinsiyetsiz balıklar Çeşitli (kısmen bilinmeyen) etkiler
Biyositler	pestisitler atrazin	DDT primer üreticiler üzerine etki	toksik etki ve kalıcı metabolitler tarımsal olmayan biyositler hedef dışı etki, kalıcı yıkım ürünü (metil-triklosan)
Endokrin	endokrin etkileri	triklosan	
Antropojenik	ağır metaller doğal kimyasallar tat ve koku siyanotoksinler insan hormonları	kurşun, kadmiyum, civa inorganikler geosmin, metilisoborneol mikrostislinler estradiol	insan sağlığına zararı arsenik, selenyum, flor, uranyum İçme suyu kalitesi problemleri cinsiyetsiz balıklar
Dezenfeksiyon/ Klorleşme	dezenfeksiyon yan ürünleri	trihalometanlar, haloasetik asit, bromat	İçme suyu kalitesi, insan sağlığı problemleri
Dönüşüm ürünleri	yukarıdaki türlerin metabolitleri	perforlu bileşiklerin metabolitleri kloroasetanilid herbisit metabolitleri	İçme suyu kalitesi problemleri

### "Yeşil Kimya" Çevreye Karşı Duyarı

Mikrokirlenicilerin su sistemlerine etkilerinin değerlendirilmesi, dağılımı, biyobulunurluk ve tek bir bileşik ya da bir karışım halinde olması durumundaki biyolojik etkilerinin araştırılması için gelişmiş analitik ve modelleme araçları gereken bir konudur. Mevcut ve yeni üretilen kimyasal maddelerin, insanlara ve çevreye potansiyel zararını gösteren yöntemler tekrar gözden geçirilmelidir. Mikrokirlenicilerin etkilerini azaltmak üzere geliştirilmiş teknolojiler kadar, bu kimyasal maddelerin çevreye ulaşmasını azaltacak yaklaşımların daha çok geliştirilmesi gereklidir. Tamamlayıcı bir yaklaşım, çevreye karşı duyarlı endüstriyel işlemlerin ve daha zararsız kimyasalların üretimini içeren "yeşil" kimyanın geliştirilmesidir.

**Özellikle hayvan besli yerlerinden ve hastanelerden yayılan antibiyotikler, bakterilerin dirençli hale gelmelerine neden oluyor.**



Şekil 1. Çevresel sistemde ve organizmalardaki (biyolojik sistem) işlemler aynı modelleme yapısında ve araçlarıyla yapırsa maruz kalma ve etki değerlendirilmesi yapmak mümkün olabilir. Bu bağlamda kirleniciler çevresel ve biyolojik sistemlerle intrinsik fizikokimyasal özelliklerine ve reaktivitelerine göre etkileşerek, her kirlenici için karakteristik bir çevresel ve iç maruz kalma değerleri ortaya çıkarırlar. En son değerlendirme çevresel ve biyolojik sistemlerin karmaşıklığı ve değişkenliği nedeniyle belirsizlik içermektedir. Dolayısıyla kantitasyon her zaman belirsizlikleri de içeren maruz kalma ve etki değerlendirmesinin birleşimidir.



### Mikrokirlenicilerin Su Sistemlerinde Değerlendirilmeleri

Bir bileşiğin kirlenici olup olmadığı tanımlanmış bir sistemin maruz kalmasına; yani sisteme girişi, dağılımı ve sonucu ile bileşiğin sistemde varolan organizmalar-insanlar dahil-üzerine olan etkileri ile değerlendirilir. Şekil 1 maruz kalma ve etki değerlendirmesi arasındaki temel bağlantıları göstermektedir. Bileşiğin taşınımını, kaderini ve su sistemdeki etkilerini belirlemekle ilgili işlemlerin belirlenmesi, yeni ve mevcut kimyasal maddelerin risklerini modellemek ve daha zararsız üretimin tasarlanması için bir ön gerekliliktir.

### İlaçlara Gelince...

İlaçlar hastalıkların teşhisi, tedavisi, yavaşlatılması ya da önlenmesi için ya da genel sağlık du-

rumunu, insan bedeninin yapısını, fonksiyonunu iyileştirmek üzere kullanılan kimyasal maddelerdir. Bu tür ilaçlar tıp ve veterinerlikte çok yoğun kullanılmaktadır. Ancak, açıkça görülen acil gerekliliklerinin yanında şimdiki kadar bu bileşiklerin çevredeki etkileri üzerinde pek fazla durulmamıştır.

İlaçlar çevre kimyasının en önemli konularından birisidir. İnsanlar ve hayvanların yararına üretilen ilaçlar, çeşitli yollarla çevreye ulaşmaktadır. Henüz bu kalıntıların insan sağlığına zararları kanıtlanmamış olmakla birlikte, ihmal edilmemesi gerektiği de kabul edilmektedir.

Bazı araştırmacıların ilaçların çevrede bulunmaları üzerine rapor ettikleri bilgiler, bazı ilaçların arıtma tesislerinde yeterince uzaklaştırılmayarak, önemli oranlarda yüzeysel sularına ve sonrasında yeraltı sularında karıştığını göstermektedir.



## Nanoköktayllerin nsanları, hayvanları ya da bitkileri etkileyip etkilemediği tam olarak bilinmiyor.



### İlaçların Çevreye Etkileri Araştırılması

Farklı çalışmalarda sulara bulunan tedavi amaçlı bileşiklerin su organizmalarını etkilediği gösterilmiştir. Dolayısıyla su sisteminde gerçekleşen adsorpsiyon, yıkım, fotoliz ve hidroliz gibi fiziksel, biyolojik ve kimyasal işlemlerin bilinmesi büyük öneme sahiptir. Şu ana kadar bu işlemlerle ilgili çok sınırlı bilgi mevcuttur. Dolayısıyla ilaçların olası dönüşüm ürünlerinin varlığı ve çevreye etkileri de araştırılmaktadır.

Diğer organik atık su kirleticileri gibi, sulara ilaçların varlığı dünya çapında giderek önemi artan bir konu olmaya başlamıştır. Bu konuyla ilgili ilk çalışmalarda, kan kolesterol seviyelerini düşürmek için sıklıkla kullanılan bir ilaç olan klofibrat asitinin çevre sularındaki varlığına işaret edilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda bu seviyenin bazı yerlerde 1 µg/L seviyesine ulaştığı rapor edilmiştir. Daha sonra Avrupa'da, Birleşik Devletler'de ve Asya'da da psikiyatrik ilaçlar, analjezikler, antibiyotikler ve IRM kontrast ajanları gibi ilaçların incelenen yeraltı sularında varlıkları tespit edilmiştir. 2002 yılında 80 bileşikten fazla ilaç ve ilaç metabolitleri çevre sularında tayin edilmiştir.

İlaçlar ya da metabolitleri, çoğunlukla polar moleküllere bağlanmış halde idrar ya da dışkı ile vücut dışına atılırlar. Bu bileşikler, özellikle canlı organizmalara etki edebilmek üzere tasarlandıkları için biyolojik olarak aktif bileşiklerdir. Dolayısıyla ekosistem ve sonucunda da insanlar için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. Dahası, poliar yapıları nedeniyle bazı ilaçlar toprak altında yeterince adsorplanmazlar; ve dolayısıyla içme sularının ana kaynağını oluşturan yeraltı sularına kadar ulaşabilirler. Berlin, Prag, Milan ve birçok Avrupa şehrinde içme sularında birkaç bin ng/L seviyelerinde derişimlerde farmasötiklerin varlığı rapor edilmiştir. Bu seviyeler medikal amaçla kullanılan değerlerin oldukça altında olmakla birlikte, potansiyel toksik etkileri henüz çok az bilinmektedir ve ihmal edilmemelidir.

Dolayısıyla bu bileşiklerle ilgilenen resmi birimler henüz konunun acilen ele alınması gerekli bir durumu olduğu, yoksa henüz endişeye gerek olmadığı konusunda karmaşık düşüncelere sahiptirler. Bazı hükümetler ya da özel kuruluşlardaki biliminsanları bu bileşikleri ölçmek ve analiz etmek, çevrede kalma oranlarını, nereden geldiklerini, son kaderlerini ve olası etkilerini belirlemek için yeni yöntemler geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Birçok durumda bu bileşikler sulara insanların boşaltımından ya da örneğin dışta kullanımları sonucu karışmaktadır. Bazı durumlarda ise kişiler, zamanı geçmiş ya da kullanılmayan ilaçları doğrudan kanalizasyona göndermektedirler. Bu nedenle birçok ülkede çöp olarak değerlendirilen ilaçların hastanelerde, bakım evlerinde ya da evlerde özel olarak toplanması konusunda uygulamalara başlamıştır. Bazı ülkelerde "ilaç geri-toplama noktaları" oluşturulmuştur. Yine bir kısmında da ilaçlar, boyalar ve insektisitler gibi genellikle yakılarak güvenli imha edilmek üzere düzenli olarak toplanıp biriktirilen zararlı evsel atık listesine alınmıştır.

### Sudan Gelen Kimyasallar

Sudan gelen kimyasallarla ilgili endişeler geçen yaz araştırmacıların "ara cinsiyetli bir balık" keşfettilerini açıklamalarıyla başladı. Buldukları balık, levrek, erkekti ancak olgunlaşmamış yumurtalar içermekteydi. Bu proje üzerine çalışan araştırmacılar, bunun çok yeni bir durum olduğunu bilmekle birlikte buna neyin neden olduğunu bilmiyorlardı. Ancak; bu keşif hormon artıklarının ya da bunlara benzer kimyasalların suda yaşayan canlıları etkilediği korkularını canlandırdı.

1999 yılında başlayan araştırmada biliminsanları çeşitli bölgelerden çok sayıda örneği inceledi ve örneklerin yüzde sekseninde ağır kesiciler, hormonlar, tansiyon ilaçları ya da antibiyotikler gibi birçok ilacın kalıntıları buldular. Bu sonuçlar bileşiklerin düşünülenden daha uzun süreli kalıcı olduğu düşüncelerini doğrulamaktaydı.

Besin ve İlaç İdaresi (FDA, Amerika Birleşik Devletleri) sulara antibiyotik ve antiseptiklerin etkilerini, sadece insan üzerine etkilerini değil, ilaca dirençli bakterilerin gelişme olasılığı bakımından da araştırmaya başladı.

Henüz bu nedenle kimsenin zarar gördüğü rapor edilmiş olmakla birlikte ilaç-

larla kirlenme sonuçları alarm vermektedir. Bu bileşiklerin kentsel sulardaki derişimleri klorlama ya da aktif karbon filtrasyonu uygulamaları nedeniyle çok düşük seviyelerde bulunabilir, ancak bu bileşiklerin olumsuz etkileri varsa sulara yaşayan balık ve diğer canlıların bunlardan etkileneceği şüphesizdir. Su kirliliği üzerine çalışan araştırmacılar genellikle çalışmalarını "konvansiyonel"- yani halihazırda toksik ya da kanserojen oldukları iyi bilinen-bileşikler üzerine yoğunlaştırmışlardır. Ancak sadece reçeteli ilaçlar ve biyolojikler değil, diyağnostikler, parfümler, güneş koruma ürünleri ve diğer birçok bileşiği içeren kişisel bakım ürünlerinden gelen sessiz tehlikenin de gözden kaçırılmaması gereklidir.

### Etkileri Ekolojik Değişime Yol Açabiliyor

Teoriye göre düşük seviyelerde bulunan bu bileşiklere, kronik olarak maruz kalmak suda yaşayan canlılar üzerinde "teşhis edilmeyen ve dikkat çekmeyen" yavaş biriken etkilerle, suda yaşayan yeni yaratıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Biliminsanları etkilerin evrim ve ekolojik değişime yol açabilecek kadar sinsi olduğuna dikkatli çekmektedirler.

Başlangıçta çabalar yüzey ve yeraltı sularına karışanları ölçmeye yoğunlaşmıştır. Farmasötik artıklarının üretici fabrikalardan atılımı büyük ölçüde kontrol altında olmakla birlikte, lağımaların ya da septik sistemlerin bireysel katkısı kontrol edilememektedir. Etkileri iyi bilinen ve kontrollü olarak kullanılan pestisitlerin aksine, ilaçlar kontrolsüz olarak atılmaktadır.

Sorgulanan birçok kimyasal madde çevrede hızla yıkılarak, teoride daha zararsız ürünlere dönüşerek sıkıntı yapma ihtimali azalmaktadır. Ancak, geniş ve sık kullanıma sahip ilaç ortamda sürekli olarak yenilenmektedirler.

Aslında su kaynaklarında istenmeyen kimyasal maddelerin varlığı, bu bileşiklerin gerçek zarar verme gücünden

bağımsız olarak birçok karakteristiğe sahiptir. Olgu yenidir (ya da yeni farkedilmiştir), bileşikler görünmezdir ve doğal değil yapaydır. Bunlar hakkında ne kadar fazla şey bilinirse, özellikle daha yüksek derişimlere ulaştıklarındaki davranışları hakkında daha iyi tahmin yürütmek mümkün olacaktır. Ayrıca bu bileşiklerin düşük derişimlerdeyken izlenmeye başlanması, çevrede diğer bileşiklerle birlikte bulduklarındaki etkilerini belirlemede öneme sahiptir.

Su kaynaklarının kapsamlı kimyasal analizi pahalı ve zaman alıcı bir işlemdir. Ancak yine de halkın suların kaynağın sağlığı ve güvenliği açısından yapılması gereklidir.

### Kaynakça

1. Drugs are in the water. Does it matter? The New York Times, April 3, 2007
2. The challenge of micropollutants in aquatic systems, Science, vol 313, 1072, Aug 25, 2006.
3. Consequences of treated water recycling as regards pharmaceuticals and drugs in surface and ground waters of a medium sized Mediterranean catchment, Environ. Sci. Technol. 40, 5282, 2006. ●

