

Küresel PFAS krizi: sağlık riskleri ve düzenleyici yaklaşımlar

Prof. Dr. Meral Yurtsever



Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesidir. Uzmanlık alanları arasında, su kirliliği, su ve atık su arıtımı, ileri arıtma teknikleri, çevre kirliliği, çevre kontrolü ve yönetimi konuları yer almaktadır. 2014'ten bu yana çevrede ve farklı matrislerdeki mikropplastik kirliliği başta olmak üzere farklı mikrokirleticiler üzerinde çalışmakta olup, farklı ortam ve matrislerde kirleticilerin örneklenmesi, ekstraksiyonu ve analizleri konusunda öncü araştırmalar ve projeler yürütmektedir. 2000 yılında Araştırma Görevlisi olarak başladığı akademik hayatına, bilimsel çalışmalarıyla aktif olarak devam etmektedir.

Per- ve polifloroalkil maddeler (PFAS), yapılarındaki karbon-flor bağının kimyasal stabilitesi sayesinde zaman ve çevre koşulları karşısında neredeyse hiç bozunmayan, bundan dolayı da literatürde “sonsuz kimyasallar” (forever chemicals) olarak adlandırılan insan yapımı bileşiklerdir (Yurtsever, 2025a). 1950'li yıllardan itibaren, su ve yağ geçirmez kaplamalar, yüzey aktif maddeler, itfaiye köpükleri (AFFF), gıda ambalajları, tekstil, deri, elektronik ve sağlık teknolojileri dâhil olmak üzere küresel ölçekte yaklaşık >4.700 farklı PFAS bileşik türü kullanılmıştır (Yurtsever, 2025b; Samarasinghe vd., 2025). Bu kadar yaygın kullanım, PFAS'ları insan yaşamının her alanına taşımıştır.

PFAS'ların Çevresel Yayılımı ve Sağlıkla İlişkili Maruziyet Boyutu

Bugün arıtılmış içme suyunda (Sadıa vd., 2023), toprakta (Costello vd., 2024), göl ve nehir sistemlerinde (Sims vd., 2025; Valsecchi vd., 2021; Sharma vd., 2016), atmosferik partiküllerde (Li vd., 2024; Persaud vd., 2024), ev içi tozlarda (Tan vd., 2024), anne sütünde (Su vd., 2025), serum örneklerinde (Belay vd., 2025) ve hatta yenidoğan kordon kanında (Liu vd., 2024) bile PFAS tespit edilmektedir. Bu durum, PFAS'ın hem çevresel ve biyolojik döngülerin neredeyse tüm aşamalarına nüfuz ettiğini hem de halk sağlığı üze-

rindeki potansiyel etkilerinin çok yönlü olabileceğini ortaya koymaktadır.

PFAS, kimyasal açıdan karbon atomuna bağlı çoklu flor grupları içeren bir alkil zincirinden oluşur. C-F bağı, bilinen en güçlü kovalent bağlardan biridir. Bu nedenle PFAS oksidasyona, hidrolize, biyolojik bozunmaya, UV'ye ve termal parçalanmaya karşı olağanüstü dirençlidir.

Bu stabilite PFAS'ın kalıcılığını (persistence), biyobirikimini (bioaccumulation) ve toksisitesini (toxicity) artırır, yani üst düzey PBT özellikleri gösterir. Çevrede parçalanmadığı için, bir kez yayıldığına kirlenme kalıcıdır. Birçok PFAS türü, proteinlere bağlanarak serumda uzun süre kalır ve yarılanma ömürleri yılları bulabilir. CDC (Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri, 2019) raporları ABD nüfusunun yüzde 97'sinde tespit edilebilir serum PFAS seviyelerinin olduğunu bildirmiştir (CDC, 2019; Babayev vd., 2022). Dünya çapında yürütülen büyük sürveyans çalışmaları devam etmektedir (Lee vd., 2025).

Türkiye'de PFAS Kirliliği: Mevcut Durum ve Veri Eksiklikleri

Türkiye'de de benzer eğilimlerin görüldüğünü gösteren bilimsel bulgular artmaya başlasa da çalışmalar oldukça az ve yenidir. Ulusal çapta, düzenli ölçüm yapan bir PFAS sürveyans prog-

ramı henüz bulunmamaktadır. Mevcut PFAS araştırmaları ise çoğunlukla tekil akademik çalışmalardır. Türkiye'de bazı PFAS seviyelerinin incelendiği sınırlı sayıdaki çalışmalarda, atık su arıtma tesislerinde (Koçlar vd., 2022), içme sularında (Endirlik vd., 2019) ve bazı su kaynaklarında (İkizoğlu, 2024; Özvardarlı vd., 2025) PFAS'lar tespit edilmiştir. Yüzeysel su kaynaklarında iki farklı mevsimde yapılan bir çalışmada PFOA ve PFOS düzeyleri ölçülmüş (İkizoğlu, 2024) ve yüzey sularında PFOA konsantrasyonları $1,77 \pm 0,1 - 6,71 \pm 2,9$ ng/L, PFOS ise $<LOQ - 3,27 \pm 0,2$ ng/L aralığında raporlanmıştır. İncelenen su kaynaklarında en yüksek PFOA Eğirdir Gölü (sonbahar: $6,7 \pm 2,9$ ng/L), en düşük PFOA Sakarya Nehri (ilkbahar, $1,8 \pm 0,1$), en yüksek PFOS Küçükçekmece Gölü (sonbahar: $3,3 \pm 0,2$ ng/L), en düşük PFOS ise Beyşehir Gölü'nde $<LOQ$ olarak bildirilmiştir. Musluk ve şişe suyu araştırmasında PFAS'lar $0,08 - 11,27$ ng/L arasında tespit edilmiş ve şişe sularda genellikle daha düşük PFAS değerlerinin bulunduğu bildirilmiştir (Endirlik vd., 2019). Sanayi yoğunluğu yüksek Ergene Havzası'nda, PFOS $0,13 - 15,25$ ng/L ve PFOA $0,26 - 26,40$ ng/L aralığında bulunmuştur (Özvardarlı vd., 2025). Görüldüğü üzere bu araştırmaların çoğu yalnızca PFOA ve PFOS odaklıdır. Örneğin kısa zincir PFAS'lar ve yeni nesil bileşikler (GenX vb.) için Türkiye ölçeğinde veri neredeyse hiç bulunmamaktadır.



Küresel PFAS Krizi: Düzenlemeler, Gecikmeler ve Sorunlar

Kalıcılıkları ve uzun menzilli taşınım potansiyelleri nedeniyle bazı PFAS bileşikler, Stockholm Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK) Sözleşmesinde (2001), aşamalı olarak yasaklanan kimyasal gruplar kapsamında yer almaktadır (UNEP, 2009; UNEP, 2023; pops). PFOS (2009) ve PFOA (2019) küresel ölçekte yasaklanarak sözleşme kapsamına alınmış, PFHxS ise 2022 yılında Ek A listesine eklenerek üretim ve kullanımına yönelik tam yasaklama kararı alınmıştır (UNEP, 2024). PFAS sınıfına ait diğer bileşiklerin de benzer şekilde Stockholm Sözleşmesi kapsamına alınmasına yönelik değerlendirmeler devam etmektedir.

Maalesef PFAS'ların çeşitlilik, kalıcılık, hareketlilik, toksiklik ve biyobirikim gibi özelliklerinin bulunması, günümüzde ciddi bir PFAS krizinin ortaya çıkmasını tetiklemiştir. Ancak, PFAS sorununu küresel ölçekte derinleştiren unsurlar, yalnızca bu maddelerin kalıcılığı ve toksisitesi değil, aynı zamanda çevre mevzuatındaki belirsizlikler, yasal düzenlemelerdeki eksiklikler ve gecikmeler, kurumsal veri eksikliği, endüstri yanlısı lobi pratikleri, bilimsel bilginin bastırılması ve hukuki süreçlerin uzun yıllar sürmesidir (Richter vd., 2021). Bu bileşiklerin yüksek stabilitesi nedeniyle çevresel ortamlarda

neredeyse bozunmadan kalmaları, atmosferik taşınım, okyanus akıntıları ve nehir drenaj ağları yoluyla uzun mesafelerde yayılmaları ve bu süreçlerin sonucunda farklı kıtalarda içme suyu, yüzey ve yer altı suları, toprak, sediman, balık ve deniz memelileri gibi biyota örnekleri ile insan kanında (Panieri vd., 2022), anne sütünde ve kordon kanında düzenli olarak tespit edilmeleri, PFAS krizinin küresel niteliğini açık biçimde ortaya koymaktadır (Kurwadkar vd., 2022; Wee vd., 2023). OECD ve UNEP, PFAS'ları kalıcılık ve gıda zincirinde birikme eğilimleri nedeniyle "küresel ölçekte kaygı verici kirleticiler" olarak nitelendirmekte ve birçok ülkenin bu sınıf için bütüncül düzenleme arayışına girdiğini vurgulamaktadır (OECD, 2018; OECD, 2024; UNEP, 2024). Dünya Sağlık Örgütü ve EPA gibi kurumların içme suyu rehberleri, PFAS maruziyetinin kontrolü için giderek daha düşük sınır değerler önermekte; bu süreçte uzun süreli maruziyetin kanser, bağışıklık sistemi ve endokrin bozulması gibi sağlık sonuçlarıyla ilişkisini merkeze almaktadır (WHO, 2022; Alazaiza et al., 2025). Bu nedenle PFAS, yalnızca kalıcı bir kimyasal kirleticisi grubu olarak değil, aynı zamanda tehlikeli kimyasalların yönetimi, politik ekonomi, çevre adaleti, çevre sağlığı ve halk sağlığı yönetimi kapsamında dikkatle ele alınması gereken önemli bir risk konusu olarak değerlendirilmelidir.

Bugün arıtılmış içme suyunda, toprakta, göl ve nehir sistemlerinde, atmosferik partiküllerde, ev içi tozlarda, anne sütünde, serum örneklerinde ve hatta yenidoğan kordon kanında bile PFAS tespit edilmektedir. Bu durum, PFAS'ın hem çevresel ve biyolojik döngülerin neredeyse tüm aşamalarına nüfuz ettiğini hem de halk sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerinin çok yönlü olabileceğini ortaya koymaktadır.

Dünya'da PFAS Düzenlemeleri

PFAS ile ilgili regülasyon zemini son yıllarda hızla değişmektedir. Ancak ülkeler arasında oldukça belirgin yaklaşım farklılıkları bulunmaktadır. Avrupa Birliği, PFAS konusunda en sıkı kısıtlamaları uygulamaya başlamıştır. ECHA'nın yürüttüğü 2023 tarihli REACH PFAS kısıtlama teklifi, OECD tanımını esas alarak 10.000'den fazla PFAS türünü kapsayan kapsamlı bir yasaklama önermektedir (ECHA, 2023). Bu çerçevede "tek tek maddeler yerine tüm PFAS sınıfının birlikte düzenlenmesi" yaklaşımını yeni norm olarak benimsemektedir. Bu teklif, Almanya, Hollanda, Danimarka, İsveç ve Norveç yetkili otoritelerinin ortak başvurusu üzerine hazırlanmış olup, özellikle belirli endüstriyel ve kritik kullanımlar için zamana yayılan geçiş süreleri ve bazı muafiyetler öngörmektedir.

AB, İçme Suyu Direktifi (EU) 2020/2184 kapsamında, içme suyunda Ek III'te listelenen (Brandsch, 2022) 20 PFAS bileşiğinin toplamı için 0.10 µg/L'lik "Sum of PFAS" parametre değerini, tüm PFAS'ların toplamı için ise 0.50 µg/L'lik "PFAS Total" sınırını getirmiştir. Bu yaklaşım, tüm dünyadaki en düşük limit uygulamalarından biridir.

AB İçme Suyu Direktifi'ndeki (2020), "Sum of PFAS" parametresi, çoğu kısa ve orta zincirli (yaklaşık C4-C12) perfloroalkil karboksilik asitler (PFCA'lar) ile perfloroalkil sülfonik asitlerden (PFSA'lar) oluşan, içme sularında en yaygın ve düzenleyici açıdan öncelikli kabul edilen 20 PFAS bileşiğinden oluşan standart bir alt grubu ifade etmektedir. Bu grup, klasik PFOA ve PFOS'un yanı sıra PFBA, PFPeA, PFHxA, PFNA, PFDA, PFBS ve PFHxS gibi içme suyu çalışmalarında sık tespit edilen bileşikler de kapsamaktadır.

Bunlara ilaveten Avrupa Birliği'nde gıda ve yem yoluyla maruziyetlere ilişkin sağlık risklerini bilimsel olarak değerlendirme (Eurl, 2024), toksikolojik eşik değer belirleme ve sağlık temelli rehberler üretme işleri EFSA (European Food Safety Authority) kurumu tarafından yapılır (EFSA, 2025).

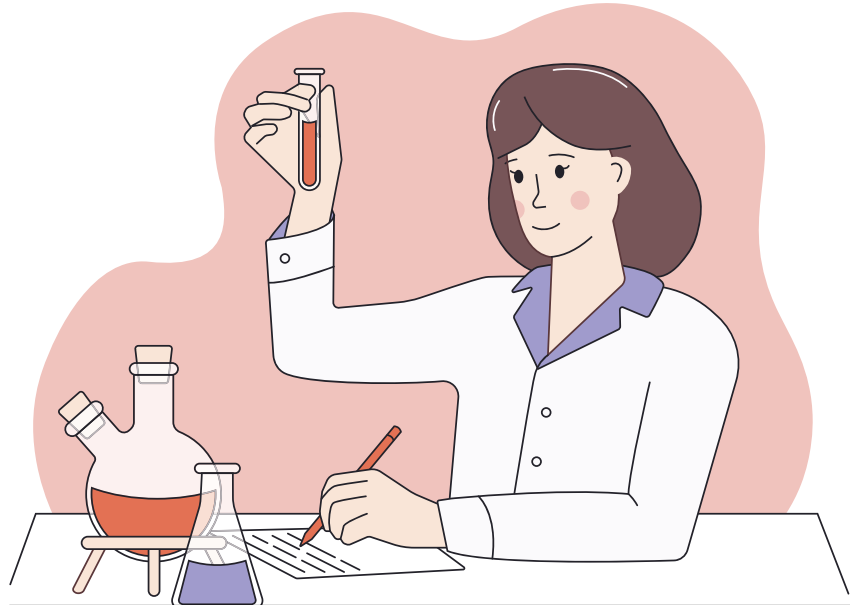
ABD'de sulara PFAS yönetiminin odağında, Çevre Koruma Ajansının (EPA) PFAS Strategic Roadmap (2021-2024) belgesi yer almaktadır. Bu yol haritası kapsamında ajans, ABD Güvenli İçme Suyu Yasası (Safe Drinking Water Act)

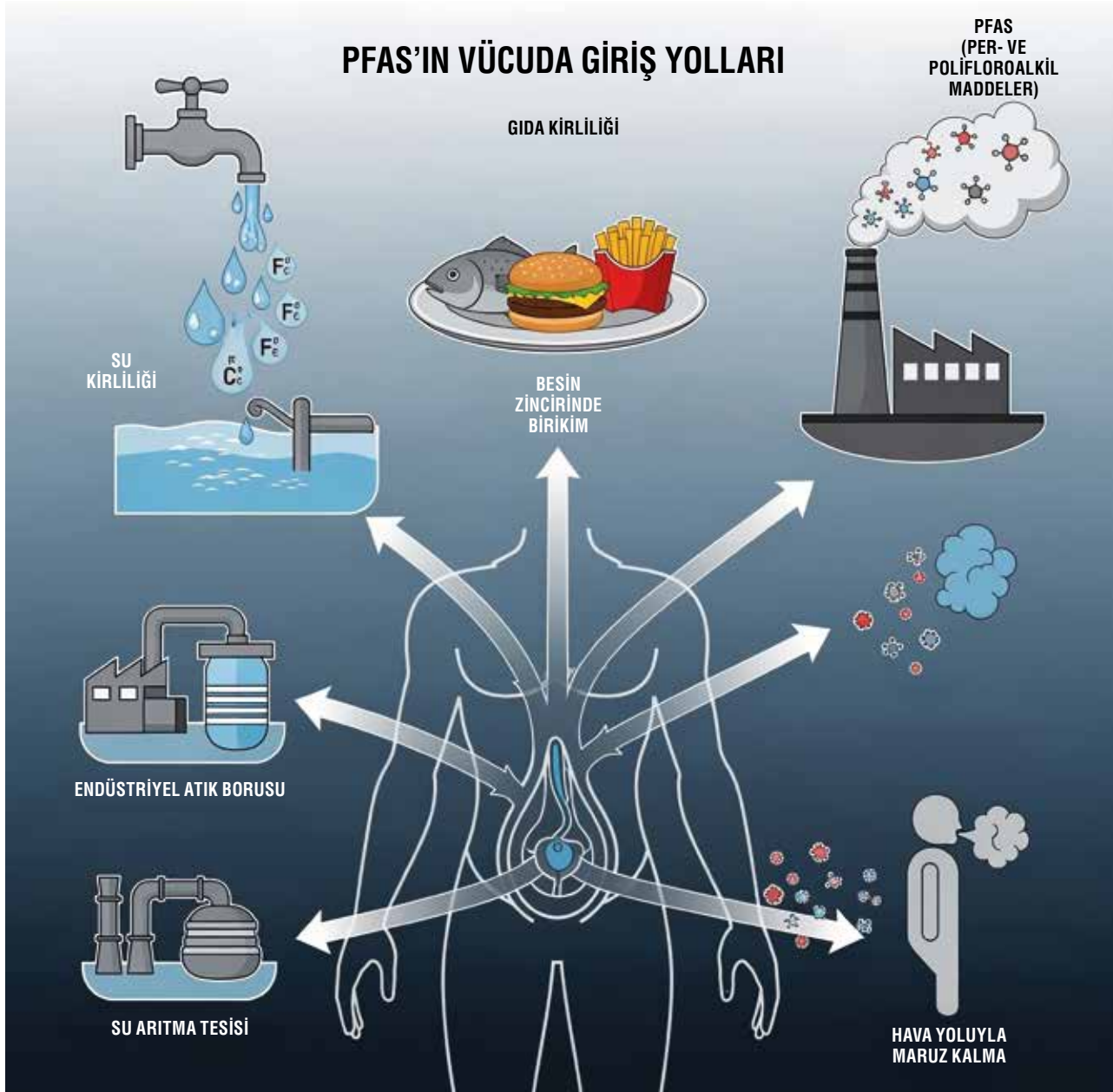
uyarınca içme suyunda PFAS için bağlayıcı standartlar getirme, endüstriyel deşarjları kısıtlama ve kirlenmiş sahaların temizliğini hızlandırma taahhütleri üstlenmiştir (U.S. EPA, 2021). Nisan 2024'te EPA, PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA ve GenX (HFPO-DA) için bireysel maksimum kirlenici seviyesi (MCL) ve Azami Kirlenici Seviyesi Hedefi (MCLG) belirleyen ilk ulusal birincil içme suyu standardını ve bazı PFAS karışımları için Tehlike İndeksi (Hazard Index, HI) temelli bir sınır değeri getirmiştir.

ABD içme suyu mevzuatında, MCL (Maximum Contaminant Level), bir kirlenicinin sağlık riski, mevcut arıtma teknolojileri ve maliyetler birlikte değerlendirilerek belirlenen hukuken bağlayıcı azami konsantrasyon sınırını ifade eder. MCLG (Maximum Contaminant Level Goal) ise yalnızca toksikolojik ve epidemiyolojik verilere dayanarak, özellikle hassas grupları koruyacak biçimde tanımlanan ve ekonomik veya teknik kısıtlar gözölmeksizin "sağlık açısından ideal" kabul edilen, bağlayıcı olmayan hedef düzeyi ifade eder. MCLG yalnızca sağlık temellidir ve içme suyunda PFOA ve PFOS için hiçbir düzey güvenli sayılmadığından, ideal hedef olarak MCLG = 0 ng/L kabul edilmiştir. Buna karşılık, 2024 tarihli nihai içme suyu standardında, içme sularında PFOA ve PFOS için teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir görülen en düşük bağlayıcı sınır olarak, MCL = 4 ng/L olarak belirlenmiştir. Bu standartta EPA, PFNA, PFHxS ve HFPO-DA (GenX) için maksimum kirlenici seviyesi (MCL) değerini 10 ng/L olarak belirlemiştir. EPA, PFHxS, PFNA, HFPO-DA (GenX) ve PFBS'den en az ikisini içeren karışımlar

için Tehlike İndeksi (Hazard Index, HI) = 1 (birimsiz) düzeyinde bağlayıcı bir MCL (ve aynı düzeyde MCLG) belirlemiştir. Buna paralel olarak, Düzenlenmemiş Kirleniciler İzleme Kuralı - 5 (Unregulated Contaminant Monitoring Rule - 5th Cycle, UCMR 5) kapsamında 2023-2025 yılları arasında ülke genelindeki içme suyu sistemlerinde 29 PFAS bileşiğinin izlenmesi zorunlu kılınmıştır, böylece ulusal ölçekte PFAS görülme sıklığı ve konsantrasyonları hakkında veri tabanı oluşturulması amaçlanmıştır. UCMR 5, ülkenin içme suyu sistemlerinde henüz federal düzeyde bir içme suyu standardı (MCL) bulunmayan 29 per- ve polifluoroalkil madde (PFAS) ile lityumun yaygınlığı ve miktarının ülke çapında izlenmesi için yürütülen EPA programıdır (U.S. EPA, 2024).

ABD'de PFAS düzenlemeleri uzun yıllar boyunca gecikmiş veya bölünmüştür. PFAS düzenlemelerinin bu kadar gecikmesinde, özellikle toksik maddelerin kontrolü çerçevesindeki düzenleyici kurumların endüstri etkisi altına girmesi, endüstrilerin verilerini kamuoyunu yanıltacak şekilde seçici sunması gibi endüstriyel çıkar gruplarının etkisi belirleyici olmuştur (Richter vd., 2021). Geçmiş irdelendiğinde, örneğin 3M firmasının, 1949'dan itibaren PFAS'ların çevrede parçalanmadığını ve toksik olduğunu gösteren şirket içi belgelerinin bulunduğu, buna rağmen ürünleri "biyolojik olarak parçalanabilir ve düşük toksisiteli" şeklinde pazarladığı açıkça görülmüştür (Salvidge ve Hosea, 2025). Ayrıca, PFAS üreticileri 3M ve DuPont Chemours grubuna ait ve dava süreçlerinde gün ışığına çıkarılan iç yazışmalar, şirketlerin





1960'lerden itibaren PFOS ve PFOA'nın kalıcılığı ve toksisitesine ilişkin çok önemli bulgulara sahip olduklarını, buna karşın bu bilgilerin düzenleyici kurumlara ve kamuoyuna tam ve zamanında yansıtılmadığını göstermektedir (Richter et al., 2021; Salvidge ve Hosea, 2025).

Bu tarihsel sürecin sonunda 3M şirketi, 2023 yılında, sulu film oluşturan yangın köpüğü (AFFF) kullanımına bağlı PFAS kirliliği nedeniyle kamu içme suyu sistemleri tarafından açılan davalar sonunda mahkemenin nihai onayına tabi olmak üzere yaklaşık 12,5 milyar ABD doları tutarında bir uzlaşma anlaşmasını kabul etmek zorunda kalmıştır (3M, 2024). DuPont, Chemours ve Corteva ise, PFAS kaynaklı içme suyu kirliliği nedeniyle kamu içme suyu sistemleri tarafından açılan davaları çözmek üzere, mahkeme onayına tabi olmak kaydıyla 1,185 milyar ABD doları

tutarında ayrı bir uzlaşma fonu oluşturmayı kabul etmiştir (DuPont, 2023). Minnesota, Ohio, New Jersey gibi eyaletlerde yürütülen toplu ve eyalet düzeyindeki davalar, PFAS kirliliğinin kamusal maliyetlerinin en azından bir bölümünün kirletici şirketlere yüklenmesi açısından, çevre adaleti literatüründe kritik bir dönüm noktası olarak değerlendirilmektedir (Sukhram vd., 2025; Mueller vd., 2024).

ABD'de CDC tarafından yürütülen (CDC, 2023), toplumdan seçilen örneklerde (kan, serum dâhil) PFAS gibi kimyasallara maruziyetleri ve sağlık göstergelerini ölçen ulusal tarama çalışması yapan NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) (Graber vd., 2019) ve kanıta dayalı rapor ve klinik rehber yayınlayan otorite kurum olan NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine) bulunmaktadır (NASEM, 2022).

Ulusal biyomonitoring programları (NHANES) PFAS'ın popülasyon düzeyinde yaygın bir serum, kan vücut yükü oluşturduğunu gösterirken, NASEM'in klinik rehberi bu yükün belirli düzeylerde kolesterol, tiroid işlevi, gebelik/bebek büyümesi ve bazı kanser riskleri gibi sağlık sonuçları açısından klinik izlemle ilişkilendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Avustralya'da ise Avustralya Savunma Bakanlığı, askerî alanlarda PFAS temizliği için ulusal fon kurmuştur (Australian Government Department of Defence, 2023). Kanada Çevre Bakanlığı içme suyu rehber limiti belirlemiş ve PFAS'ı kanserojen şüpheli sınıfa almıştır. 2024 tarihli rehberde, içme suyunda tespit edilen 25 seçilmiş PFAS'ın toplamı için 30 ng/L'lik hedef değer belirlemiştir (Health Canada, 2024). Bu ülkeler özellikle

AFFF kaynaklı alan kirlenmesi üzerine düzenleme yapmaktadır.

Çin'de ise PFAS yönetiminde başta Stockholm POP yükümlülükleri geçerli olmak üzere, ulusal içme suyu standardında PFOA ve PFOS'lar parametre olarak yer almaktadır (MEE, 2007). Ayrıca PFAS türevleri, Çevre ve Ekoloji Bakanlığı (MEE, Ministry of Ecology and Environment) liderliğinde yeni kirleticiler listesine dâhil edilerek düzenlemeler ilerlemektedir (Zhang vd., 2025).

Türkiye'de PFAS Yönetimi

Türkiye'de PFAS'a ilişkin hukuki çerçeve, uluslararası sözleşmelerden etkilenmektedir. PFOS ve PFOA, Stockholm Sözleşmesi kapsamında yasaklıdır. Ancak geniş PFAS sınıfı için genel bir yasaklama veya kılavuz limit henüz oluşturulmamıştır.

Türkiye'de PFAS kullanımı özellikle tekstil ve deri kaplamalarında, yanmazlık ve su iticilik için kimyasal formülasyonlarda, gıda ambalajlarında, endüstriyel yüzey aktif sistemlerinde, yangın söndürmede kullanılan köpüklerde yoğunlaşmaktadır. PFAS kirliliği, sektörün coğrafi dağılımına göre bölgesel riskler yaratmaktadır. Ayrıca atık su arıtma tesisleri, PFAS'ı tam olarak gideremediği için, PFAS arıtılmış suyla alıcı ortama geçebilir. Organik çamurda biriken PFAS, tarım alanlarına taşınabilir. Bu durum çevre, gıda güvenliği ve sağlık açısından kritik bir risk konusudur. Türkiye'de PFAS kirliliğine bağlı sistematik sürveyans eksikliği bulunmaktadır. Bu nedenle ulusal rehber limitler, laboratuvar standardizasyonu, biyomonitöring programları ve risk değerlendirme stratejilerinin geliştirilmesi gerekli görünmektedir.

Türkiye'de PFAS'lara ilişkin mevcut bilimsel kanıtlar, ağırlıklı olarak içme suyu, yüzey suyu ve yüksek endüstriyel baskı altındaki havzalarda yürütülen çevresel ölçümlere dayanmaktadır. Ülke genelinde gerçekleştirilen musluk ve şişe suyu incelemeleri, bazı akarsularda ve sanayi yoğunluğu yüksek bölgelerde yapılan çalışmalar, PFOS, PFOA ve bazı kısa zincirli PFAS türlerinin sulara ve çevresel ortamlarda bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, özellikle içme suyu kaynakları aracılığıyla toplumun uzun süreli PFAS maruziyetine sürekli olarak açık kalabileceğini göstermektedir. Bu durum kamu sağlığı açısından

göz ardı edilemeyecek kronik bir risk faktörü oluşturmaktadır.

Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü (GKGM) tarafından yayımlanan "Gıda ve Yemlerde PFAS Belirlenmesi için Analitik Parametreler Rehberi" (Eurl, 2024; GKGM, 2024), gıda ve yem matrislerinde PFAS analizine yönelik ölçüm limitleri, validasyon ve performans kriterlerini tanımlayarak, Türkiye'de PFAS'ın resmî kontrol ve izleme çerçevesinde metodolojik olarak ele alınmaya başlandığını göstermektedir. Bu gelişme, ulusal düzeyde PFAS yönetimi için önemli bir kurumsal altyapı oluşturmakla birlikte, sağlık temelli risk değerlendirmesi açısından tek başına yeterli olmamaktadır.

Çalışmalar, PFAS sürveyansının artık tüm dünya genelinde çok sayıda ülke ve kurum tarafından sistematik biçimde yürütülmeye başlandığını göstermektedir. Çevrede ve insanlarda PFAS varlığını izlemeye yönelik uluslararası biyomonitöring programları kapsamında PFAS'lar düzenli olarak ölçülerek raporlanmaktadır. Nitekim Türkiye'de, ABD'deki NHANES veya NADES gibi otoritelerin programlarına benzer biçimde, PFAS maruziyetini doğrudan veya dolaylı olarak insan biyolojik örneklerinde değerlendiren ulusal ölçekli bir biyomonitöring programı henüz bulunmamaktadır. Türkiye'de PFAS'a ilişkin risklerin etkin biçimde yönetilebilmesi için bütüncül bir ulusal stratejiye ihtiyaç vardır. Bu stratejinin temeli, çevresel izleme verilerini (özellikle içme suyu ve alıcı ortamlar, gıda) insan biyomonitöring bulgularıyla (kan-serum, anne sütü, kordon kanı vb.) sistematik olarak birleştiren, düzenli raporlama ve erken uyarı bileşenleri içeren sürdürülebilir bir sürveyans altyapısının ivedilikle kurulması olmalıdır.

Sonuç ve Öneri

PFAS krizi, aynı anda bilimsel, çevresel, sosyolojik, hukuki ve ekonomik boyutlara sahip bir küresel sorundur. Sağlık etkileri açısından PFAS maruziyeti; serum lipit profili bozuklukları, tiroid hormon dengesizlikleri, bağışıklık yanıtında zayıflama, gebelik ve erken yaşam dönemlerinde büyüme-gelişme üzerindeki olumsuz etkiler ile bazı PFAS bileşikleri için artmış kanser riskiyle ilişkilendirilmektedir; bu etkilerin çoğu düşük dozlu ancak uzun süreli maruziyetler sonucunda ortaya çıkabilmektedir.

Türkiye için PFAS yönetiminde öncelik, çevresel ölçümleri insan biyomonitöring verileriyle (kan-serum, anne sütü, kordon kanı) entegre eden ulusal bir sürveyans programının kurulması olmalıdır. Bu verilere dayalı sağlık temelli limitler tanımlanarak ilgili rehberler (özellikle içme suyu ve yüksek riskli havzalar) oluşturulmalıdır. Bunu izleyen aşamada gıdalar, arıtma çamuru ve tarım uygulamaları gibi kritik maruziyet yolları için uygun analitik kapasite ve düzenli izleme ağı oluşturularak risk azaltım önlemleri kaynaktan kontrol yaklaşımıyla devreye alınmalıdır. Kaynaktan kontrol için ise özellikle AFFF, tekstil, deri, ambalaj üretimi yapan yüksek riskli sektörlerde kaynak kontrolünün kademeli olarak devreye alınması doğru olacaktır.

Kaynaklar

3M. (2024). 3M Settlement with Public Water Suppliers to Address PFAS in Drinking Water Receives Final Court Approval, <https://investors.3m.com/news-events/press-releases/detail/1836/3m-settlement-with-public-water-suppliers-to-address-pfas> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).

Alazaiza, M. Y., Alzghoul, T. M., Ramu, M. B., Amr, S. S. A., Abushammala, M. F. (2025). PFAS contamination and mitigation: A comprehensive analysis of research trends and global contributions. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 101127.

Australian Government Department of Defence. (2023). PFAS Investigation and Management Program. Department of Defence. <https://www.defence.gov.au/about/locations-property/pfas> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).

Babayev, M., Capozzi, S. L., Miller, P., McLaughlin, K. R., Medina, S. S., Byrne, S., Salamova, A. (2022). PFAS in drinking water and serum of the people of a southeast Alaska community: A pilot study. *Environmental pollution*, 305, 119246.

Belay, M. H., Robotti, E., Ghignone, A., Fabbris, A., Brandi, J., Cecconi, D., Marengo, E. (2025). Sensitive and accurate determination of 32 PFAS in human serum using online SPE-UHPLC-HRMS. *Journal of Hazardous Materials*, 485, 136780.

Brandsch, T. (2022). Determination of PFAS in Water According to EU 2020/2184 and DIN 38407-42 Using Online SPE-LC-MS/MS, <https://www.chromatographyonline.com/view/determination-of-pfas-in-water-according-to-eu-2020-2184-and-din-38407-42-using-online-spe-lc-ms-ms> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).

Centers for Disease Control and Prevention. (2019). Fourth national report on human exposure to environmental chemicals: Updated tables (January 2019). U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.cdc.gov/exposurereport/> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).

Centers for Disease Control and Prevention. (2023). National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). <https://www.cdc.gov/nchs/nhanes/index.htm> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).

Costello, M. C. S., Lee, L. S. (2024). Sources, fate, and plant uptake in agricultural systems of per-and polyfluoroalkyl substances. *Current Pollution Reports*, 10(4), 799-819.

- DuPont. (2023). Chemours, DuPont and Corteva reach comprehensive PFAS settlement with U.S. water systems, DuPont de Nemours, Inc. <https://www.dupont.com/news/chemours-dupont-and-corteva-reach-comprehensive-pfas-settlement-with-us-water-systems.html> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).
- EFSA. (2025). European Food Safety Authority, Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).
- Endirlik, B. Ü., Bakır, E., Boşgelmez, İ. İ., Eken, A., Narin, İ., Gürbay, A. (2019). Assessment of perfluoroalkyl substances levels in tap and bottled water samples from Turkey. *Chemosphere*, 235, 1162-1171.
- European Chemicals Agency (ECHA). (2023). ECHA publishes PFAS restriction proposal. ECHA. <https://echa.europa.eu/fr/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).
- European Union. (2020). Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Union*, L 435, 1-62.
- Graber, J. M., Alexander, C., Laumbach, R. J., Black, K., Strickland, P. O., Georgopoulos, P. G., Weisel, C. P. (2019). Per and polyfluoroalkyl substances (PFAS) blood levels after contamination of a community water supply and comparison with 2013-2014 NHANES. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 29(2), 172-182.
- Health Canada. (2024). Objective for Canadian drinking water quality: Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Government of Canada. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/objective-drinking-water-quality-per-polyfluoroalkyl-substances.html> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).
- https://eurl-pops.eu/working-groups#_pfas (Erişim Tarihi: 24.12.2025).
- <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).
- Ikizoglu, B. (2024). PFOA and PFOS Pollution in Surface Waters and Surface Water Fish. *Water*, 16(16), 2342.
- Koçlar, A. D., Hüzün, A. Y., Yetik, S., Berktaş, Ş., Akgül, N. (2022). Possible PFAS sources in Istanbul: Wastewater treatment plants, landfills, and industries [Conference presentation]. Marmara University, Department of Environmental Engineering.
- Kurwadkar, S., Dane, J., Kanel, S. R., Nadagouda, M. N., Cawdrey, R. W., Ambade, B., Wilkin, R. (2022). Per- and polyfluoroalkyl substances in water and wastewater: A critical review of their global occurrence and distribution. *Science of the Total Environment*, 809, 151003.
- Lee, J. C., Smaoui, S., Duffill, J., Marandi, B., Varzakas, T. (2025). Research progress in current and emerging issues of PFASs' global impact: long-term health effects and governance of food systems. *Foods*, 14(6), 958.
- Li, X., Wang, Y., Cui, J., Shi, Y., Cai, Y. (2024). Occurrence and fate of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in atmosphere: size-dependent gas-particle partitioning, precipitation scavenging, and amplification. *Environmental Science & Technology*, 58(21), 9283-9291.
- Liu, L., Yan, P., Liu, X., Zhao, J., Tian, M., Huang, Q., Shen, H. (2024). Profiles and transplacental transfer of per- and polyfluoroalkyl substances in maternal and umbilical cord blood: A birth cohort study in Zhoushan, Zhejiang Province, China. *Journal of Hazardous Materials*, 466, 133501.
- MEE. (2007). The People's Republic of China National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, <https://english.mee.gov.cn/Resources/Plans/Plans/202012/P020201211676710689694.pdf>.
- Mueller, R., Salvatore, D., Brown, P., Cordner, A. (2024). Quantifying disparities in per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) levels in drinking water from overburdened communities in New Jersey, 2019–2021. *Environmental Health Perspectives*, 132(4), 047011.
- NASEM, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). Potential health effects of PFAS. In *Guidance on PFAS Exposure, Testing, and Clinical Follow-Up*. National Academies Press (US).
- OECD. (2024). Risk management, risk reduction and sustainable chemistry: PFAS as a global concern. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2018). Toward a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): Summary report on updating the OECD 2007 list of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). OECD.
- Özvardarlı, A., Güneş, Y., Hanedar, A., Güneş, E. (2025). Occurrence and treatment of PFOS and PFOA in surface waters of the Ergene River Basin, Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(15), 16167-16180.
- Panieri, E., Baralic, K., Djukic-Cosic, D., Buha Djordjevic, A., Saso, L. (2022). PFAS molecules: a major concern for the human health and the environment. *Toxics*, 10(2), 44.
- Persaud, D., Criscitiello, A. S., Spencer, C., Lehnher, I., Muir, D. C., De Silva, A. O., Young, C. J. (2024). A 50 year record for perfluoroalkyl acids in the high arctic: implications for global and local transport. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 26(9), 1543-1555.
- Richter, L., Cordner, A., Brown, P. (2021). Producing ignorance through regulatory structure: The case of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Sociological Perspectives*, 64(4), 631-656.
- Sadia, M., Nollen, I., Helmus, R., Ter Laak, T. L., Been, F., Praetorius, A., van Wezel, A. P. (2023). Occurrence, fate, and related health risks of PFAS in raw and produced drinking water. *Environmental science & technology*, 57(8), 3062-3074.
- Salvidge R., Hosea, L. (2025). 3M knew firefighting foams containing PFAS were toxic, documents show, the guardian, <https://www.theguardian.com/environment/2025/jan/15/3m-firefighting-foams-pfas-forever-chemicals-documents> (Erişim Tarihi: 24.12.2025).
- Samarasinghe, S. V. A. C., Wijayawardena, A., Khan, A. U. H., Liu, Y. (2025). PFAS: an overview of their physicochemical properties and implications. *Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances: Occurrence, Toxicity and Remediation of PFAS*, 13.
- Sharma, B. M., Bharat, G. K., Tayal, S., Larssen, T., Bečanová, J., Karásková, P., Nizzetto, L. (2016). Perfluoroalkyl substances (PFAS) in river and ground/ drinking water of the Ganges River basin: Emissions and implications for human exposure. *Environmental pollution*, 208, 704-713.
- Sims, D. B., Monk, J. R., Woldetsadik, D., Hudson, A. C., Garner, M. C., Lindley, K., Moser, D. P. (2025). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the rivers of the Western United States. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(10), 9319-9336.
- Su, J., Gao, Y., Sun, Y., Bing, M., Liu, Q. S., Zhou, Q., Jiang, G. (2025). Burden of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human breast milk: Implications for maternal and infant health. *Environment International*, 109593.
- Sukhram, S. D., Kim, J., Musovic, S., Anidugbe, A., Corte, E., Ahsan, T., Padilla, M. (2025). PFAS Exposure, Mental Health, and Environmental Justice in the United States: Impacts on Marginalized Communities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(7), 1116.
- Tan, H., Tang, S., Yang, L., Li, J., Deng, Y., Shen, H., Cai, Z. (2024). Global quantification of emerging and legacy per- and polyfluoroalkyl substances in indoor dust: Levels, profiles and human exposure. *Science of the Total Environment*, 927, 172132.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü (GKGM). (2024). Gıda ve yemlerde per- ve polifloroalkil maddelerin (PFAS) belirlenmesi için analitik parametreler rehberi, https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Risk_Degerlendirme/Gida_ve_Yemlerde_PFAS_Rehber.pdf.
- U.S. EPA, Environmental Protection Agency. (2021). PFAS strategic roadmap: EPA's commitments to action 2021–2024, <https://www.epa.gov/pfas/pfas-strategic-roadmap-epas-commitments-action-2021-2024>.
- U.S. EPA, Environmental Protection Agency. (2024). Fifth Unregulated Contaminant Monitoring Rule (UCMR 5), <https://www.epa.gov/dwucmr/fifth-unregulated-contaminant-monitoring-rule>.
- UNEP, United Nations Environment Programme, ICCM5, (2023). Global Framework on Chemicals – For a planet free of harm from chemicals and waste. UN Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/global-framework-chemicals-planet-free-harm-chemicals-and-waste>.
- UNEP, United Nations Environment Programme. (2009). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (text and annexes, as amended in 2009). Stockholm Convention Secretariat. <https://www.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFAS/Overview/tabid/5221/Default.aspx>.
- UNEP, United Nations Environment Programme. (2024). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). UN Environment Programme. <https://www.unep.org/topics/chemicals-and-pollution-action/pollution-and-health/persistent-organic-pollutants-pops-and>.
- United Nations Environment Programme. (2024). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). UNEP – Persistent Organic Pollutants and chemicals and health.
- Valsecchi, S., Babut, M., Mazzoni, M., Pascariello, S., Ferrario, C., De Felice, B., Polesello, S. (2021). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in fish from European lakes: Current contamination status, sources, and perspectives for monitoring. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(3), 658-676.
- Wee, S. Y., Aris, A. Z. (2023). Revisiting the “forever chemicals”, PFOA and PFOS exposure in drinking water. *NJP Clean Water*, 6(1), 57.
- World Health Organization. (2022). PFOS and PFOA in drinking-water: Draft background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality.
- Yurtsever, M. (2025a). Çevredeki Per ve Polifloroalkil Madde (PFAS) Kirliliği: Tarihçesi, Kaynakları, Analizi, Riskleri ve İlgili Düzenlemeler. *Recep Tayyip Erdoğan University Journal of Science and Engineering*, 6(1), 403-427.
- Yurtsever, M. (2025b). Per-ve Polifloroalkil maddelerin (sonsuz kimyasalların) çevredeki kalıcılığı, yayılımı, birikimi ve sağlığa etkileri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 412-423.
- Zhang, J., Liu, J., Jin, R., Qiao, Y., Mao, J., Wang, Z. (2025). Prevalent Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) Pollution in Freshwater Basins in China: A Short Review. *Toxics*, 13(2), 135.