

Çevre sağlığı izleme sistemleri: Türkiye'nin mevcut durumu ve gelecek perspektifleri

Dr. A. Alp Aker



1992 Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi mezunudur. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Ana Bilim Dalından uzmanlığını aldı. Bir süre özel sektörde medikal direktör olarak çalıştı. İstanbul Halk Sağlığı Müdür Yardımcısı, İstanbul Kartal Toplum Sağlığı Merkezi Başkanı, İstanbul Tuzla İlçe Sağlık Müdürlüğünde Halk Sağlığı Uzmanı olarak görev yaptı. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Ana Bilim Dalında Dr. Öğretim Üyesi olarak göreve başladı. Hâlen çalışmalarına aynı pozisyonda devam etmektedir. Ulusal-uluslararası dergilerde çıkmış çeşitli makaleleri ve çevre sağlığı ağırlıklı kitap bölümleri vardır.

Çevre kaynaklı sorunlar çok çeşitlidir ve birbiriyle ilişkilidirler. Günümüzde iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı, çevre kirliliği dünyadaki yaşamı ve tüm insanları tehdit etmektedir. İnsan kaynaklı istenmeyen atıkların dış ortama salınması olan kirlilik, yılda yaklaşık 9 milyon ölüme yol açmaktadır ki bu tüm ölümlerin 6'da 1'idir. Sanayileşme ve kentleşmenin yan ürünleri olan "modern kirlilik risklerine," yani dış ortam hava kirliliği ve toksik kimyasal kirliliğe bağlı ölümler dünyada 2000 ile 2022 arasında yüzde 66 artış göstermiştir. Bu ölümlerin çoğu düşük ve orta gelirli ülkelerde meydana gelmektedir. Kirlilik bugüne kadar çoğunlukla yerel bir sorun olarak kabul edilirken giderek gezegensel bir tehdit olduğu ve etkilerinin sınır ötesi olduğu ve küresel yanıt verilmesi gerektiği daha iyi anlaşılmaktadır (1). Doğru tanı koyup çevre sorunlarının çözümüne yönelik politikalar geliştirebilmek için çok sayıda ve yüksek kalitede veriye ihtiyaç vardır (2).

Çevresel izleme, çevre koşullarının ve bu koşullardaki değişimlerin belirlenmesi, önleyici tedbirler alınması, geliştirilecek politikaların desteklenmesi ve politika yapıcılar, uluslararası kurumlar ve kamunun bilgilendirilmesi için vazgeçilmez bir araçtır. Çeşitli ortamlarda kirliliğin yaygın

olduğu bir dünyada, karmaşık kimyasalları izlemek için hızlı, hassas ve uygun maliyetli çevresel izleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sabit ve hareketli kaynaklardan salınan çok sayıda kirlетici maddenin emisyonunu azaltma amaçlı uygulanan düzenleyici programların etkinliğini değerlendirmek ve çevre koruma çalışmalarının yönetiminde bilgiye dayalı karar alabilmek için uzun süreli çevresel izleme kritik öneme sahiptir (3).

Çevresel izleme ile insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini tespit etmek için hava, su, toprak ve gıda gibi fiziksel ortamdaki maddelerin konsantrasyonları izlenir, ölçülür ve analiz edilir. Bu sistemler, çevresel parametrelerin sürekli takibi için sensör ağları ve ölçüm istasyonları kullanarak veri toplar. Çevresel izleme sistemleri tespit edilen bu kirliliklerle ilgili erken uyarı sağlayabilir. Yine hedef değeri aşma durumlarında, bileşenlerin kaynaklarının tespit edilerek önlem için harekete geçilmesine yardımcı olurlar (4).

İzleme, bir veya daha fazla çevresel parametrenin veya özelliğın durumunu ve/veya eğilimini belirlemek için yeterli bir süre ve sıklıkta veri (kimyasal, fiziksel ve/veya biyolojik) toplama ve analiz etme anlamına gelir. İzleme, "anlık bir ölçüm" üretmemeli, aksine açıkça tanımlanmış hedeflerle ilgili

parametrelerdeki değişiklikleri belirlemek için zaman içinde tekrarlanan numune almayı içermelidir (5).

Çevresel izleme için yüksek kaliteli, standardize verilere ihtiyaç vardır. Gelişmekte olan ülkelerde daha fazla olmak üzere, hava kirliliği, katı atıklar, toksik atıklar, atık sular gibi çevresel sorunların yönetimi için yeterli veri toplanmasında, değerlendirilmesinde ve yasal sınırların uygulanmasında sorunlar yaşanmaktadır. Veriler çevre ve insan sağlığına etkileri tespit etmek için yeterli sayı ve sürede toplanmamakta, temsiliyeti yetersiz olmakta, kalibrasyon sorunları yaşanmakta, verilerin analizi ve anlamlı modeller oluşturulmasında, yine sonuçların halka açıklanması ve gerekli uyarıların yapılmasında aksaklıklar gözlenmektedir. Oysa halk sağlığının korunması, sürdürülebilir kalkınma, döngüsel bir ekonomi için bu veriler önemlidir. Dünyada korunması gereken sulak alanlar, çayırar ve diğer önemli ekosistemler için ayırt edici uzak-tan algılama teknolojileri de yeterince gelişmiş değildir (2).

Maruziyet değerlendirmesi için ilk gereklilik, bir etkenin varlığının (veya yokluğunun), konsantrasyonlarının ve dağılımının, zaman içindeki dalgalanmalar da dâhil olmak üzere anlaşılmasıdır. Çevre



ve insan sağılığı için tehlikeli maddeler çevresel izleme ile çeşitli veri kaynaklarından (örneğin gıda, hava, su ve toprak) tespit edilebilir.

Çevresel örnekleme verilerinin toplanması ve analizi risk değerlendirme süreci için kritik öneme sahiptir. Toplanan verilerin kalitesi ve temsil gücü de önemlidir. Örnek toplama işlemindeki en büyük endişe, alınan örneklerin, araştırılan kirlenici için potansiyel maruz kalma durumlarını yeterince temsil etmesini sağlamaktır. İncelenen ortamda kirleniciler homojen bir şekilde dağılmazlar. Farklı çevresel bölgelerdeki koşulların etkilerini anlamak ve kimyasal maddelerin çevresel bölmeler arasında nasıl hareket ettiğini saptamak için örnekleme planları geliştirmek ve bütün bu farklı bölgelerde maruziyeti değerlendirmek gereklidir.

Çevresel örnekleme ve analizde bir diğer önemli bir nokta, çevrenin durağan olmaması ve örnekleme sonuçlarının zaman içinde değişebilmesidir. Çevresel izleme ve tahmin modelleri, maruz kalma yolağında belirli noktadaki maruz kalma düzeylerini belirlemek için kullanılabilir (6). Çevresel izleme yapılırken, eş zamanlı meteorolojik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Meteorolojik veriler, hem noktasal kaynaklı hem de genel hava kirliliğini ve nüfusun potansiyel maruziyetini değerlendirirken özellikle önem kazanmaktadır.

Çevresel izleme, çevre kirliliğinin kontrolü dâhil olmak üzere çevresel sağılığını koruma amacına yönelik olan herhangi

bir programın başarıya ulaşması için gereklidir. Etkili bir kontrolün gerçekleştirilmesi için gereken dört unsur vardır: 1) Uygun çevresel standartlar, 2) Kanunlar ve yönetmelikler, 3) Yaptırım gücü, 4) Mahkemelerde yönetmeliklere göre yaptırım uygulamak üzere, düzenleyici kuruluş tarafından istenen verilerin elde edilmesi için yeterli izleme. İzleme yapılmadan uygunsuzluğun farkına varılamaz (5).

Çevresel izleme dolaylı bir maruziyet değerlendirme yöntemi olup bir kişinin etrafındaki dış ortamın bileşimini ölçer. Biyolojik izleme ise kişisel maruziyeti değerlendirir ve vücuda emilen kirlenici madde miktarını ölçer. Biyolojik izleme yüksek risk altındaki bireyleri veya alt popülasyonları belirlemede faydalı olabilir ancak biyolojik izleme gerçekleştirmek her zaman mümkün olmaz (6).

Coğrafi bilgiler ile bilgi işlem teknolojisinin birleştirildiği Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uzamsal ilişki ve örüntülerin anlaşılması için kullanılmaktadır. Bilindiği üzere, halk sağılığı alanındaki verilerin büyük çoğunluğunun mekânsal bir bileşeni bulunmaktadır. Bu bağlamda CBS çevre sağılığı araştırmalarına, kişi, zaman ve genellikle ihmal edilen konum üçlemesini bir araya getirerek güçlü bir grafiksel ve analitik boyut ekler (7). CBS etkin bir karar destek sistemi olarak da yardımcı olabilir. Çevresel izleme verilerinin CBS'ye daha fazla entegrasyonu toplanan bilgilerin görünümlenmesine, yer ve zaman boyutlarının daha iyi değerlendirilmesine, sorgulama ve analiz yapılmasına yardımcı olmaktadır.

Yapay zekânın (YZ) coğrafi bilgi sistemleri teknolojileriyle entegrasyonundaki son gelişmeler ise çevresel izleme alanında devrim yaratmayı vadetmektedir. YZ, makine öğrenimi (ML) algoritmaları, uzaktan algılama verileri ve CBS aracılığıyla çok sayıda çevresel parametrenin hassas ve gerçek zamanlı izlenmesi ve analizinin sağlanması mümkün olabilmektedir.

Yapay zekâ tabanlı yöntemler, büyük veri kümelerini hızlı bir şekilde işleme ve sonuç üretme yeteneğine sahiptir. YZ teknolojisi, iklim değişikliği, su kirliliği ve bitki örtüsü dinamiklerinin simülasyonları gibi çevresel sorunlarla ilgili çeşitli alanlarda ve ayrıca doğal afetler için erken uyarı sistemlerinde uygulanmıştır. Gelişmiş veri analizi teknikleri, çevresel anormalliklerin erken tespiti, ekolojik eğilimlerin tahmine dayalı modellenmesi ve verimli kaynak yönetimini kolaylaştırmaktadır. YZ teknolojileri su kalitesi, atık su, hava kirliliği izlemeleri ve katı atıkların kontrolü ve tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yine çevresel izlemede, uydu görüntülerinin değerlendirilmesinde YZ'nin kullanımı hızlı ve derinlikli analizler için yeni olanaklar sağlamaktadır. Yüksek çözünürlükle görüntülerin geleneksel piksel özellikleri olan ton ve renge ek olarak komşu piksellerle birlikte ele alınmasıyla detaylı ve bağlamsal analizler yapılabilir (8).

Çevresel göstergeler çevresel performansları değerlendirmede kullanılmaktadır. Çevresel Performans İndeksi (EPI) ülkelerin BM Sürdürülebilir Kalkınma

Hedeflerine ulaşma yönündeki gelişmelerini takip etmede yardımcı bir değerlendirme aracıdır. Genel olarak EPI'den, dünyadaki en önemli çevresel sorunlara yönelik olarak ülkelerin attığı adımları değerlendirmede yararlanılmaktadır. EPI'de, 11 çevresel kategoride 58 çevresel indikatör kullanılarak 180 ülke 0-100 ölçeğinde puanlanmaktadır. Yüksek puanlar ülkelerin çevresel sorunlara yönelik mücadelede başarılı olduğuna işaret etmektedir. 2024 yılı EPI'ye göre dünyada ilk 3 sırayı Estonya (75.7 puan), Lüksemburg (75.1 puan) ve Almanya (74.5) almıştır. ABD'nin 57.2 puanla 35. sırada, Çin'in 35.4 puanla 156. sırada olduğu indekste, Türkiye 37.2 puanla 143. sırada yer almaktadır. Analizler, dünyada sera gazı emisyonlarının 2050'de sıfıra indirilmesi hedefinden, indekste yüksek puan alan ülkeler dâhil, giderek uzaklaşıldığına işaret etmektedir. Yine biyoçeşitlilik kaybı devam etmektedir (2).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporlarına göre iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgelerden biri Akdeniz Havzası'dır ve Türkiye bu bölgede yer almaktadır. Dolayısıyla Türkiye sera gazı emisyonlarının azaltılmasından en büyük yararı görecektir. Son yıllarda ülkemizde iklim değişikliğiyle ilişkili seller, kuraklık ve sıcak dalgaları gibi afetlerde artış görülmektedir. 2010-2021 yılları arasında Türkiye'de 8.274 meteorolojik afet yaşanmıştır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Doğa Kaynaklı Olay İstatistiklerine göre sadece 2022 yılında 450 adet sel/su baskını, 18 çığ, 859 heyelan yaşanmıştır. 2021 yılında Türkiye genelinde 2.793 adet orman yangını meydana gelmiş, bu yangınlarda 139.503 hektar orman zarar görmüştür. Türkiye'de yaşanan kuraklık nedeniyle ortaya çıkan zarar Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH)'nın yüzde 1.2'si olarak hesaplanmıştır. İklim değişikliği kaynaklı afetler için yıllık ortalama kayıp GSYH'nin yüzde 2.2'sine ulaşmıştır (9).

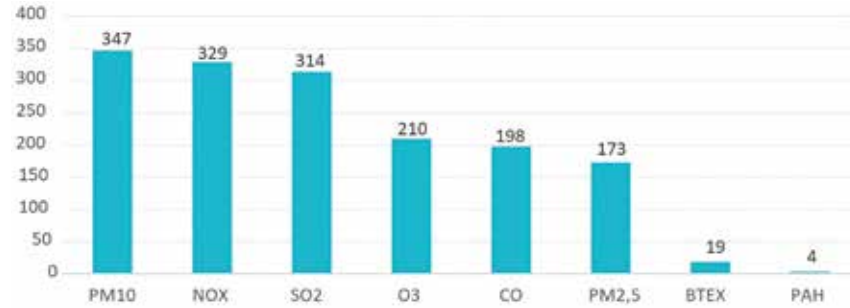
Türkiye'de Çevresel Sürekli İzleme

Türkiye'de havza, deniz, hava alıcı ortam izleme verileri ile "Sürekli Atık Su İzleme Sistemleri" (SAİS) ve "Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemleri" (SEÖS)'nden alınan çevre yönetimi izleme verileri için 2018 yılında Sürekli İzleme Merkezi (SİM) kurulmuştur.

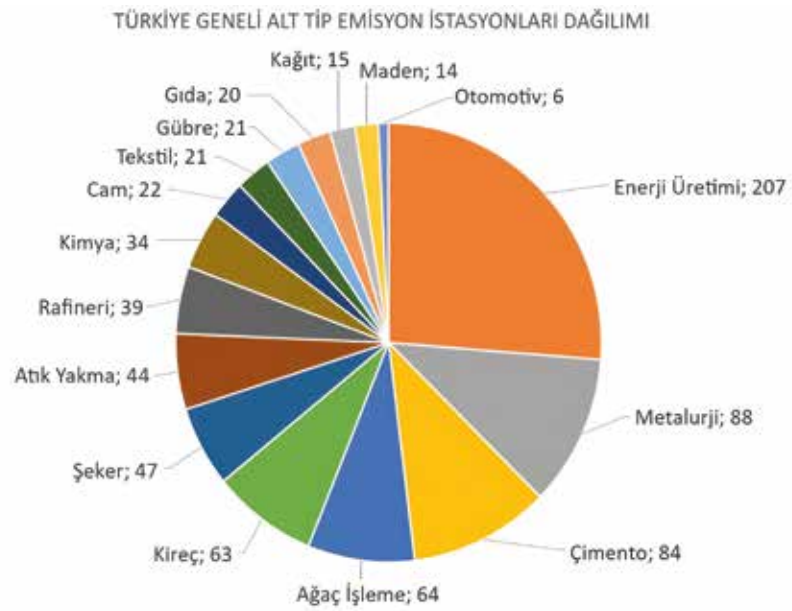
Yurt çapında hava kalitesi, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) (<https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality> adresinden ulaşılabilir.) ile 81 ilde takip edilmektedir. Kirlenici vasfı yüksek sanayi tesislerinden yayılan kirlenici parametrelerin (baca gazı emisyonlarının) sürekli olarak ölçülmesi zorunludur. SİM üzerinden, SEÖS istasyonlarında, sanayi ve enerji üretim tesislerine ait bacalardaki emisyonlar izlenmektedir. Yine SİM üzerinden, SAİS istasyonları ile atık su arıtma tesisleri izlenmektedir. Ayrıca Evsel ve Endüstriyel Kirlilik İzleme Programı (EKİP) ile havzalarda kirlilik tespiti ve takibine yönelik çalışmalar yönetilmektedir. Tüm denizlerde, "Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı" ile çok sayıda istasyonda düzenli olarak izleme yapılmakta, SİM üzerinden raporlanmaktadır (10). Hava Emisyon Yönetim (HEY) Portalı ile hava kirlenici kayıtları altına alınmakta, sanayi tesislerinin bacalarından, evsel ısınmadan ve kara/deniz/hava/demir yolu ulaşımından kaynaklanan kirlenici miktarları ayrı ayrı hesaplanmaktadır (10).

Hava kirliliği: Hava kirliliği insan sağlığını ve ekosistemleri tehdit eden başlıca kirlilik yollarındandır. İnsan kaynaklı hava kirliliğinin başlıca nedeni fosil yakıt emisyonlarıdır. Hava kirliliği kronik bronşit, astım gibi solunum yolu hastalıklarına, kalp-damar yolu hastalıklarına, inmelere, akciğer kanseri dâhil çeşitli kanserlere ve erken ölümlere neden olmaktadır. Yine hava kirliliği asit yağmurlarına neden olmakta ve sera gazları yoluyla iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır.

Hava kirliliğinin çevre ve sağlık üzerindeki etkilerini azaltmak için benimsenecek stratejiler arasında, kirlenici kaynaklarının saptanması ve PM10 (parçacık madde <10 mikrometre), PM2.5, ozon, kükürt dioksit (SO2) ve azot oksitleri (NOx) düzeyleri başta olmak üzere, kirlilik parametrelerinin sürekli takibi yer almaktadır. İzleme sistemleriyle verilerin toplanması ve değerlendirilmesi için önemli bir konu, diğer çevresel izleme sistemleri için de geçerli olmak üzere, izlem verileri temelinde yaptırım uygulanması hususunda,



Şekil 1. İstasyonlarda ölçülen parametre sayıları (10)



Şekil 2. Türkiye genel sürekli emisyon ölçüm sistemleri alt emisyon istasyonları sektör dağılımı, 2023 (10)



Şekil 3. 2022 ve 2023 yıllarında kirlenici parametreleri için altyapısı olan ve yıllık yeterli veri alım oranını sağlayan istasyon sayıları (14)

ruhsat verme yetkisi olan ve özellikle de uygulama sorumluluğunu üstlenen kurumların, merkezi otoriteden bağımsız olmasıdır (11).

Hava kalitesi izleme sistemleri ulusal hava kalitesi değerlendirme ve yönetim sistemlerinin asli bir unsuru olmalıdır. Hava kirliliği izleme ve yönetim sistemlerinin temel bileşenleri arasında kurumsal yapı (merkezi otorite: genellikle çevre bakanlığı, bölgesel ve yerel birimler), politik hedefler, düzenleyici enstrümanlar (standartlar, teknik zorunluluklar, uygulanacak cezalar, vergilendirme), izleme sistemleri ve bilgi yönetimi (hava kalitesi izleme sisteminin çalıştırılması, modelleme, senaryo analizleri, etkilerin insan sağlığı ve çevreye etkilerinin değerlendirilmesi, raporlama), karar alma ve harekete geçme mekanizmaları yer alır (11).

Ülkemizde hava kirliliği izleme süreci 1961 yılında başlamış, Ankara'da Sağlık Bakanlığına bağlı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezinde kükürt dioksit ve partikül madde konsantrasyonları günlük olarak izlenmiştir. Hava kalitesi izleme ağına daha sonra NO, NO₂, NO_x, CO, O₃, PM_{2.5} ve BTEX (benzen, toluen, etilbenzen, ksilenler) gibi kirlenici parametrelerin ölçümleri eklenmiştir. Ayrıca, ağır metal örneklemesi de gravimetrik yöntemle gerçekleştirilmektedir. Hava kalitesi ölçüm verileri, istasyonlardan elde edilen saatlik ortalamalar şeklinde toplanmakta ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına (ÇŞİDB) bağlı Veri İşletim Merkezinde izlenmektedir (4).

Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA), ÇŞİDB tarafından yönetilmektedir. Bakanlık tarafından hava kalitesinin

ülke genelinde izlenmesi amacıyla 81 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuştur. 2005 yılında 35 istasyonla başlayan, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağına dâhil olan istasyon sayısı 2023 yılı itibarıyla toplam 380'e ulaşmıştır (10). Ölçüm istasyonlarından alınan veriler ÇŞİDB resmi sitesi olan "Sürekli İzleme Merkezi" <https://sim.csb.gov.tr> ve www.havaizleme.gov.tr adresinde eş zamanlı olarak yayınlanmaktadır. Ancak hava kalitesi izleme merkezleri şehirlerde sınırlı sayıda bulunmaktadır (4). Bölgesel olarak etkin hava yönetiminin sağlanması amacıyla, Temiz Hava Merkezleri kurulmuştur. Doğrudan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi Genel Müdürlüğüne bağlı olarak kurulan sekiz adet Bölgesel Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü bulunmaktadır (12).

17 Mayıs 2014 tarih ve 29003 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik" kapsamında 2015 yılından itibaren yüksek emisyon hacmine sahip sanayi tesislerinin tamamına yakını izlenmektedir. Sera gazı emisyonlarının doğrulanması işlemi doğrulayıcı kuruluşlar tarafından yapılmaktadır (13). Konuyla ilgili diğer yönetmelikler de, Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ve Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmeliktir. ÇŞİDB verilerine göre, 2023 yıl sonu itibarıyla toplam 390 tesise ait 776 bacaya izleme sistemleri kurulmuş olup CO, NO_x, SO₂, toz vb. kirlenici parametreleri çevrim içi olarak izlenmektedir (10).

Türkiye'de 1990 ve 2021 yılları arasında emisyonlardaki değişim incelendiğinde, 1990 yılına göre 2021 yılında SO₂ emis-

yonlarının yüzde 372, NO_x emisyonlarının yüzde 643, PM₁₀ emisyonlarının ise yüzde 135 arttığı görülmektedir. Öte yandan, SO₂ emisyonları 2021 yılında, bir önceki yıla göre dahi yüzde 17 artmıştır. SO₂ emisyonlarının, yüzde 68.6'sı elektrik santrallerinden, yüzde 13.9'u evsel ısınmadan kaynaklanırken, NO_x emisyonlarının yüzde 37'si ile elektrik santrallerinden kaynaklanmıştır (10).

2008 yılından itibaren, Avrupa Birliği (AB) Mevzuatına uyum süreci kapsamında, Türkiye genelindeki hava kalitesini artırmaya yönelik hava kalitesi sınır değerleri kademeli olarak azaltılmaktadır. Partikül madde (PM₁₀), kükürt dioksit, azot dioksit parametreleri için AB sınır değerleri benimsenmiştir (10).

Hava kirliliğine yol açan emisyonlar atmosfere salındıktan sonra olduğu gibi kalmamakta, hem fotokimyasal reaksiyonla şekil değiştirmekte hem de atmosfer hareketleriyle uzaklara taşınmaktadır. Bölge topografisine göre kirliliğin yayılması farklılık gösterebilmektedir (12). Dolayısıyla izleme istasyonlarının bu farklılıklar dikkate alınarak konumlandırılması önemlidir. Bu bilgi de dikkate alındığına, Türkiye'de hava kalitesi ölçümlerinin istenen seviyede olduğunu söylemek mümkün değildir. Hava kirliliği ve sağlık etkilerinin incelendiği 2024 tarihli Kara Rapor'a göre, Türkiye genelinde 2023 yılında 380 hava kalitesi izleme istasyonu mevcut olmasına rağmen, mevzuata göre izlenmesi gereken parametreler istasyonların tümünde izlenmemektedir. Örneğin PM_{2.5} var olan istasyonların yarısından azında izlenmektedir. Bazı şehirlerde PM_{2.5} tek bir istasyonda, o da şehrin dışında olan bir istasyonda ölçülmektedir. Üstelik PM_{2.5} için ulusal mevzuatta bir limit değer henüz tanımlanmamıştır.

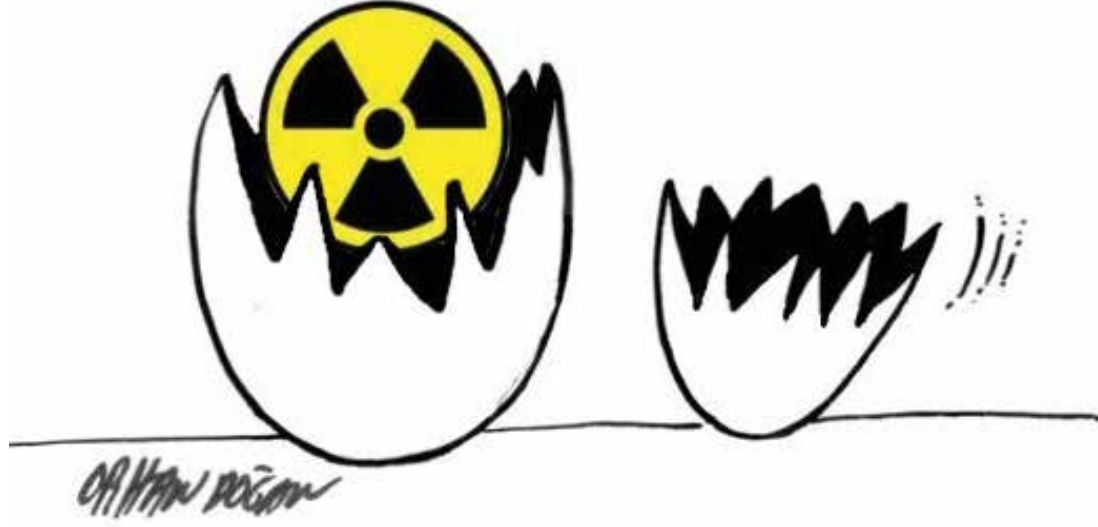
İstasyonlardan veri alımı da yeterli düzeyde değildir. Bir istasyondan alınan verilerin değerlendirilebilmesi için, her bir kirlenici parametre açısından yıl boyu belirli bir oranda veri alınmış olması gerekmektedir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (HKDY) bu oran, PM₁₀, SO₂ ve NO₂ için yüzde 90 olarak belirlenmiştir; yani bu parametrelere dair konsantrasyon düzeyleri değerlendirilirken, söz konusu istasyonda yılın en az yüzde 90'ında (329 gün ve üzerinde ya da 7.884 saat ve üzerinde) ölçüm yapılmış olması gerekmektedir (14).

Ülke genelinde en yaygın izlenen parametre PM10 olmasına rağmen, 365 istasyonun sadece 225'inden, yani yüzde 61'inden yeterli PM10 verisi alınabilmektedir. Bu oran ince partikül maddede (PM2.5) yüzde 25, kükürt dioksitte (SO₂) yüzde 54, azot dioksitte (NO₂) ise yüzde 43'tür. 2023 yılında toplam istasyon sayısı artmış olmasına rağmen, yeterli veri alımı sağlanan istasyon sayısı 2022 yılına göre azalmıştır. Üretimde fosil yakıt, özellikle de kömür kullanan ağır sanayinin yoğun olduğu bölgelerdeki partikül madde izlemesi çok sınırlıdır. Kirliliğin en yoğun olduğu bilinen Sakarya-Hendek Organize Sanayi Bölgesi (OSB), Kocaeli-Gebze OSB ve Kocaeli-Dilovası-İMES OSB 2 istasyonlarında 2022 ve 2023 yılları boyunca hiç partikül madde (PM10) ölçümü yapılmamıştır. Ülke genelinde bulunan 30 endüstriyel hava kalitesi izleme istasyonunun sadece yarısında ince partikül madde (PM2.5) altyapısı vardır ve 2022 yılında bunların sadece 9'undan, 2023'te ise 12'sinden yeterli veri alınabilmektedir. Ayrıca, raporlanan verilerin güvenilirliği ve kalitesiyle ilgili de sorunlar olduğunu düşündüren örnekler olduğu gibi, yine istasyonların kirlilik ölçüm cihazlarında kalibrasyon sorunu olduğunu düşündüren hatalara da rastlanmaktadır (14).

Belediyelere ait hava kirliliği ölçümleri: İstanbul'da, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Şube Müdürlüğü faaliyeti olarak 1995 yılında iki mobil hava kalitesi ölçüm istasyonu ile başlayan ölçümler, günümüz itibarıyla İstanbul'un 27 noktasında sabit ve iki adet mobil ölçüm istasyonu ile devam etmektedir. Bu istasyonlarda SO₂, PM10, PM2.5, NO_x, CO, O₃, VOC_s (uçucu organik bileşikler) ve ağır metal analizleri yapılmaktadır. Çevre Bakanlığının 12 istasyonu ile birlikte İstanbul'da hava kalitesi 39 istasyonda takip edilmektedir (15).

Yoğun kara yolu trafiğine bağlı hava kirliliğinin yaşandığı İstanbul'da otoyollara yakın izleme istasyonlarında 90 µg/m³ gibi yüksek PM2.5 düzeyleri ölçülmekte, ancak çevredeki diğer istasyonların ölçümleri hep birlikte değerlendirilip ortalama değerler alındığından söz konusu trafik kaynaklı seviyeler limit değerlerin altında görülmektedir. Buna göre, hava kalitesi izleme istasyonu verilerinin istasyon bazında ayrıca değerlendirilmesi önemlidir (15).

Bazı hava kirleticileri (örneğin PM, yer seviyesi ozon) iklim üzerinde önemli etkilere



sahiptir ve hava kirleticileri ile sera gazları arasında karmaşık bir ilişki vardır. Yine hava kirleticileri ve sera gazları çoğunlukla aynı antropojenik kaynaklardan çevreye verilmektedir. Dolayısıyla hava kalitesi izlemeye ve iklim değişikliğini hafifletmeye yönelik çalışmalarda bütüncül bir yaklaşım benimsenmelidir (11). Sera gazı envanteri sonuçlarına göre, Türkiye'nin 2022 yılı toplam sera gazı emisyonu 558.3 milyon ton (Mt) CO₂ eşd. (eş değeri) olarak hesaplanmıştır. Bu miktarın 441.4 milyon tonu CO₂'den, 72.2 milyon tonu CH₄'ten, 34.3 milyon tonu N₂O'dan ve 10.4 milyon tonu florlu gazlardan kaynaklanmaktadır. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4.1 ton CO₂ eşd., 2022 yılında 6,6 ton CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Enerji sektörü emisyonları 2022 yılında, 1990 yılına göre yüzde 179.8 artarak 400.6 Mt CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı emisyonları ise 1990 yılına göre yüzde 208 artarak 69.9 Mt CO₂ eşd. olmuştur (10).

Toprak kirliliği: Toprak yapısının doğası gereği, toprak kirliliği izleme süreci çeşitli zorluklarla yürütülmektedir. Topraktaki kirleticiler, su veya hava ortamındakilere göre daha zor ölçülebilmektedir. Bu durum büyük ölçüde, kirleticilerin toprak parçacıklarıyla etkileşime girmesinden kaynaklanmaktadır. Kimyasal ve fiziksel etkileşimler, kirleticileri toprak parçacıklarına bağlamak için hareket edebilir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, t.y.).

Tarımsal kaynaklı kirliliğin tespiti ve nitrate hassas bölgelerin belirlenmesi amacıyla oluşturulan tarımsal kaynaklı nitrat kirliliği izleme ağında 2.533 yer üstü, 2.319 yer altı suyu olmak üzere toplam 4.852 istasyonda, sularda tarımsal kaynaklı nitrat kirliliği izleme çalışmaları yürütülmektedir (10).

Su kullanımı ve su kirliliği: Ülkemizin tüketilebilir yer üstü ve yer altı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112.0 milyar m³'tür. 2021 yılı itibarıyla kullanılan su, tüketilebilir yer üstü ve yer altı su potansiyelinin yüzde 52.2'sini oluşturmakta olup 57 milyar m³'tür. Türkiye'de kullanılan suyun yüzde 77'si tarımda, yüzde 12'si içme-kullanma ve yüzde 11'i endüstriyel amaçlı kullanılmaktadır. Tarımda sulama yöntemleri içinde en fazla su kaybı (%35-%60) yüzey sulama yönteminde oluşmaktadır. Öte yandan, sulama sistemlerine bakıldığında, sulamaların yaklaşık yüzde 73.4'ü klasik ve kanaletli sistemler (açık) ile, yüzde 26.6'sı ise borulu sistemler (kapalı) ile sulanmaktadır. Yine içme suyu sistemlerinde kayıp oranı 2022 yılında ortalama yüzde 32'dir (9).

2022 referans dönemi Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri doğrultusunda Türkiye'de belediyeler ve köyler tarafından temin edilen yüzey ve yer altı suları toplamı 7.07 milyar metreküp olup imalat sanayi, termik santral ve maden işletmeleri tarafından, deniz suları hariç temin edilen yüzey ve yer altı suyu toplamı ise 1.24 milyar metreküptür (10). Son dönemde, organize sanayi bölgeleri ve maden işletmelerinin kullandığı su miktarı gizli bilgi sınıfına sokularak paylaşılmamaya başlanmıştır. Bu tesislere ait son verinin olduğu yıl olan 2018'de organize sanayi bölgeleri 0.18 milyar m³/yıl ve maden işletmeleri 0.24 milyar m³/yıl su kullanmıştır.

Tarım ve Orman Bakanlığının yayımladığı Ulusal Su Planı'nda, Su Çerçeve Direktifi'ne göre izlenmesi gereken bazı parametrelerin (hidrolojik, hidromorfolojik, hidrojeolojik, biyolojik, ekolojik, öncelikli maddeler ve belirli kirleticiler) izlenemediği ve dolayısıyla elde edilen izleme verilerinde eksiklikler olduğu, ayrıca yeterli sayıda

gözlem ve izleme istasyonu bulunmadığı tespitine yer verilmektedir (16). Suyun miktar ve kalite bilgilerinin bir veri tabanı üzerinde toplanması ve bu verilerin bir sistem üzerinden kullanıcıya ve karar vericilere servis edilerek etkin su yönetiminin tesis edilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla Ulusal Su Bilgi Sistemi (USBS) kurulması çalışmaları devam etmektedir. Bu sistemle ulusal düzeyde yer altı ve yer üstü su kaynakları ile ilgili verilerin tarihsel ve mekânsal analizinin yapılması, verilerin etkin yönetimi ve paylaşımı mümkün olabilecektir (17).

Sularda gerçek zamanlı izleme: Sularda kirlenici maddelerin tespitinin yapılabilmesi için, bu maddelerin varlığını temsil edebilecek parametrelerin sürekli takip edilmesi gereklidir. Sularda kirliliği gerçek zamanlı olarak tespit etmek, sürekli analiz yapılarak suların kontrol altında olması ve herhangi bir olumsuz durumda hızlıca su yönetim politikalarının ortaya konarak önlemlerin alınması için kullanılmaktadır.

Gerçek zamanlı izlemenin birçok avantajı vardır: kirliliğin hızlı bir şekilde yerinde tespit edilmesi, alarm sistemi sayesinde ani deşarjların önüne geçilmesi, istenilen her saat diliminde gerçek zamanlı verilere kolayca ulaşılabilmesi, çok fazla sayıda istasyonun aynı anda tek bir merkezden izlenebilmesi, geçmiş verilere kısa sürede ulaşılabilmesi, elde edilen tüm verilerdeki değişimlerin istenilen zaman aralığı için kolayca anlamlı tablo ve grafiklere dönüştürülebilmesi, ölçümün hep aynı cihaz ve yöntemlerle yapılmasından dolayı klasik izlemede numune alımından analizlerin yapılmasına kadar olan süreçteki insan etkisinin ortadan kaldırılması, acil durumlarda müdahale edilebilmesi vb.

Nehir havzalarında ekolojik su kalitesi izlemeleri için, AB normlarında izleme programları hazırlanmış ve izlemelere başlanmıştır. Türkiye, hidrolojik özellikleri doğrultusunda 25 havzaya ayrılmıştır. Bu 25 havzada insani faaliyetlerden etkilenmemiş veya doğala yakın referans alanlar tespit edilerek, bu alanlarda izlenecek parametreleri ve izleme sıklıklarını içeren Referans İzleme Ağı ve Referans İzleme Programları oluşturulmuştur (10).

ÇŞİDB tarafından yürütülen Evsel ve Endüstriyel Kirlilik İzleme Programı (EKİP) ile Ergene, Küçük Menderes, Gediz, Kuzey Ege, Sakarya ve Susurluk Havzalarında 2014 yılından bu yana düzenli izleme çalışmaları gerçekleştirilmektedir (10).

EKİP ile toplam 12 noktadan izleme çalışması yapılmaktadır.

Söz konusu nehir ve havzalarda su kalitesi sorununa neden olan faktörler; doğrudan evsel atık su deşarjları, düzensiz katı atık depolama tesislerinden kaynaklanan kirlilik, sanayi kaynaklı atık suların yetersiz arıtılması, kontrolsüz pestisit ve gübre kullanımı, madencilik faaliyetleri, jeotermal faaliyetlere bağlı kirlilik ve zeytincilik işletmeleri kaynaklı sızıntı sularıdır (18).

Gerçek zamanlı izleme sistemleri dünyada uzun süreden beri kullanılmakta olup Türkiye’de ilk olarak 2009 yılında, 10.000 m³ üzerinde atık su deşarjı olan endüstriyel tesislerin atıksu arıtma tesisleri çıkışlarına kurulmaya başlanmıştır (19).

SİM üzerinden, 480’den fazla atık su arıtma tesisi sürekli atık su izleme sistemi istasyonları ile izlenmektedir. Toplam 154 tesisten 132 tanesinde arıtma sonrası deşarjlar gerçek zamanlı olarak izlenmektedir. Böylece yüzeysel suların kalite açısından mevcut durumu ortaya konulmakta, ayrıca ani deşarjların tespiti yapılmaktadır. Tesis çıkışlarının kontrol ve denetimi, ÇŞİDB tarafından gerçekleştirilmektedir (10).

Suların insan sağlığına etkileri Sağlık Bakanlığı bünyesinde Bulaşıcı Hastalıklar ve Erken Uyarı Cevap Dairesi Başkanlığınca, İZCİ sistemi üzerinden izlenmektedir. Bu sistemle 81 il, ilçe ve hastanelerdeki Akut Gastroenterit Sendromik Sürveyansı (belirlenen ICD-10 kodlarına yönelik acil servis verileri) anlık olarak takip edilebilmekte, sağlık tehditlerinin erken tespitine yönelik sinyal ve analiz sonuçları dijital ortamda izlenebilmektedir (9). Özellikle su ve gıda kaynaklı ishalleri hastalıklarının sürveyansı açısından bu sistemin varlığı önemlidir.

Denizler: Türkiye’nin denizlerinden mevsimsel oşinografik veriler toplanmaktadır. Bunlar arasında sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik, pH, oksijen ve klorofil-a konsantrasyonları yer almaktadır (10). Meteoroloji Genel Müdürlüğü tüm kıyıları temsil edecek nitelikte deniz suyu sıcaklığı ölçüm çalışmalarına kıyısı olan bütün denizleri kapsayacak şekilde devam etmektedir. 2023 yılı ortalama deniz suyu sıcaklıkları Akdeniz’de 22,6°C, Ege Denizi’nde 20,5°C, Marmara Denizi’nde 17,6°C ve Karadeniz’de 16,8°C olarak gerçekleşmiştir.

2014 yılından bu yana düzenli olarak sürdürülen “Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı (DEN-İZ)” ile denizlerimizde meydana gelen kirlilik izlenmektedir. Karadeniz, Marmara Denizi ve Boğazlar, Akdeniz ve Ege Denizi olmak üzere tüm denizlerimizde kıyı suları, geçiş suları ve deniz sularında toplam 425 noktada; deniz suyu, sedimanda ve biyotada; fizikokimyasal, kimyasal ve biyolojik izleme, ayrıca 9 noktada mikropplastik çalışması yapılmaktadır. İzlemeler Karadeniz, Akdeniz ve Ege Denizi’nde, yaz ve kış olmak üzere yılda iki dönem, Marmara Denizi’nde ilkbahar, yaz ve kış olmak üzere yılda üç dönem yapılmaktadır (20).

Marmara Denizi için kurulan çevre izleme sistemleri ve takip edilen parametreler, özellikle 2021 yılında yaşanan müsilaj kirliliği sonrası yoğunlaşan ve teknolojik altyapı ile desteklenen kapsamlı bir yapıya sahiptir. Marmara Denizi’ni izleme sistemleri arasında DEN-İZ, Marmara Denizi Bütünleşik Modelleme Sistemi (MARMOD), Marmara Bölgesi Atık Su Arıtma Tesislerinin Gerçek Zamanlı İzlenmesi (MARBİN), Sürekli Atık Su İzleme Sistemleri (SAİS) sayılabilir. MARBİN ile Marmara Denizi’ne kirlilik taşıyan noktaların kontrolü için, kapasitesi 1.000 m³/gün ve üzeri olan tüm arıtma tesisleri çevrim içi (online) olarak izlenmektedir (10).

Atık yönetimi uygulaması: Atık Yönetim Uygulaması (ATYÖN) ülkemizde oluşan atıkların kaynağından itibaren Atık İşleme Tesislerine gidene kadarki süreci çevrim içi olarak takip etmek amacıyla hazırlanan ve ÇŞİDB Entegre Çevre Bilgi Sistemi altında yer alan çevrim içi bir uygulamadır. ATYÖN; Atık Beyan Sistemi (TABS), Mobil Atık Takip Sistemi (MoTAT) ve Kütle Denge Sistemini (KDS) kapsamaktadır (10).

Radyasyon izleme sistemi: Radyasyon İzleme ve Uyarı Sistemi Ağı (RADİSA) Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK) tarafından işletilmektedir. 1986 yılında kurulmaya başlanan sistem ile havadaki gama radyasyon düzeyindeki artışın algılanması hedeflenmektedir. Başlangıçta özellikle sınır bölgelerimizde radyasyon izleme istasyonları kurulmuştur. Günümüzde 81 il merkezinde, 111 ilçe merkezinde, 12 termik santralde, dört Nükleer/Radyasyon uygulaması içeren tesiste, üç sınır karakolunda ve 28 Akkuyu Nükleer Güç Santrali etrafında olmak üzere eş zamanlı olarak çalışan toplam 239 RADİSA istasyonu mevcuttur (21).

Gelecek Perspektifi

Günümüzde artan sanayi, kentleşme, ulaşım, nüfus artışı, tarım faaliyetleri, enerji kullanımı ve çevreye bırakılan atıklar insan sağlığını ve gezegendeki hayatın bağlı olduğu ekosistemi tehdit etmektedir. Sürdürülebilir bir çevre olmadan sağlıklı bir toplum ve insan yaşamı mümkün değildir. Kapitalist ekonominin sürekli büyümeye ve maliyetleri dışsallaştırmaya dayalı yaklaşımı sürdürülebilir değildir. Çevresel bozulma ve kirliliğin yerel ve küresel ölçekte insan sağlığını ve varlığını tehdit ettiği bu dönemde, çevre kaynaklı sorunların ve nedenlerinin ortaya konması, bunlara ait göstergelerin sürekli izlenmesi, sınır değer ihlallerinin erken tespiti, önleyici ve cezalandırıcı tedbirler alınması ulusal ve uluslararası alanda halk sağlığının korunması ve sürdürülebilir bir dünya açısından zorunludur. Bu alandaki gelişmelerin takibi de önemlidir. Yeni bilimsel araştırmalar ve ölçme-değerlendirme sistemlerindeki gelişmeler, kirlenmelerin sağlık ve çevre etkilerinin daha iyi anlaşılmasına ve mevcut sınır değerlerin aşığıya çekilmesine neden olmaktadır. Çevresel etkilenim bağlamında olumsuz sağlık etkisinin görülmediği kesin bir eşik değerin belirlenmesi zordur.

Hava kalitesinin iyileştirilmesi için kirlenici parametrelere dair ulusal sınır değerler gözden geçirilmeli ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) önerdiği ara ve nihai hedefler doğrultusunda yeniden belirlenmelidir. PM_{2.5} solunması hâlinde, alveollerden kana karışır ve vücuda yayılır. İnsan sağlığı için büyük bir tehlike oluşturan PM_{2.5} için ulusal sınır değeri belirlenmeli ve yürürlüğe konmalıdır. Ayrıca hava kalitesi izleme istasyonlarının sayısının ve ölçümlerin niteliğinin artırılması, izleme kapsamındaki alanın genişletilmesi, hava kalitesinde gelecekteki gelişmelere dair öngörülerde bulunulması, izlem verilerinin modellenmesi yoluyla sağlık ve çevreye etkilerin değerlendirilmesi, enerji, sanayi ve ulaşım başta olmak üzere emisyonların kaynaktan azaltılması, kömürden çıkışın ve temiz enerjiye geçişin hızlandırılması öncelikli hedefler arasında yer almalıdır.

İklim değişikliğine yönelik olarak, Türkiye, Net Sıfır Emisyon'a 2053 yılında ulaşmayı hedeflemektedir. Öte yandan, 2015 yılında sunulan beyandaki referans senaryoya kıyasla, 2030 yılına kadar Türkiye'nin sera gazı emisyonunu yüzde 41 azaltacağı açıklanmıştır (9). Fosil yakıt kullanımının ve buna bağlı emisyonların düşürülmesinin

hava kirliliğiyle ilişkili önlenabilir hastalık ve ölümleri azalttığı hatırlandığında, Net Sıfır Emisyon hedefinin öncelikli yararının ekonomiye değil, insan sağlığına olduğu görülecektir.

Kentlerin iklim değişikliklerine karşı uyum kapasitelerinin ve dirençliliğinin artırılması için çevre sağlığı izleme sistemlerinin geliştirilmesine yönelik stratejik hedefler belirlenmelidir. Bunlar arasında, kent iklimi izleme istasyonları kurulması, drenaj sistemlerinin yeniden yapılandırılması ve akıllı sistemlerin (sensörler vasıtasıyla izleme yapan) kullanılması yer almaktadır.

Ticari olarak üretilen binlerce kimyasal, kullanım sonrası atık olarak veya kazalarla çevreye karışmaktadır. Üstelik bunların metabolizma, üreme ve bağışıklık sistemleri üzerindeki toksik etkileri tam bilinmemektedir (1). Toksik kimyasal atıkların kirliliğe yol açmaması için, üretim süreci ve emisyonların denetlenmesinin yanında sürekli çevresel izlemlerin yapılması ve çevreyi kirletenlere caydırıcı yaptırımların uygulanması gereklidir.

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ancak arz-talep dengesinin başarılı bir şekilde oluşturulması ile mümkündür. Tarım, sanayi, turizm, hizmet, madencilik, hayvancılık ve benzeri sektörlerde kullanılan yer altı ve yer üstü sularının kayıt altına alınması, izlenmesi, verimli kullanılması ve geri kazanımı önemlidir. Kullanılabilir suyun yüzde 77'sinin kullanıldığı tarımda vahşi sulamaya son verilerek kapalı sistem sulamaya geçilmeli, ürün deseni daha az su gerektiren ürünlere doğru değiştirilmelidir. Su kaynaklarının miktar ve kalitesi ile sektörel su ihtiyaçları ve tüketimlerinin doğru biçimde belirlenmesi için Su Kaynakları Gözlem Ağının yaygınlaştırılması ve bilgi yönetimi sisteminin güçlendirilmesi gerekmektedir. Yer altı ve yer üstü su kalitesi ve emisyon/deşarj izlemlerinin sürekli iyileştirilmesi önemlidir.

"İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"e göre Büyükşehir Belediyelerinde su kayıp oranının 2023 yılına kadar en fazla yüzde 30, 2028 yılına kadar ise en fazla yüzde 25 düzeyine; ilçe belediyelerinde ise 2023 yılına kadar en fazla yüzde 35, 2028 yılına kadar en fazla yüzde 30, 2033 yılına kadar ise en fazla yüzde 25 düzeyine indirilmesine yönelik çalışmalara başlanması hedeflenmekle birlikte, bu hedefler yetersiz

olup susuzluğun tüm yurttan artık aleni bir tehdit olduğunun anlaşıldığı günümüzde, tüm belediyelerce su kayıp-kaçaklarını yüzde 10'lar düzeyine indirecek şebeke izleme sistemleri kurulmalıdır. Yağmur Suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik ile Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'e göre 2.000 m²'den büyük parsellerde yapılacak yapılarda yağmur suyu toplama sistemlerinin kurulması; gri su kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (9).

Kentsel ve endüstriyel atık su arıtma tesislerinin verimli işletilmesi sağlanmalı, online izleme sistemleri yaygınlaştırılmalı ve denetim faaliyetleri etkinleştirilmelidir (16). Tüm kentsel ve endüstriyel atık suların çevreye zarar vermeyecek şekilde arıtılarak ortama verilmesi veya tekrar kullanımı sağlanmalıdır.

1950'li yıllardan beri kullanılan ve çevrede bozunmadan yıllarca kaldıkları için sonsuz kimyasallar adı da verilen per- ve polifluoroalkil maddelerin (PFAS) içme suyu ve gıdalarla vücuda girerek insan sağlığını tehdit ettiği anlaşıldığından üretimlerine birçok ülkede sınır getirilmiş, çevresel izlemlere başlanmıştır. Avrupa Birliği'nde içme suyundaki PFAS düzeyleriyle ilgili getirilen sınır sonrasında, Ocak 2026'dan itibaren üye ülkelerin içme sularında PFAS konsantrasyonlarını izlemeleri zorunlu kılınmıştır (22). Türkiye'de de AB İçme Suyu Direktifi ile uyumlu olarak, içme sularında PFAS toplamı için limit değerlerin uygulanması ve sistematik izlemenin başlaması beklenmektedir.

İklim değişikliklerine uyum stratejisi ve eylem planında arıtılmış atık su miktarının artırılması, arıtılmış atıksuların yeniden kullanım oranının 2030 yılına kadar yüzde 15 seviyesine çıkarılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, il düzeyinde atık suların izlenmesi için Sürekli Atık Su İzleme Sistemleri ile kurulu kapasitesi 5.000 m³/gün ve üzerinde olan atık su arıtma tesisleri çıkış sularını izleme çalışmalarının güçlendirilmesi gerekmektedir (9).

Dijital teknolojilerin gelişmesi çevre izleme sistemlerinin yaygınlaşmasına, daha etkili ve hızlı karar alınmasına yardımcı olmaktadır. Dijital dönüşüm ile çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanmakta, kaynakların daha etkin kullanılması mümkün olabilmektedir. Örneğin insan müdahalesi olmadan birbiriyle iletişim

kurabilen sensörler çok çeşitli veriler temin etmekte ve çevre kirliliğinin önüne geçecek önlemler alınmasını kolaylaştırmaktadır. Dijital teknolojilerin benimsendiği akıllı kentlerden İsveç'in Stockholm kenti belediyesi "Akıllı Su Yönetimi" sistemi aracılığıyla, özel sektör kuruluşları ve diğer kamu kurumlarıyla iş birliği içerisinde, kentteki su kalitesini sürekli olarak izlemektedir. Bu çerçevede su kalitesi ve tüketim düzeyine ilişkin veriler, bulut bilişim altyapısı kullanılarak dijital ortamda depolanmakta ve analiz edilmektedir.

İspanya'nın Barselona kentinde, akıllı su yönetimi uygulaması ile, kamusal arazilerdeki sensörler aracılığıyla su tüketiminin azaltılması sağlanmış ve böylelikle de su ve maliyetten tasarruf edilmiştir. Japonya'nın Tokyo kentinde de su yönetiminde etkinliğin ve sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknoloji ile kurulan sensörler sürekli olarak ölçümler yapmakta, verileri merkeze iletmekte ve merkezde de bu veriler anlık olarak takip edilmektedir. Bu uygulama ile kentteki su akışı takip edilerek, kayıp, kaçak, sızıntı gibi durumların yanı sıra, su yönetiminde insan sağlığı açısından gerekli olan parametrelerin de takip edilebilmesi önemli avantajlar sağlamaktadır. Danimarka'nın Kopenhag kentinde ise akıllı kent uygulamaları ile, karbondioksit emisyonları 180 bin ton düşürülmüş, su tüketimi 5.5 milyon metreküplük bir azalma göstermiş ve 1.7 milyon litre yakıt tasarrufu sağlanmıştır (23). Türkiye'de de dijital sistemlerin ve akıllı sensörlerin yaygın kullanımıyla daha fazla çevresel parametrenin sürekli takibi, daha çabuk ve kapsamlı analizi ve ihlal durumlarında da daha erken müdahale edilebilmesi mümkün olabilecektir.

Türkiye'de afet riski azaltma amaçlı hızlı ve yavaş gelişen olaylar için uyarı sistemleri de dâhil olmak üzere, toplumun tüm kesimlerine ulaşmayı amaçlayan, öngörü ve müdahale eylemlerini içeren Çoklu Tehlike Erken Uyarı Sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir (9). Hava, su, orman varlığı, biyoçeşitlilik, gürültü ve atıklar gibi çeşitli alanlardaki spesifik izleme sistemlerinin entegrasyonu çevresel izlemenin etkinliğini artıracak ve birikimli kirliliğin etkilerinin dikkate alınmasına yardımcı olacaktır.

Mersin Akkuyu'da inşası devam eden Akkuyu Nükleer Santrali ve Sinop'ta

yapılması planlanan nükleer santraller Türkiye'de iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklı riskleri artırmaktadır. Komşu ülkelerdeki santrallerin yarattığı sağlık tehlikelerine ek olarak, ülkemizde nükleer santrallerin devreye alınmasıyla birlikte çevresel izleme ve bağımsız denetim süreçlerinin güçlendirilmesi daha da önem kazanmaktadır.

Son olarak, çevresel bilgiye ulaşabilmek için bilgi edinme hakkının etkin biçimde kullanılabilmesi sağlanmalıdır. Anayasa ve uluslararası sözleşmeler tarafından garanti altına alınmış bilgi edinme hakkı çerçevesinde çevresel bilgiye erişim taleplerini engelleyen keyfi idari uygulamalar kaldırılmalı, hukuki kararlar uygulamaya geçirilmelidir (14).

Kaynaklar

- 1) Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, vd. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planet Health*. 2022;6(6):e535-47.
- 2) Block S, Emerson JW, Sherbinin A de, Wendling ZA. 2024 Environmental Performance Index : Policymakers' summary. *Yale Cent Environ Law Policy* [Internet]. 2024. <https://epi.yale.edu/downloads> (Erişim Tarihi: 13.01.2026).
- 3) US EPA. Environmental Monitoring [Internet]. 2020. <https://www.epa.gov/power-sector/environmental-monitoring> (Erişim Tarihi: 08.01.2026).
- 4) T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Çevre Kirliliği İzleme Sistemi Uygulaması- Akıllı Şehirler Uygulama Rehberlik Kılavuzu [Internet]. 2024. <https://akillisehirler.csb.gov.tr/wp-content/uploads/fizibilite-rapor/58-%C3%87evre%20Kirlili%C4%9Fi%20%C4%B0zleme%20Sistemi.pdf> (Erişim Tarihi: 14.05.2026).
- 5) T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Çevresel Kirlilik İzleme Rehberi [Internet]. 2007. <https://webdosya.csb.gov.tr/dosyalar/images/file/izleme-rehberi.pdf>.
- 6) Australian Centre for Disease Control. enHealth guidance – Guidelines for assessing human health risks from environmental hazards [Internet]. Australian Centre for Disease Control; 2012. <https://www.cdc.gov.au/resources/publications/enhealth-guidance-guidelines-assessing-human-health-risks-environmental-hazards> (Erişim Tarihi: 08.01.2026).
- 7) Gupta M, Srinivasan P, Aedla P, Yadav S, Singh R, Darjee D. Geographic Information Systems (GIS) and Public Health: Applications in Disease Surveillance and Management. *J Appl Bioanal*. 2025;02:206-18.
- 8) Wani AK, Rahayu F, Ben Amor I, Quadir M, Murianingrum M, Pamidi P, vd. Environmental resilience through artificial intelligence: innovations in monitoring and management. *Environ Sci Pollut Res*. 2024;31(12):18379-18395.
- 9) T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2024-2030 [Internet]. 2024. https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fine%20Uyum%20Stratejisi%20ve%20Eylem%20Plan_%202024-2030.pdf (Erişim Tarihi: 14.05.2026).

10) T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 7. Türkiye Çevre Durum Raporu [Internet]. 2025. <https://ced.csb.gov.tr/haberler/7-turkiye-cevre-durum-raporu-yayimlandi-298088> (Erişim Tarihi: 14.05.2026).

11) UNECE. Guidelines for Developing National Strategies to Use Air and Water Quality Monitoring as Environmental Policy Tools [Internet]. 2012. <https://unece.org/environment-policy/publications/guidelines-developing-national-strategies-use-air-and-water-quality> (Erişim Tarihi: 22.01.2026).

12) Marmara Belediyeler Birliği. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Kapsamında Hava Kalitesi ve Belediyelerin Sorumlulukları [Internet]. 2020. <https://www.marmara.gov.tr/UserFiles/Attachments/2020/05/05/6ffd20d8-ee1c-45c8-aeba-dc14e1317c1b.pdf> (Erişim Tarihi: 14.05.2026).

13) T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik [Internet]. 2014. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19678&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 02.01.2026).

14) Temiz Hava Hakkı Platformu. Kara Rapor 2024 Hava kirliliği ve sağlık etkileri [Internet]. 2024. https://temizhavahakki.org/wp-content/uploads/2024/12/Kara-Rapor-2024_final.pdf (Erişim Tarihi: 14.05.2026).

15) İstanbul Büyükşehir Belediyesi. Hava Kalitesi İzleme Merkezi - Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Web Sitesi [Internet]. 2024. <https://cevre.ibb.istanbul/hava-kalitesi/hava-kalitesi-izleme-merkezi/> (Erişim Tarihi: 29.12.2025).

16) T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Ulusal Su Planı (2019-2023) [Internet]. 2019. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/NHYP%20DEN%C4%B0Z/ULUSAL%20SU%20PLANI.pdf> (Erişim Tarihi: 14.05.2026).

17) T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Ulusal su bilgi sistemi (USBS) veri entegrasyonu toplantısı bakanlığımız ilgili genel müdürlükleri ile gerçekleştirildi [Internet]. 2023. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/1178/Ulusal-Su-Bilgi-Sistemi-_usbs_-Veri-Entegrasyonu-Toplantisi-Bakanligimiz-Ilgili-Genel-Mudurlukleri-Ile-Gerceklestirildi (Erişim Tarihi: 06.01.2026).

18) T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. İzmir Milletvekili Sayın Tuncay Özkan'ın TBMM 7/39471 Esas Sayılı Yazılı Soru Önermesine Ait Sorular ve Cevabı [Internet]. 2021. <https://cdn.tbmm.gov.tr/KKBSPublicFile/D27/Y4/T7/WebOnergeMetni/1093dad5-e4e4-4875-aa48-8e3666cdaaf4.pdf> (Erişim Tarihi: 14.05.2026).

19) Şükran Deniz. Gerçek zamanlı izleme sistemleri: Meriç-Ergene örnek çalışması [Internet]. 2014. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/TEZLER/%C5%9EC3%BCKran_DEN%C4%B0Z_Uzmanl%C4%B1k_Tezi.sflb.pdf (Erişim Tarihi: 14.05.2026).

20) T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. SİM (Sürekli İzleme Merkezi) [Internet]. <https://sim.csb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 08.01.2026).

21) Nükleer Düzenleme Kurumu. Radyasyon İzleme ve Uyan Sistemi Ağı (RADİSA) [Internet]. <https://www.ndk.gov.tr/radyasyon-izleme-ve-uyari-sistemi-agiradisa> (Erişim Tarihi: 09.01.2026).

22) European Commission. PFAS pollution, What are the threats from PFAS "forever chemicals", and how will the EU tackle them? [Internet]. https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/pfas-pollution_en (Erişim Tarihi: 12.05.2026).

23) Kayan A, Mardinli İ. Dijital Dönüşüm Sürecinde Akıllı Kent Uygulamalarının Çevresel Sürdürülebilirliğe Etkisi. *J Polit Adm Local Stud*. 2025;8(2):79-93.