

Biyotada PFAS: Risk Bağlamı ve Güçlü Analitik Çözümler

Biyota (tüm canlı organizmalar) analizinin çevresel kirliliğin bir göstergesi olarak kullanılması, biyomonitoring veya biyoindikatörlük olarak bilinen temel bir uygulamadır. Bu yaklaşım, canlı organizmaların (biyoindikatörlerin) çevresel kirliliğe verdiği tepkilerin incelenmesi yoluyla çevre kalitesini (hava, su, toprak) değerlendirmeyi amaçlar. PFAS'ın kalıcılığı ve biyobirikim potansiyeli nedeniyle, balıklar ve kabuklu deniz canlıları bu uygulamada kritik öneme sahiptir. Bu canlılar, dokularındaki konsantrasyonlar aracılığıyla çevredeki PFAS kirliliği seviyesini yansıtan biyobirikim göstergeleri olarak görev yapar.



Şekil 1: Görsel Form

Mevcut ve Gelecekteki AB Mevzuatı

AB'nin biyotadaki PFAS'a yönelik düzenleyici yaklaşımı giderek daha sıkı hale gelmektedir.

2013/39/AB Direktifi kapsamında yalnızca PFOS, sucul ortam için öncelikli madde olarak listelenmiş olup, biyota (balık) için Çevresel Kalite Standardı (EQS) 9,1 µg/kg yaş ağırlık olarak belirlenmiştir.

Bununla birlikte, gıda güvenliği standartları önemli ölçüde sıkılaştırılmıştır. 2023 yılından itibaren (AB) 2023/915 sayılı Tüzük, çeşitli gıdalarda dört PFAS'ın (PFOA, PFOS, PFNA ve PFHxS) toplamı için maksimum seviyeler belirlemiştir. Balık eti için varsayılan maksimum seviye genel olarak 2,0 µg/kg yaş ağırlık olarak belirlenmiş olsa da, düzenleme biyobirikim ve çevresel maruziyette türler arası önemli farklılıkları dikkate almaktadır.

Kontaminasyon limitleri türlere göre kademelendirilmiştir. Örneğin Atlantik somonu için sınır 5,0 µg/kg iken, beyaz balık veya burbot gibi bazı türlerde bu değer 45 µg/kg'a kadar çıkabilmektedir. Bu farklılıklar habitat ve besin zincirindeki konum farklılıklarını yansıtır.

İleriye bakıldığında AB, çevresel korumada grup bazlı bir yaklaşıma yönelmektedir. Su Çerçeve Direktifi'ne önerilen bir değişiklik, PFAS'ın bir grup olarak izlenmesini öngörmektedir. Bu değişim, EFSA'nın bu "kalıcı kimyasalların" biyobirikimi ve birleşik toksisitesi hakkındaki güncel bilimsel bulgularını yansıtmaktadır. Böylece tek tek maddelerin düzenlenmesinden tüm kimyasal sınıfın yönetimine geçiş hedeflenmektedir.

PFAS Biyotayı Nasıl Kontamine Eder

Su ve Toprak Kirliliği:

PFAS; endüstriyel tesisler, düzenli depolama sahaları ve yangın söndürme köpükleri gibi çeşitli kaynaklardan çevreye salınır. Kısa zincirli PFAS yüzey ve yeraltı sularında oldukça hareketlidir ve kalıcıdır; uzun zincirli PFAS ise organik maddeye bağlanarak sedimanlarda birikme eğilimindedir.

Sucul Besin Zincirinde Biyobirikim:

Balıklar ve kabuklu deniz canlıları gibi sucul organizmalar PFAS'ı sudan ve kontamine besinlerden absorbe ederek dokularında biriktirir. Bu birikim özellikle uzun zincirli PFAS'lar için besin zinciri boyunca artabilir (biyobüyütme).

Karasal Hayvanların Kontaminasyonu:

Etkilenmiş bölgelerde hayvanlar içme suyu, yem, toprak veya toz yoluyla maruz kalır. PFAS proteinlere bağlanır ve çoğunlukla kan ve karaciğerde birikir. Süt ve yumurta gibi hayvansal ürünlere geçiş mümkün olabilir.

Bitkisel Kontaminasyon:

Kontamine toprakta yetiştirilen veya kirliliği suyla sulanan bitkiler PFAS'ı absorbe edebilir. Alım oranları değişkenlik gösterir; kısa zincirli PFAS genellikle kökler tarafından daha kolay alınır ve böylece karasal besin zincirine giriş yapar

▶ [Continues on the next page](#)
(How PFAS Contaminate Biota)

Ek Maruziyet Yolları ve Hususlar:

PFAS öncül bileşikleri zamanla PFOS ve PFOA gibi kalıcı perfloroalkil asitlere dönüşebilir ve biyotadaki toplam yükü artırabilir. Sedimanlar ve bentik organizmalar sucul sistemlerde önemli maruziyet yollarıdır. Atmosferik taşınım ve çökeltme toprak ve su kirliliğine katkıda bulunur. Ayrıca arıtma çamurlarının tarım alanlarına uygulanması ve kontamine sulama suyu kullanımı da PFAS'ın tarımsal sistemlere girişine neden olabilir.

Biyotaya Etkileri

Zaman İçinde Birikim:

Kimyasal kararlılıkları ve yavaş eliminasyonları nedeniyle birçok uzun zincirli PFAS organizmalarda kalıcıdır ve zamanla konsantrasyonları artabilir. Proteinlere bağlanarak özellikle kan, karaciğer ve yumurtalarda birikir. Üst trofik seviyelerde biyobüyütme görülebilir.

Olası Sağlık Etkileri:

Yaban hayatında PFAS maruziyeti; bağışıklık sisteminin baskılanması, endokrin ve tiroid sistemi bozuklukları, lipid metabolizmasında değişiklikler ve karaciğer toksisitesi ile gelişimsel ve üreme üzerindeki etkilerle (örneğin, yumurtadan çıkma başarısının azalması) ilişkilendirilmektedir. Kanser açısından ise Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), PFOA'yı insanlar için kanserojen (Grup 1), PFOS'u ise insanlar için olası kanserojen (Grup 2B) olarak sınıflandırmaktadır.

Anne-Yavru Transferi ve Yaşam Evresi Hassasiyeti:

PFAS, yumurta ve süt yoluyla ebeveynden yavruya aktarılabilir; bu nedenle erken yaşam evreleri özellikle hassastır.

İzleme ve Biyobüyütme Desenleri

AB genelindeki yabani balıklar ve omurgasızlarda PFOS ve PFCA'ları içeren ölçülebilir PFAS yükleri (yaş ağırlık bazında onlarca ile düşük yüzlerce µg/kg arasında) tespit edilmiştir. Denizel üst düzey yırtıcı türlerde PFOS seviyeleri sıklıkla biyota EQS değerlerinin üzerindedir. Biyobüyütme bileşiğe bağlı olarak değişmekle birlikte birçok uzun zincirli PFAS biyobirikim göstermektedir.

Analitik Yöntemler

ALS Laboratuvarları, çevresel kontaminasyonun kritik göstergeleri olan biyotadaki PFAS tayini için ISO/IEC 17025 akreditasyonlu LC-MS/MS yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem balık ve diğer deniz ürünleri (çift kabuklular, kabuklular, kafadanbacaklılar), et, yumurta, süt ve çeşitli bitki dokuları dahil geniş bir matris aralığında doğrulanmıştır.



Numune Lojistiği ve Taşıma:

Analit bütünlüğünü korumak ve biyolojik bozunmayı önlemek için sıkı taşıma protokolleri uygulanır. Numuneler gece teslimli kargo ile gönderilmelidir. Donmuş gönderimlerde numunelerin taşıma boyunca donmuş kalması sağlanmalıdır.



Numune Miktarı:

Laboratuvar minimum 10 g numune işleyebilse de temsiliyet açısından 50 g gönderilmesi önerilir. Stabil ve homojen bir test kısmı elde etmek için numuneler liyofilizasyon (dondurarak kurutma) işleminden geçirilir ve ardından homojenize edilir. Bu işlem matrisi stabilize eder ve analitleri konsantre ederek eser seviyede tespiti mümkün kılar.



Ekstraksiyon ve Analiz:

Analitik iş akışında yüksek geri kazanım sağlamak amacıyla modifiye QuEChERS ekstraksiyonu uygulanır, ardından matris girişimlerini gidermek için katı faz ekstraksiyonu (SPE) temizleme adımı yapılır. Nihai ayırma ve tespit ileri seviye UHPLC-MS/MS cihazlarında gerçekleştirilir.



Kantifikasyon:

Her bir PFAS konsantrasyonu iç standart kalibrasyonu ile belirlenir. Yanıt oranları, doğal analitler ile izotopik işaretli iç standartların konsantrasyon oranlarıyla ilişkilendirilerek matris etkileri düzeltilir ve yüksek doğruluk ile hassasiyet sağlanır.

► [Diğer sayfadan devam edin.](#)
(List of Target PFAS)

References

- [LINK](#) Teunen et al.: PFAS accumulation in indigenous and translocated aquatic organisms from Belgium, with translation to human and ecological health risk. *Environ Sci Eur* (2021) 33:39
- [LINK](#) Byns et al.: Bioaccumulation and trophic transfer of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in marine biota from the Belgian North Sea: Distribution and human health risk implications. *Environmental Pollution* 311 (2022) 119907
- [LINK](#) Gkika et al.: Strong bioaccumulation of a wide variety of PFAS in a contaminated terrestrial and aquatic ecosystem. *Environment International* 202 (2025) 109629



Summary of All

Ask the

SCAN OR CLICK



Hedef PFAS Listesi

LOQ: Kalibrasyon Limiti (µg/kg)



right solutions.
right partner.

Parameter	Abbreviation	LOQ (µg/kg)
Perfluoroalkyl Carboxylic Acids		
Perfluorobutanoic acid	PFBA	1
Perfluoropentanoic acid	PFPeA	0.1
Perfluorohexanoic acid	PFHxA	0.1
Perfluoroheptanoic acid	PFHpA	0.1
Perfluorooctanoic acid	PFOA	0.1
Perfluorononanoic acid	PFNA	0.1
Perfluorodecanoic acid	PFDA	0.1
Perfluoroundecanoic acid	PFUnDA	0.1
Perfluorododecanoic acid	PFDoDA	0.1
Perfluorotridecanoic acid	PFTTrDA	0.1
Perfluorotetradecanoic acid	PFTeDA	0.1
Perfluorohexadecanoic acid	PFHxDA	0.1
Perfluoroalkane Sulfonic Acids		
Perfluorobutane sulfonic acid	PFBS	0.1
Perfluoropentane sulfonic acid	PFPeS	0.1
Perfluorohexane sulfonic acid	PFHxS	0.1
Perfluoroheptane sulfonic acid	PFHpS	0.1
Perfluorooctane sulfonic acid	PFOS	0.1
Perfluorononane sulfonic acid	PFNS	0.1
Perfluorodecane sulfonic acid	PFDS	0.1
Perfluoroundecane sulfonic acid	PFUnDS	0.1
Perfluorododecane sulfonic acid	PFDoDS	0.1
Perfluorotridecane sulfonic acid	PFTTrDS	0.1
Perfluoroalkyl Sulfonamides		
Perfluorooctane sulfonamide	PFOSA	0.1
Fluorotelomer Sulfonic Acids		
4:2 Fluorotelomer sulfonic acid	4:2 FTS	0.1
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid	6:2 FTS	0.1
8:2 Fluorotelomer sulfonic acid	8:2 FTS	0.1
Other PFAS		
2,3,3,3-Tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propanoic acid	HFPO-DA (GenX)	0.1
7H-Perfluoroheptanoic acid	HPFHpA	0.1
Perfluoro-3,7-dimethyloctanoic acid	P37DMOA	0.1