

PFAS ve gıda güvenliği: tarımdan sofraya gıda zincirindeki PFAS kontaminasyonu

Dr. Emine Olum



Gaziosmanpaşa Üniversitesinde Gıda Mühendisliği lisans derecesini tamamladıktan sonra, Ankara Üniversitesinde Et Teknolojisi alanında doktorasını aldı. 2019 yılından bu yana İstanbul Medipol Üniversitesi Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümünde akademik çalışmalarını sürdürmekte olup; et teknolojisi, yeni ürün geliştirme, duyu analizi ve gıda ambalajlama konularında uzmanlaşmıştır.

PFAF (per- and polyfluoroalkyl substances) olarak kısaltılan perfluoroalkil bileşenleri su ve yağ itici özellikleri sebebiyle tekstilden mutfak ekipmanlarına, gıda ambalajlarından askeri ürünlere ve yangın söndürücü aletlere kadar birçok tüketim ürünüde kullanılmaktadır. Bu kimyasallar doğada bozulmadan varlığını sürdürebilmesi sebebiyle “sonsuz kimyasallar” olarak adlandırılmıştır. Bu da onların yok edilmesini ve bertarafını zorlaştırmakta; doğada, hayvan, bitki ve insanlarda birikimine sebep olmaktadır.

Yapılan bilimsel araştırmalar doğrultusunda PFAS yükünü artırmayı durduracak/yavaşlatacak önlemler alınsa da doğada özellikle de hayvansal dokularda oluşan mevcut birikim endişe vericidir. İnsanlar PFAS’ı başlıca gıda ve sudan alır, dolayısıyla bu kimyasallar çevresel bir problem olmasından çok bir gıda güvenliği problemine dönüşmüştür.

PFAS Kaynağı Olarak Gıdalar

Topraktan sızarak yer altı sularına karışan PFAS bitkiler ve hayvanlar tarafından alınarak biyolojik birikime uğrar ve besin zinciri yoluyla canlılar arasında aktarılır. İçilebilir su kaynakları, gıdalar ve gıda ile teması bulunan ekipman ve paket-

leme materyalleri ikincil PFAS kaynağı sayılabilir. Özellikle kontamine suyun tüketimi maruziyette öne çıkmaktadır. 2025 yılında yapılan bir çalışmada nehir ve göl tabanlarındaki en yüksek PFAS konsantrasyonu Çin’de, yüzey suyu ve balıklarda ise Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) ortaya çıkmıştır (1).

Hayvansal Gıdalar

PFAS su ve yemlerle hayvanlara aktarılması sebebiyle hayvansal gıdaların diyetle alımı insanlar için önemli bir bulaş kaynağıdır. Özellikle proteince ve yağca zengin gıdalarda biriken PFAS, başta balık olmak üzere sırasıyla yumurta sarısı, sığır eti, av etleri, sakatatlar, domuz eti, kanatlı eti, süt, süt ürünleri gibi hayvansal gıdalarda oldukça fazladır. Balık etinden sonra en yüksek PFAS konsantrasyonu yumurta sarısında tespit edilmiştir (2).

Avrupa’da gençlerde yapılan bir araştırmada deniz ürünleri yumurta ve sakatat tüketiminin PFAS seviyelerini artırdığı ortaya konulmuştur (3). Bu tarz istatistik artış verilerini incelerken birikimin yüzde kaç arttığından ziyade hangi seviyeden ne kadar yükseldiğine bakmak daha doğrudur. Bu çalışmada PFAS birikimi yüzde 7 civarından yüzde 8 civarına çıkmıştır. Öyle görünüyor ki mevcut durum zaten kötüyken hayvansal gıda

alımı buna küçük bir katkı sağlamıştır. Dolayısıyla asıl çözüm bu kimyasallara maruziyeti azaltmak için bu gıdaları beslenmemizden çıkarmak değildir. Bu özellikle büyüme gelişme çağında olan çocuklar için ciddi gelişimsel riskler doğurur. Odaklanılması gereken konu çevre kirliliklerini bertaraf ederek tarladan sofraya daha temiz üretim yolları geliştirip toplumdaki tüm bireylerin bu temiz gıdaya ulaşmasını sağlamaktır.

Az gelişmiş ülkelerde veya sosyoekonomik seviyesi düşük olan yerleşim alanlarında PFAS kirliliğinin daha büyük bir tehdit oluşturduğu görülüyor. Toplumun geneli tarafından ulaşılabilir olmayan organik gıdaların (sertifikalı organik) görece daha az PFAS birikimi göstermesi, endüstriyel üretimin yapıldığı alanlarda ekonomik olarak geçimin daha kolay olması, ekonomik seviyenin düşmesiyle temiz suya ulaşımın zorlaşması, arıtma için ek maliyetlerin ortaya çıkması ve en önemlisi de PFAS için az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere henüz bir farkındalık oluşmamasını bu durumun sebepleri arasında gösterebiliriz.

Hayvansal gıdalar arasında en riskli gıdalar olan su ürünlerinin suda asılı kalan kimyasalları solungaçlarıyla filtre ederek veya besin yoluyla aldıklarını biliyoruz. Karides, yengeç, midye gibi kabuklu su



ürünlerinde PFAS birikiminin balıklara kıyasla 100 kata kadar daha yüksek seviyelere ulaştığı bulunmuştur. Balık türleri PFAS varlığı açısından değerlendirildiğinde ise planktonlarla beslenen, yağlı ve pelajik balıklarda PFAS konsantrasyonunun daha az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla denizlerimizde avlanan çok değerli omega-3 kaynağı hamsi, sardalya ve yüzey balıklarından lüfer, istavrit, palamut, çaça, uskumru, kolyoz, zargana gibi pelajik türlerin tüketimi kimyasal kirlilik etmenleri açısından daha güvenilir balık türleridir.

Deniz ürünlerinden sonra en riskli gıda grubu olan çiftlik hayvanlarında ise bulaşı en çok kontamine su ve kirlili toprakta yetişen yemlerden kaynaklanır. Kümes hayvanları çiftlik hayvanlarına göre PFAS'ı daha hızlı elimine edebilmektedir. Kümes hayvanlarının etinde daha az PFAS seviyeleri ölçülmüş olup, PFAS kümes hayvanlarının yumurtasının özellikle sarısına transfer olup burada birikmektedir (2). Günümüzde özellikle endüstriyel kümes hayvanlarına karşı oluşan ön yargının yersiz olduğunu bilim insanları olarak yıllarca ifade ediyorduk ancak ayrıca kanatlı etlerinin çevresel kirlilik etmenleri açısından da oldukça güvenli olduğu görülmektedir. Dolayısıyla önemli bir protein kaynağı olan kümes hayvanlarının diyetten çıkarılması sağlık açısından olumsuz etkiler doğurması yanında kimyasal birikim açısından da dengenin bozulacağı anlamına gelir.

Hayvanlardaki PFAS varlığı, yaşadığı bölgeye, otobur etobur oluşuna, dokulardaki yağ ve protein oranına göre türler arasında farklılık göstermektedir (2). Çin'de çiftlik hayvanların beslendiği yem silajındaki PFAS konsantrasyonunun hayvandan elde edilen sütteki miktardan 7,5 kat daha fazla olduğu bulunmuştur (4). Ancak yem üretiminin endüstriyel alanlardan uzak olmasıyla sütteki bulaşı azalacaktır. Genel olarak PFAS hayvanlarda kas ve diğer dokulara kıyasla ciğer ve kanda daha çok birikim gösterir. Dolayısıyla sakatat tüketimi PFAS açısından risk doğurmaktadır.

Tarımsal Bulaşma ve Bitkisel Gıdalar

Endüstriyel alanlara yakın kirlili tarım alanları, sulama suları, gübre ve pestisitler bitkilerdeki bulaşının temel kaynağıdır. Bitkiler her ne kadar insanlarda PFAS birikiminin ana kaynağı olmasa da bu bitkilerle beslenen çiftlik hayvanları insan maruziyetinin ikincil kaynağı olabilir. Ne yazık ki uzun süre dayanıklı olması ve haşere ve böceklerde etkinliğini artırması sebebiyle pestisitlerde PFAS kullanımı söz konusudur. ABD'de yapılan bir çalışmada göstermiştir ki son 10 yılda tarımda kullanılan pestisitlerin yüzde 30'unda PFAS benzeri kimyasallar tespit edilmiştir (5). Sebze ve meyvelerde üretim yöntemine ve bölgeye göre pestisitlerden ve sulama sularından kaynaklı olarak PFAS birikiminin değişiklik gösterebileceğini de göz ardı edemeyiz.

PFAS maruziyeti yalnızca gıdanın kendisinden değil; gıda ile temas eden ambalajlar ve mutfak ekipmanlarından da kaynaklanıyor. Yapışmaz tavalar, kâğıt bazlı ambalajlar ve fast-food paketleri, özellikle sıcak ve yağlı gıdalarda PFAS'ın gıdaya geçişini artırıyor. Bu görünmeyen temas, günlük maruziyetin en sessiz kaynaklarından biri.

Diğer Gıdalar

Suyun önemli bir PFAS kirlilik etmeni oluşturması sebebiyle çeşitli içecekleri de mercek altına almakta fayda vardır. Özellikle bebek mamaları gibi suyla hazırlanan gıdalar önemli bulaşı kaynağı olabilir. Vücut ağırlığı başına tüketilen gıdanın bebeklerde daha fazla oluşu onları PFAS birikimine daha duyarlı hâle getirmektedir. Bebek mamaları yanında yaşlı, çocuk ve hamile kadınlar için servis edilen gıdaların hazırlanmasında çeşme suyu kullanılmamalıdır.



Maden sularındaki PFAS varlığı da dikkati çekmektedir. Yapılan bir çalışmada Avrupa'nın çeşitli yerlerinden alınıp test edilen 119 maden suyu örneğinin yarısında PFAS tespit edilmiştir (6). Yer altı suyu veya yüzey suyu kaynaklı olmayan derin maden sularında dahi PFAS tespit edilmesi tehlikenin boyutunu göstermektedir.

Yapılan bir çalışmada şaraplardaki PFAS kirliliğinin yüksek boyutlarda olduğu özellikle yeni şaraplarda kirlenmenin oldukça fazla olduğu ortaya konulmuştur (7). Şaraptaki PFAS kirliliğinin yıllar bazında incelenmesiyle görülmüştür ki 1970'lere kadar şaraplarda PFAS tespit edilmezken 1980'ler itibarıyla PFAS kirliliği başlamış ve 2010'dan sonra kirlilik hızla artmıştır. Bu durumda şüphesiz endüstrileşmenin ve buna bağlı birikimin etkisi vardır.

Son yıllarda PFAS kirliliği için bal da araştırılmış ve ilginç bir şekilde özellikle kovan içi işçi arılarda ve bunların polenlerinde PFAS'a rastlanmıştır. Arı ve polenlere olan bulaşının atmosferik birikim veya yüzey teması ile olabileceği tahmin edilmektedir (8).

Organik/Doğal/Yöresel Gıda Paradoksu

Genellikle bahçede yetiştirilen, köyden gelen, yerel üreticiden bir şekilde temin edilen gıdaların daha sağlıklı olduğu yönünde toplumsal bir görüş vardır ancak bu gıdalar analiz edildiğinde durum algıların ötesinde bir hâl alabilir. PFAS kirliliğinden uzak alanlarda, temiz su ile sulama yapılan ve pestisit kullanımı konusunda bilinçli bir üreticinin ürettiği bitkisel ve hayvansal gıdaların elbette daha temiz olacağı aşîkârdır. Tarımsal ve hayvansal üretim alanlarında kirlenmiş su ve toprak varlığı ürünün endüstriyel veya köyde üretilmesinden oldukça bağımsız bir konudur. Diğer yandan pestisitlerdeki PFAS varlığına düşünürsek yerel üreticilerin bilinçsizce yaptığı denetimden uzak ilaçlamalar hem kendi toprağını kirlitip mahsulünü etkilemekte hem de o bölgede yetişen diğer ürünlere hava ve yer altı suları aracılığıyla bulaşmaktadır.

Avrupa'da yapılan bir çalışmada yerel üretilen sebze meyvelerin tüketimi kanda daha yüksek PFAS seviyeleriyle ilişkilendirilmiştir (9). Belçika'da PFAS kimyasallarının tespit edildiği bir alanda

yapılan çalışmada ev üretimi serbest gezen tavuk yumurtasında yüksek PFAS varlığı tespit edilmiştir (10). Bahçede beslenen tavukların yumurtasındaki belirgin PFAS yüksekliğinin temel sebebi bu tavukların yemlerden çok doğada bulduğu böcek ve solucanlarla beslenmesidir. Başka bir çalışmada av balığı ile çiftlik balıkları PFAS varlığı açısından kıyaslanmış ve av balıklarında daha yüksek PFAS seviyeleri ölçülmüştür (11). Ayrıca av hayvanlarındaki PFAS seviyeleri çiftlik hayvanlarından daha yüksek bulunmuştur (12).

Yerel üretimle endüstriyel üretim arasında ortaya çıkan bu farklılığın temel sebebi kümes veya toplu yetiştiricilik yapılan çiftlik hayvanlarında belirli yemler izne tabi olarak verilmekte ve denetimli olarak ilaçlama yapılmaktadır. Ayrıca avcılık yapılan bölgelerde kontamine su ve topraktan kaynaklı birikim fazla olabilmektedir. Diğer yandan av hayvanlarının yaşam süresi daha uzun olmakla birlikte doğadaki diğer canlıları yiyerek biyobirikimi artırmaktadır. Bazı gelişmiş ülkelerde özellikle kirlilik etmenlerinin olduğu çevrelerde av hayvanlarının tüketilmemesi yönünde tavsiyeler verilmektedir.

Yukarıdaki çalışma sonuçlarından farklı olarak Danimarka'da yapılan bir çalışmada büyük endüstriyel çiftliklerdeki balık yemiyle beslenen tavukların organik yumurtalarında yüksek PFAS tespit edilmiştir (13). Yüksek PFAS seviyesinin yem olarak deniz ürünleri kullanımından kaynaklandığı tahmin edilebilir. Dolayısıyla organik, yerel veya avcılık olsun yetiştirilen bölgedeki kirlilik ve kullanılan yemlerin PFAS yoğunluğunun en etkili parametre olduğu görülür. Bu da gösteriyor ki tarladan sofraya her aşamada PFAS denetimi yapılarak kirlilik etmenlerinin bu zincirden çıkarılması gerekmektedir. En yüksek PFAS içeren gıdalardan biri olan yumurta için özellikle yemlemede acil önlemler gerekmektedir.

Mutfak Ekipmanları ve Gıda Ambalajlarından Kaynaklı Bulaşma

Gıda ile temas eden malzemelerde su ve yağ dayanımı sebebiyle PFAS kullanılmaktadır. İleri işlenmiş ve fast food gıdaların araştırıldığı çalışmalar gösteriyor ki bu gıdaların tüketimi ile kandaki PFAS seviyesi artmıştır. PFAS bulaşmasının gıda işleme yöntemlerinden kaynaklı olmadığı ancak gıda ile temas eden malzemelerden gıdaya, gıdadan da insana geçtiği söylenebilir. Bu malzemeler arasında tepsiler, kaseler, pipetler, karton bardaklar, fast food kâğıtları, yağlı kâğıtlar, paket servis kutuları, muffin kâğıtları, mikrodalgada kullanıma uygun patlamış mısır ambalajları sayılabilir. Diğer yandan Teflon gibi yapışma önleyici malzemelerin kullanıldığı pişirme ekipmanlarında PFAS varlığı ciddi tehlike yaratmaktadır. Her ne kadar birçok Avrupa ülkesinde teflon yasaklansa da ülkemizde hâlâ yaygın olarak kullanılan bir mutfak ekipmanı olması halk sağlığı açısından endişe vericidir. Hatta ülkemizde birçok restoran teflon tavalının aşınması sonucu bunları tekrar teflon kaplatmak üzere yenilenmektedir. Bu durum gıdaya migrasyon düzeyi belirsiz bir takım florürlü bileşiklerin endüstriyel üretim dışında mutfak ekipmanlarında kullanıldığını göstermektedir.

Gıda ile temas eden ambalaj malzemelerinden en yüksek kontaminasyon suya karşı dayanımını sağlamak üzere PFAS ile iç kaplamaları yapılan kâğıt bazlı ambalajlardan kaynaklanmaktadır. Çin'de yapılan bir çalışmada ambalaj kaynaklı PFAS salınımının yüzde 87'sinin karton ambalajlardan yüzde 13'ünün de plastiklerden kaynaklandığı ortaya konulmuştur (14).

PFAS gibi “sonsuz kimyasallar” karşısında çözüm, gıdayı suçlamak ya da sofradan eksiltmek değildir. Gerçek çözüm, çevre kirliliklerini ortadan kaldırarak tarladan sofraya daha temiz, denetlenebilir ve sürdürülebilir üretim yolları geliştirmektir. Gıda güvenliği ancak bütüncül politikalarla, çevre-su-tarım zincirinin birlikte ele alınmasıyla sağlanabilir. Toplumun her kesiminin temiz gıdaya erişimi, bu mücadelenin en kritik ve vazgeçilmez adımıdır.

Ambalaj malzemesi veya mutfak ekipmanlarından gıdaya olan PFAS geçişini sıcaklık ve süre etkiler. Uzun süre yüksek sıcaklıklarda olan gıdanın bu malzemelerle teması migrasyonu artırmıştır. Bu sebeple özellikle yapışmaz veya kâğıt kek kalıpları, yağlı kâğıtlar, pişirme ekipmanları yüksek ısı işlem görmesi sebebiyle oldukça riskli malzemelerdir. Ayrıca pişirme ekipmanlarının tekrar kullanımı PFAS geçişini önemli derecede artırmaktadır. Gıda paketleri her ne kadar “kullan at” olsa da yapışmaz özellikteki mutfak ekipmanları tekrar tekrar kullanılmaktadır. Gıda ambalajlarında öne çıkan ve üzerinde oldukça çalışma olan mikrodalgada pişirilebilir patlamış mısır ambalajlarında mikrodalgada ürünün oldukça yüksek sıcaklıklara ulaşması sebebiyle PFAS'ın mısıra geçişi yüksek boyuttadır.

Gıdaya geçişi (migrasyonu) etkileyen bir diğer faktör gıdanın yağ içeriğidir. Bir araştırmada yapıştırmaz tava, yağlı kâğıt, fast food ambalajı, elektrikli pirinç pişiricisi gibi 312 farklı gıda ile temas eden malzemede PFAS analizi yapılmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki PFAS tüm gıdalara eşit miktarda geçmemiş,

alkollü içecekler ve yağlı gıdalara olan migrasyon yüksek seviyelerde bulunmuştur (15). Ayrıca başka bir çalışmada asitli gıdalarda migrasyon seviyesinin daha fazla olduğu ortaya konulmuştur (16). Ancak şunu da belirtmek gerekir ki gıda ile temas eden bu malzemelerdeki PFAS varlığı ülkeye ve ülkenin koyduğu yasal düzenlemelere göre farklılık göstermektedir. Örneğin İspanya'da geri dönüştürülmüş karton, kâğıt, biyopolimer ve teflon kaplamalı ürünlerdeki PFAS geçişi Çin'e göre oldukça düşük seviyelerde bulunmuştur (17).

Plastiklerin olumsuz etkilerine alternatif ve doğa dostu olarak pazarlanan birçok tek kullanımlık kâğıt ürün PFAS içerebilir. Bu kimyasallar sıcak yemeklere veya çay-kahve gibi sıcak içeceklerle temas ettiğinde de gıdaya yüksek oranda geçebilir. Dolayısıyla doğa dostu, yeşil, sürdürülebilir, biyobozunur olarak pazarlanan tek kullanımlık kâğıt ambalajlar her zaman PFAS için garanti vermez. 2025 yılında FDA (Amerika Gıda ve İlaç Dairesi) PFAS'ın kâğıt veya lif bazlı gıda paketlerine eklenmesini yasaklamıştır. Ancak bazı PFAS'lar pişirme kapları ve gıda ambalajları için hâlâ onaylıdır.

Alternatif Gıda ile Temas Eden Malzemeler

Sürdürülebilirlik açısından uzun yıllardır lignin, kitozan, protein, selüloz, polilaktik asit gibi biyobozunur paketleme materyalleri üzerinde çalışılmaktadır. Ancak son yıllarda ortaya çıkan PFAS tehlikesi bu çalışmaları hızlandırmıştır. Biyobozunur ambalaj malzemelerinin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel dayanıklılık, bariyer özelliklerinin yetersizliği ve maliyetidir.

PFAS Bertarafı ve Su Arıtma

PFAS havadan bitkilerin dış yüzeyine çökelmeden çok topraktan su alımı ile bitki iç kısımlarında birikmektedir. Dolayısıyla çeşitli solüsyonlarla veya suyla yıkama PFAS kirliliğini bertaraf etmekte etkili olmaz. Diğer yandan çeşitli pişirme yöntemlerinin PFAS'ı azaltması konusu da henüz tartışmalıdır. Dolayısıyla soframıza gelen gıda için tüketici olarak alabileceğimiz pek bir önlem yok.

Elbette çevresel etkileri azaltmak için yasal düzenlemeler ile bu kimyasalların endüstriyel üretimden çıkarılması/kısıtlanması önemlidir. Ancak “sonsuz



kimyasallar" olarak adlandırılan bu maddelerin doğadaki mevcut durumunu yönetmek de insan sağlığı açısından son derece önemlidir. Endüstriyel katı atık yönetimi yanında yüzey sulardan kaynaklı çevresel PFAS döngüsünün kırılması için gelişmiş su arıtma sistemleri devreye sokulmalıdır. Adsorpsiyon, ters osmoz, iyon değişimi ve oksidasyon gibi su arıtma yöntemleri çeşitli PFAS bileşiklerini bertaraf etmede etkili olmuştur.

Ev tipi su arıtma cihazlarının etkinliği çeşitli araştırmalarda ortaya konulmuştur. Özellikle aktif karbon içeren filtreleme sistemlerinin yüzde 90'ın üzerinde PFAS kirliliğini azalttığı ve toz formundaki aktif karbonun granüler aktif karbon filtrelerden daha etkili olduğu ortaya konulmuştur. ABD'de yapılan bir çalışmada çeşitli şişelenmiş sularda farklı PFAS bileşikleri araştırılmış ve kaynak sularında arıtma sulara göre daha fazla PFAS bileşikleri tespit edilmiştir (18). Türkiye'de gıdalardaki PFAS kontaminasyonu birkaç çalışmayla sınırlı kalsa da 2019 yılında yapılan bir çalışmada 33 farklı ilden alınan su örneklerinde çeşme sularında şişe sulardan daha fazla PFAS tespit edilmiş ancak her iki suyun kabul edilebilir limitlerin altında PFAS barındırdığı ifade edilmiştir (19).

Dünyada ve Türkiye'de Yasal Düzenlemeler

EFSA belirli gıdalardaki maksimum izin verilen miktarlar hakkında limitler getirmiş ve gıdalardaki PFAS kirliliği için yapılan çeşitli araştırmalarda sonuçlar sınır değerlerin altında çıkmıştır. Günlük alım limitleri belirlenirken maruz kalma yolları bütünüyle analiz edilmeli ve PFAS analiz metodlarının güvenilir bir şekilde standardize edilmiş olması gerekmektedir. Ancak gıda zinciri yoluyla maruziyet dışında çeşitli su kaynaklarından, suyla hazırlanan gıdalardan, havadan, ev tozundan veya temas yoluyla da maruz kalma durumu bu limitlerin belirlenmesi çalışmalarına henüz dâhil edilmemiştir. Diğer yandan analiz yöntemlerinin standardize edilmesi ve bütünüyle bulaşının tespit edilebilmesinin ardından yeterli hayvansal deneylerin de yapılması ve uzun vadeli etkilerin tespiti önemlidir. Dolayısıyla günlük alım limitleri şu an için yalnızca referans değer niteliği taşımaktadır. Ayrıca 5.000'den fazla PFAS benzeri bileşik olmasına rağmen, üzerinde çalışma yapılan ve etkisi ortaya konulup kısıtlamalar getirilen PFAS bileşiklerinden yalnızca yedi tanesi küresel düzenlemelerde listelenmektedir. Dolayısıyla bu bileşiklerden yüzde 99'unun toksikoloji testleri yoktur. Farklı maruziyet

Bahçeden gelen, yerel ya da avcılıkla elde edilen gıdalar her zaman daha temiz değildir. Yapılan çalışmalar, kirli toprak ve sulara maruz kalan yerel üretimlerin ve av hayvanlarının, denetimli endüstriyel üretime kıyasla daha yüksek PFAS birikimi gösterebildiğini ortaya koyuyor. "Doğal" algısı, kimyasal kirlilik karşısında güvenli bir kalkan oluşturmuyor.

kaynakları olsa da riskin büyüklüğü net tanımlı değildir. Sonuç olarak potansiyel insan maruziyeti ve bu maruziyetin sağlık etkilerini daha iyi anlamak için tüm PFAS bileşiklerinin kümülatif etkilerini içeren kapsamlı bir risk değerlendirme çalışması gerekir.

Dünya genelinde mevcut PFAS verilerinin çoğu Avrupa Birliği (AB), ABD ve Çin gibi ülkelere aittir. Dolayısıyla dünya genelinde birçok bölge için çevresel ve gıda kirliliğinin tespitine yönelik bilgi eksikliği vardır. PFAS'ın gıdaya bulaşmasında en etkili yollardan biri olan gıda ambalajları, gıda işleme ve gıda ile temas eden malzemeler olduğundan bu malzemelerde PFAS kısıtlanmasına yönelik yasal düzenlemeler PFAS'la mücadele için oldukça önemlidir. Washington Eyalet Yönetimi 2022'de bilinçli olarak PFAS eklenen gıda ambalajlarının satışını yasaklamıştır (RCW 70A.222.070). Danimarka Çevre Bakanlığı ise 2020'den itibaren fast-food ve pişirme kâğıdı da dâhil olmak üzere gıda ambalajlarında PFAS kullanımına son vermiştir. Fransa'da mutfak ekipmanlarında teflon kullanımı uzun bir süredir yasak, ayrıca 2025 yılında musluk suyu kullanımı da yasaklanmış ve birçok endüstriyel üründe PFAS kullanımı sınırlandırılmıştır.

Türkiye'de PFAS üretimi, kullanımı ve bertarafına yönelik kapsamlı bir düzenleme henüz oluşmamış olsa da gıda mevzuatımız AB ile tam uyumludur. Bu sebeple 2023 yılında yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde ilk defa bu bileşiklerden bahsedilmiştir. Buna göre birçok hayvansal gıdada PFOS, PFOA, PFNA, PFHXS bileşikleri için ayrı ayrı ve toplam, limitler belirlenmiştir. Bu yönetmelik 31.12.2025 tarihinden itibaren geçerli olmuştur. Türk Gıda Kodeksi belirli gıdalardaki perfluoroalkil bileşenlerinin resmî kontrolü için numune alma ve analiz metodu kriterleri Tebliği'ni 21.10.2025 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlamıştır ve böylece denetim standartları netleşmiştir.

Gelecekte Nasıl Bir Yol İzlenmeli?

Çoğu gelişmiş ülkede PFAS bileşiklerinin kullanımı yasaklanmış veya kısıtlanmıştır. Ancak az gelişmiş ülkelerde henüz durum tespiti dahi yapılmamışken PFAS'a alternatif malzemelerin maliyetinin yüksek oluşu da PFAS maruziyetini artırmaktadır. Özellikle Uzak Doğu'dan ithal edilen piringlerin PFAS açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

PFAS ile mücadelede deniz ürünleri gibi en riskli gıdaların izlenmesi, kayıt altına alınması ve denizlerdeki kirliliğin ortaya konulması oldukça önemlidir. Şu an için yalnızca ABD ve AB ülkelerinde

içme suyu için yasal zorunluluklar mevcuttur. Küresel su standartlarının oluşturulması gerekir. Ters ozmoz gibi etkili su filtrasyon sistemlerinin özellikle tarımsal alanlarda sulama için ve gıda üretiminde kullanılması da maruziyeti azaltacak stratejilerdir.

Ülkemizde tarımsal ürünler, su ürünleri, hayvansal üretim tesisleri, yerel işletmeler, denizler, yer altı ve yüzey suları için kapsamlı bir PFAS kontaminasyon durum tespiti acilen yapılmalıdır. Türkiye'nin en yoğun nüfuslu ve sanayileşmenin en çok olduğu Marmara Bölgesi'nde 2024 yılında PFAS kirliliğini tespit etmek üzere bir çalışma yapılmıştır. Her ne kadar ülkemizde endüstrileşmenin en yoğun olduğu bölge olsa da gerek yüzey sularında gerekse balıklarda tespit edilen PFAS yoğunluğu Avrupa ülkeleri, Asya ve ABD'ye göre oldukça düşük çıkmıştır. Balık dokularındaki en yüksek PFAS yoğunluğu Küçükçekmece Gölü'nde avlanan turna balığında tespit edilirken, Eğirdir Gölü'nde analiz edilen balık dokularının yalnızca 1 tanesinde düşük miktarda PFAS tespit edilmiştir (20).

Ülkemizdeki durum Avrupa, Asya ve ABD'ye kıyasla daha iç açıcı gözükse de bu maddelerin kalıcı kirlilik yarattığı göz önünde bulundurularak izleme prosedürlerinin sürekliliği geniş bir sahaya yayılması önemlidir. Dolayısıyla Türkiye'de bu konuda yapılan bilimsel araştırmaların geniş bir yelpazede desteklenmesi gerekir. Ayrıca topraktan sofraya gıda güvenliğini sağlamaya yönelik kapsayıcı bir eylem planına ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

- 1) Ohoro, C. R., & Ngole-Jeme, V. M. (2025). PFAS contamination and its rising toll on food security: A hidden global threat. *Food Control*, 111611.
- 2) Schoeters, G., Boodts, S., Colles, A., et al. (2025). Per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in food and its contribution to human exposure. *Current Opinion in Food Science*, 101361.
- 3) Richterová, D., Govarts, E., Fábelová, L., et al. (2023). PFAS levels and determinants of variability in exposure in European teenagers—Results from the HBM4EU aligned studies (2014–2021). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 247, 114057.
- 4) Schoeters, G., Boodts, S., Colles, A., et al. (2025). Per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in food and its contribution to human exposure. *Current Opinion in Food Science*, 101361.
- 5) Hossini, H., Massahi, T., Parnoon, K., & Nouri, M. (2025). Per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in milk and dairy products: a literature review of the occurrence, contamination sources, and health risks. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 42(9), 1284-1296.

6) Donley, N., Cox, C., Bennett, K., et al. (2024). Forever pesticides: a growing source of PFAS contamination in the environment. *Environmental Health Perspectives*, 132(7), 075003.

7) Gellrich, V., Brunn, H., & Stahl, T. (2013). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in mineral water and tap water. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48(2), 129-135.

8) Affricano, A., Asteggiano, A., Di Bernardo, A., et al. (2025). Case study: Targeted HPLC-MS/MS analysis of TFA and other USC-PFAS in beverages and waters from Italy and Asia. *Food Control*, 111779.

9) Müller, V., Feldmann, J., Prieler, E., & Brodschneider, R. (2025). PFAS in the Buzz: Seasonal Biomonitoring with Honey bees (*Apis mellifera*) and Bee-collected Pollen. *Environmental Pollution*, 126750.

10) Richterová, D., Govarts, E., Fábelová, L., et al. (2023). PFAS levels and determinants of variability in exposure in European teenagers—Results from the HBM4EU aligned studies (2014–2021). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 247, 114057.

11) Lasters, R., Groffen, T., Eens, M., et al. (2022). Home-produced eggs: An important human exposure pathway of perfluoroalkylated substances (PFAS). *Chemosphere*, 308, 136283.

12) Figueroa-Muñoz, G., Murphy, C. A., Whittum, K., & Zydlewski, J. (2025). Cleaner cuts: Farmed fish and skin-off filets are lower in per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Science of The Total Environment*, 959, 178266.

13) Schrenk D, Bignami M, Bodin L, et al. (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA J* 2020, 18:e06223.

14) DTU National Food Institute (2023). Indhold af PFAS i fiskemel og via indhold i økologisk foder i økologiske æg. DTU Fødevareinstituttet.

15) Wang, X., Huang, X., Zhi, Y., et al. (2024). Leaching of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from food contact materials with implications for waste disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 479, 135658.

16) Choi, H., Bae, I. A., Choi, J. C., et al. (2018). Perfluorinated compounds in food simulants after migration from fluorocarbon resin-coated frying pans, baking utensils, and non-stick baking papers on the Korean market. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 11(4), 264-272.

17) Mohamed, A. M., Mohamed, S. A., Mostafa, M. M., & Hamza, E. S. M. (2019). Impact of household cooking on release of fluorinated compounds PFOA and PFOS from Tefal coated cookware to foods. *World J Adv Res Rev*, 3(2), 24-35.

18) Vera, P., Canellas, E., Dreolin, N., et al. (2024). The analysis of the migration of per and poly fluoroalkyl substances (PFAS) from food contact materials using ultrahigh performance liquid chromatography coupled to ion-mobility quadrupole time-of-flight mass spectrometry (UPLC-IMS-QTOF). *Talanta*, 266, 124999.

19) Chow, S. J., Ojeda, N., Jacangelo, J. G., & Schwab, K. J. (2021). Detection of ultrashort-chain and other per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in US bottled water. *Water research*, 201, 117292.

20) 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.

21) İkizoglu, B. (2024). PFOA and PFOS Pollution in Surface Waters and Surface Water Fish. *Water*, 16(16), 2342.