

**ARITMA ÇAMURLARINDA
MİKROKİRLETİCİLER
VE
TARIMSAL KULLANIMI**

**MICROPOLLUTANTS IN SEWERAGE SLUDGE AND THEIR
AGRICULTURAL USE**

Mehmet Emin AYDIN
Senar AYDIN

ARITMA ÇAMURLARINDA MİKROKİRLETİCİLER VE TARIMSAL KULLANIMI

Mehmet Emin AYDIN
Necmettin Erbakan Üniversitesi

Senar AYDIN
Necmettin Erbakan Üniversitesi

Özet

Arıtma çamuru atıksu arıtımının bir yan ürünü olarak ortaya çıkmakta olup, artan su tüketimi ve oluşan atıksu debisine bağlı olarak miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde arıtma çamurlarının toprakta kullanımı ile ilgili yönetmelik kapsamında stabilize arıtma çamurunda ağır metaller ve bazı organik bileşikler için sınır değerler belirlenmiştir. Ancak yönetmelik kapsamında değerlendirilmeyen farmasötikler gibi daha birçok mikrokirletici de çamurda yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Konvansiyonel atıksu ve çamur arıtma prosesleri mikrokirleticilerin giderimi için yetersiz olup, stabilize arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile kirleticiler çevresel ortamlara taşınmaktadır. Çalışma kapsamında Konya kentsel atıksu arıtma tesisinde anaerobik olarak stabilize edilen arıtma çamurunun ağır metal, poliaromatik hidrokarbon (PAH), poliklorlu bifenil (PCB), farmasötik kirletici içeriği belirlenmiş ve ayrıca stabilize çamurun ekotoksikolojik etkisi değerlendirilmiştir. Stabilize çamurda ağır metal ve PCB değerlerinin yönetmelikte verilen limit değerlerin altında olduğu, PAH bileşiklerinin ise özellikle evsel ısınma dönemlerinde yönetmelik limitlerini aştığı tespit edilmiştir. Ekotoksikolojik değerlendirmelerde ise stabilize çamurun akut toksik özelliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Stabilize çamurun toprağa uygulanması sonucu bazı antibiyotik bileşikleri için yüksek kısa kronik risk tespit edilmiştir. Bu nedenle özellikle geri kazanılmış sular ve arıtma çamurlarındaki kirleticileri azaltmak için kanalizasyon sistemi etkin bir şekilde izlenmeli ve denetlenmelidir. Çamur içerisindeki mikrokirleticilerin çevreye ulaşmasını önlemek için bu kirleticiler stabilize çamurda izlenmeli ve arıtma prosesleri iyileştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler

Atıksu, Arıtma çamuru, Mikrokirleticiler, Ağır metaller, PAH'lar, PCB'ler, Tarımsal kullanım

MICROPOLLUTANTS IN SEWERAGE SLUDGE AND THEIR AGRICULTURAL USE

Mehmet Emin AYDIN
Necmettin Erbakan University

Senar AYDIN
Necmettin Erbakan University

Abstract

Sewage sludge is a by-product of wastewater treatment, and its amount is increasing day by day depending on the increasing water consumption and the amount of wastewater generated. In our country, within the scope of the regulation on the use of sewage sludge in soil, limit values for heavy metals and some organic compounds in stabilized sewage sludge have been determined. However, many other micropollutants such as pharmaceuticals that are not considered within the scope of the regulation are also present in high concentrations in sludge. Conventional wastewater and sludge treatment processes are insufficient for the removal of micropollutants, and the agricultural use of stabilized sludge causes the transport of pollutants to environments. Within the scope of the study, heavy metals, PAHs, PCBs, pharmaceutical pollutants content of anaerobically stabilized sludge in Konya urban wastewater treatment plant were determined and also the ecotoxicological effect of stabilized sludge was evaluated. It has been determined that heavy metal and PCB values in stabilized sludge are below the limit values given in the regulation, and PAH compounds exceed the regulation limits especially during domestic heating periods. In ecotoxicological evaluations, it was observed that stabilized sludge has acute toxic properties. As a result of the application of stabilized sludge to soil, a high short chronic risk has been determined for some antibiotic compounds. Therefore, the sewage system should be effectively monitored and controlled to reduce pollutants, especially in recycled water and treatment sludge. It is necessary to monitor of sewage sludge and improve treatment processes to prevent micropollutants from sludge reaching to the environment.

Keywords

Wastewater, Sewage sludge, Micropollutants, Heavy metals, PAH's, PCB's, Agricultural use

1. Giriş

Endüstriyel, tarımsal ve insan aktivitelerinin gelişmesiyle birlikte, su kirliliği tüm dünyada insanların karşı karşıya olduğu ortak bir sorun haline gelmiştir. Sanayileşmenin hızlı gelişimi, tarımsal faaliyetlerde pestisit ve gübre kullanımının artması, farmasötikler, kozmetikler, biyomedikal ürünleri, kişisel bakım ürünleri, boyalar gibi toksik organik kimyasalların aşırı kullanımı nedeniyle bu kirleticiler, biyolojik birikim, antibiyotik direnci ve çeşitli ekotoksikolojik etkiler yoluyla insan sağlığı ve ekosistemler için büyük risk oluşturmaktadır (Li vd., 2021). Özellikle, kimyasal, biyolojik ve fotolitik bozunmaya karşı dirençli kalıcı organik kirleticilerin kullanımındaki artış su yaşamının kalitesini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu kirleticiler yüksek biyobirikim kapasitesine sahip olup, hava, toprak ve su yoluyla uzun mesafelere taşınabilen toksik bileşiklerdir. Yüksek lipofilik özelliğe sahip olan bu bileşikler canlı organizmaların yağ dokusunda biyobirikim yapabilmektedir. Bu nedenle besin zincirinde artma eğilimi göstererek akut ve kronik etkilere neden olabilirler. Başta immünolojik sistemin zayıflığı, üreme, endokrin ve hormonal bozulma, kanser, diyabet ve obezite olmak üzere insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkiye sebep olabilirler (Titchou vd., 2021). Su kirliliğinin ana kaynağı çoğunlukla arıtılmamış veya kısmen arıtılmış evsel ve endüstriyel atıksulardır. Atıksularda bulunan kirleticilerin pek çoğu çevrede kalıcıdır ve konvansiyonel atıksu arıtma proseslerine karşı dirençlidirler (Ye vd., 2021). Bu nedenle, içme sularında insan ve hayvan sağlığını tehdit eden birçok kirlenici tespit edilmiştir (Walcarius & Mercier, 2010).

Son zamanlarda, atıksulardaki kirleticileri gidermek için fiziko-kimyasal arıtma (membran biyoreaktörler, koagülasyon-flokülasyon-çöktürme), kimyasal arıtma (kimyasal indirgeme, ileri oksidasyon prosesleri, fotokatalitik bozunma), biyoremediasyon (aktif çamur prosesi, biyolojik oksidasyon) veya hibrit prosesler gibi sistemler kullanılmaktadır (Li vd., 2021). Biyolojik arıtım yöntemi ucuz ve çevre dostu bir yöntem olarak atıksuların arıtımı için yaygın olarak uygulanmasına rağmen, mikroorganizmaların kirleniciyi parçalaması için uzun kalma süresi gerektirir. Biyokütle zehirlenmesinden kaynaklanan toksik kirlenicilerin arıtımı için uygun değildir ve bazı kirleniciler için düşük uzaklaştırma verimliliğine sahiptir (Luan vd., 2017). Fiziko-kimyasal arıtma prosesleri kolay kullanım, yüksek arıtma verimliliği ve düşük maliyet avantajlarına sahip olmakla birlikte organik kirleniciler için düşük bozunma kabiliyetine sahiptir. Kimyasal arıtma, organik kirlenicileri daha az toksik ve/veya daha fazla biyolojik olarak parçalanabilir ürünlere dönüştürebilir, ancak genellikle ikincil kirliliğe neden olma riski vardır (Xie vd., 2018).

Atıksu arıtma tesislerine ulaşan kimyasal kirlenicilerin akıbeti kirlenicinin doğasına ve arıtma süreçlerine bağlıdır. Organik kimyasallar buharlaşabilir, biyotik ve/veya abiyotik prosesler ile parçalanabilir, çamura adsorbe olabilir veya atıksular ile deşarj edilebilir. Arıtma çamurları, atıksulardan sonra kirlenicilerin çevreye yayılmasında en önemli kaynaktır. Arıtma çamurunun en yaygın bertaraf yöntemi tarımsal uygulamadır. Bu yöntem çamur bertarafı için en ekonomik yol ve aynı zamanda bitki besinlerini ve organik maddeleri toprağa geri dönüştürme fırsatı sunmaktadır. Günümüzde Avrupa'da üretilen arıtma çamurunun yaklaşık %40'ı tarımda gübre

olarak kullanılmaktadır. Genel olarak Avrupa Birliği yeniden kullanılan çamurun kalitesinin halk sağlığı ve çevre koruma gereklilikleriyle uyumlu olması koşuluyla, uzun vadeli bir çözüm sunduğundan, çamurun yeniden kullanımının teşvik edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Ancak son yıllarda arıtma çamurunda ağır metallerin, organik kirleticilerin ve patojenik bakterilerin tespitiyle birlikte endişe artmıştır. Tarımda arıtma çamurunun uygulanması toprakta ağır metallerin birikmesine yol açmasa da büyük miktarlarda organik kirleticiler bir risk oluşturabilir (Zuloaga vd., 2012; Wild, Berrow & Jones, 1991).

2. Arıtma Çamuru ve Bertaraf Yöntemleri

Arıtma çamuru endüstriyel veya evsel atıksuların arıtma tesislerinde arıtımı sırasında yan ürün olarak üretilen artık, yarı katı malzeme olarak tanımlanabilir. Arıtma tesisinde atıksu arıtım sürecinde farklı özelliklerde çamurlar oluşmaktadır. Tipik olarak oluşan arıtma çamurları ham çamur, ön çökeltim çamuru, son çökeltim çamuru, karışık çamur, yoğunlaştırılmış çamur, stabilize edilmiş çamur, susuzlaştırılmış çamur ve kurutulmuş çamurdur (Bresters vd., 1997). Tablo 1’de çeşitli arıtma proseslerinde ortaya çıkan günlük kişi başı çamur miktarı ve %organik madde değerleri verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 2013). Ham çamurlar su içeriği fazla kötü kokulu çamurlardır. Ön çökeltim çamurları kendi ağırlığı ile çökelebilen organik ve inorganik karışımdan oluşur. Son çökeltim çamurları biyolojik arıtmadan sonra son çökeltim tankından atılan çamurlardır. Karışık çamurlar, ön ve son çökeltim çamurlarının karıştırılmasıyla oluşur. Susuzlaştırma ve yoğunlaştırma işlemlerinden sonra konsantre çamurlar oluşur. Stabilize çamurlar, anaerobik veya aerobik çürütme işlemlerinden sonra oluşur. Susuzlaştırma işleminden sonra kurutulmuş çamurlar üretilir.

Tablo 1. Çeşitli Arıtma Proseslerinde Oluşan Çamur Miktarları

Kişi/gün	g AKM	%organik
Ön çökeltim çamuru	40-50	70
Aktif çamur	25-30	75
Oksidasyon hendeği	40-60	60
Damlatmalı filtre	13-20	60-65
Fosfat çamuru	10-20	10
Stabilize çamur	55	50

Günümüzde tüm dünyada üretilen arıtma çamuru miktarının artması sebebiyle stabilize artıma çamurlarının uygun şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Arıtma çamurlarının arıtılması için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin temel amacı arıtma çamurunun hacminin azaltılmasıyla birlikte içeriğindeki toksik bileşiklerin uzaklaştırılması ve hijyenik özelliğin kazandırılmasıdır.

Konvansiyonel çamur arıtım prosesi ön ve son çökeltim çamurlarının yoğunlaştırılması, stabilize edilmesi ve susuzlaştırılması proseslerinden oluşmaktadır. Yoğunlaştırma işleminin amacı çamur yoğunluğunun artırılarak hacmin azaltılmasıdır. Ön çökeltim çamurunun yerçekimi ile yoğunlaştırılması ile yaklaşık %4-6 oranında kuru madde elde edilebilir. Flotasyon ile yoğunlaştırma genellikle aktif çamur için kullanılır. Stabilizasyon, çamurun bertaraf edilmesi ve tekrar kullanılabilir hale getirilmesi için uygulanan süreçtir. Çamur stabilizasyonu çürütme, kireç stabilizasyonu ve ısı/termal arıtma ile sağlanabilir. Anaerobik çürütme işlemi, biyokimyasal olarak stabilize edilmiş arıtma çamuru elde edilmesi ve yüksek kalorili biyogaz üretimi sağlandığından tercih edilen bir yöntemdir. Bu işlem kokuları azaltır, patojenleri ortadan kaldırır, toksinleri giderir ve çamur su içeriğini azaltır. Susuzlaştırma çamur konsantrasyonunu artırmaktır. Susuzlaştırma çamur kurutma yatakları, filtre ve bant presler ve santrifüjler ile gerçekleştirilebilir. Mekanik susuzlaştırma çamurun katı madde miktarını ağırlıkça %20-45'e kadar çıkarır. Susuzlaştırma sürecini kolaylaştırmak için çamur fiziksel ve kimyasal teknikler ile şartlandırılabilir. Kimyasal işlemlerde organik polimerler veya inorganik bileşikler kullanılırken, fiziksel yöntemler ısı işlem veya donma-çözülme işlemleri olabilir (Lundin vd., 2004).

Çiftçiler arıtılmamış olsa bile çamuru ve atıksuyu toprak için değerli bir besin kaynağı olarak görmekte-dirler. Sınırlı gübre ve su kaynaklarının bulunması sebebiyle düşük gelirli ülkelerde arıtılmamış atıksuların ve arıtma çamurlarının tarımsal faaliyetlerde gayri resmi olarak kullanımı söz konusudur. Yüksek gelirli ülkelerde ise arıtılmış atıksu ve çamur kontrollü şekilde kullanılmaktadır. Avrupa'da, arıtma çamurunun düzenli depolanması yasaklanmıştır ve bu birçok Avrupa Birliği üyesi ülkede uygulanmaktadır. Böylece, değerli ürünler elde etmek için arıtma çamurunun işlenmesi daha popüler hale gelmektedir. Tarımda biyokatıların yasal kullanımı, gelişmiş ülkelerde sıkı bir mevzuatla düzenlenmiştir. Bununla birlikte, birçok gelişmiş ülkede, potansiyel toksisite nedeniyle biyokatıların tarımsal kullanımına yönelik artan bir önyargı söz konusudur. Avrupa Birliği ülkelerinde arıtma çamurunun %37'si tarımda, %12'si ise ormancılıkta veya arazi ıslahında kullanılarak, %11'i yakılarak, %40'ı ise düzenli depolanarak bertaraf edilmektedir (Fytli ve Zabaniotou, 2008).

Stabilize arıtma çamurunun tarımsal alanlarda kullanılabilirliği içeriğindeki organik madde, azot, fosfor, potasyum gibi faydalı elementler ve ayrıca içeriğindeki kirleticilere bağlıdır (Smol vd., 2015). Çamurun potasyum içeriği %0.23 ile %0.68 kuru madde arasında değişmektedir. Arıtma çamurunun gübre değerleri organik gübre ile karşılaştırıldığında, azot ve fosfor içeriği bakımından benzer özellikler göstermektedir. Stabilize arıtma çamurlarının toprağa uygulanması sonucunda toprağın fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin geliştiği, bitki gelişiminin iyileştiği ve çinko, bor gibi elementler açısından toprağın zenginleştiği görülmüştür. Stabilize çamur uygulamaları toprağın organik madde içeriğinin dolayısıyla toprak su tutma kapasitesinin artmasını sağlar. Bununla birlikte, evsel atıksu çamuru, çamur arıtımında giderilmemiş, tarımsal açıdan istenmeyen organik ve inorganik kirletici maddeler içerebilir. Arıtma çamurunun potansiyel toksisitesine ksenobiyotikler, antibiyotikler ve ağır metaller

neden olabilir. Çamur içeriğindeki bu kirleticiler ekosistem ve insan sağlığı için büyük bir risk oluşturabilir. Bu nedenle, arıtma çamurunun tarımsal topraklarda gübre olarak yeniden kullanımı ekosistem ve insan sağlığı açısından sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmelidir (Rorat vd., 2017; Bodarczuk vd., 2016; Placek, Grobelak & Kacprzak, 2016).

3. Ülkemizde Atıksu Arıtımı ve Çamur Bertarafı

Ülkemizde 1068 atıksu arıtma tesisi vardır, bunların 60'ı fiziksel arıtma, 593'ü biyolojik arıtma, 223'ü ileri arıtma, 192'si ise doğal arıtma yapmaktadır. Tablo 2'de ülkemizde çamur bertaraf yöntemleri verilmiştir. Arıtma çamuru bertaraf yöntemlerine bakıldığında tarımsal veya ekolojik iyileştirme amacıyla araziye verilen çamur miktarının 3506 ton kuru madde ile toplam bertaraf edilen çamurun %1,1'ini oluşturmaktadır (TÜİK, 2021).

Tablo 2. Ülkemizde Çamur Bertaraf Yöntemleri (TÜİK, 2021)

Arıtma çamuru	Ton kuru madde	%
Lisanslı tesislere gönderilen	115 229	36,7
Düzenli depolama sahalarına gönderilen	75 571	24,0
Belediye çöplüğüne gönderilen	38 971	12,4
Yakma tesislerine gönderilen	20 553	6,5
Araziye atılan	14 400	4,6
Tarımsal veya ekolojik iyileştirme amacıyla araziye verilen	3 506	1,1
Geçici depolama	28 905	9,2
Diğer	17 131	5,5
Toplam	314 325	100

TÜİK verilerine göre belediye atıksu arıtma çamuru miktarı 2020 yılında 314.325 ton kuru maddedir. Atıksu arıtma tesislerinde günlük kişi başı 35 g katı madde olduğu kabul edilirse, 2025 yılında oluşacak toplam çamur miktarının 847.326 ton kuru madde, 2040 yılında ise 911.069 ton kuru madde olacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde arıtma çamurlarının toprakta kullanımı “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ile düzenlenmiştir (2010). Yönetmeliğe göre ülkemizde ham çamurun toprakta kullanılması yasaktır. Stabilize arıtma çamurunun kullanımı ile ilgili ise bazı sınırlamalar ve yasaklar belirlenmiş olup bunlara uyulması zorunludur. Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi ağır metaller, organik bileşikler ve dioksinler için çamurda verilen sınır değerlere ve mikrobiyolojik analiz değerlerine uygun olmalıdır. Stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta ağır metal içeriği yönetmelikte verilen değerleri aşmamalıdır. Toprağa uygulanacak

çamur miktarı yer üstü/yer altı suları ve toprak kalitesinin bozulmaması ve bitkilerin besin maddesi gereksinimleri dikkate alınarak tespit edilir. Stabilize çamurun, pH değeri 6'dan küçük toprağa, meyve ağaçları hariç toprağa temas eden ve çiğ olarak yenilen meyve ve sebze yetiştiriciliğinde, sulak alanlara, taşkın alanlarına ve taşkın tehlikesi olan alanlara, don ve karla kaplı alanlara, sature toprağa, doğal ormanlara, organik madde içeriği %5'den fazla olan topraklara uygulanması yasaktır. Hayvan otlatma ya da hayvan yemlerinin hasadı yapılacak alanlarda stabilize çamurun kullanılması durumunda coğrafi ve iklim durumları dikkate alınarak kullanımdan en az dört hafta sonra hayvan otlatılabilir ya da hayvan yemlerinin hasadı yapılabilir. İçme ve kullanma suyu temin edilen kıta içi yüzeysel su kaynaklarının havzalarında, içme ve kullanma suyu temin edilen yer altı sularının besleme havzalarında ve mutlak, kısa, orta mesafeli koruma alanlarında ve diğer yüzey sularına 300 metreden yakın olan alanlarda stabilize arıtma çamurunun uygulanması yasaktır. Yüzey akış tehlikesi olan alanlarda toprak muhafaza tedbirleri alınmadan stabilize çamurun uygulanması yasaktır. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarı yönetmelikte verilen limit değerleri aşamaz. Organik madde içeriği %40'dan az olan stabilize arıtma çamurları toprağa uygulanamaz.

Tablo 3'de stabilize arıtma çamuru uygulanacak toprakta ağır metal sınır değerleri verilmiştir. Toprak pH'sının 6 ile 7 arasında olma ve 7'den büyük olma durumları için kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, çinko ve cıva metalleri için limit değerler verilmiştir. Tablo 4'de ise stabilize arıtma çamurunda müsaade edilen maksimum ağır metal değerleri görülmektedir.

Tablo 3. Toprakta Ağır Metal Sınır Değerleri*

Ağır metal (toplam)	$6 \leq \text{pH} < 7$ (mg/kg fırın kuru toprak)	$\text{pH} \geq 7$ (mg/kg fırın kuru toprak)
Kurşun	70	100
Kadmiyum	1,0	1,5
Krom	60	100
Bakır	50	100
Nikel	50	70
Çinko	150	200
Cıva	0,5	1,0

*Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

Çamurun tarımsal kullanımı çoğunlukla metal içeriğiyle ilgili olmak üzere sınırlandırılmış, ancak toprak, su ve hava kaynaklarının korunmasını dikkate alarak organik kirleticiler ile ilgili çamur direktiflerine bazı bileşikler ilave edilmiştir. Tablo 5’de toprağa uygulanacak arıtma çamurunda AOX (Adsorblanabilen organik halojenler), LAS (Lineeralkilbenzin sülfonat), DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl)), NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir), PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı), PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı) ve PCDD/F Poliklorlu dibenzodioxin/dibenzofuranlar için verilen sınır değerler verilmiştir. Mikrobiyolojik açıdan arıtma çamuruna uygulanan stabilizasyon yöntemi sonucunda *E. coli*’nin en az 2 Log10 (%99) indirgenmesi sağlanmalıdır.

Tablo 4. Stabilize Arıtma Çamurunda Müsaade Edilen Maksimum Ağır Metal Değerleri*

Ağır metal (toplam)	Sınır değer (mg/kg kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Cıva	10

*Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

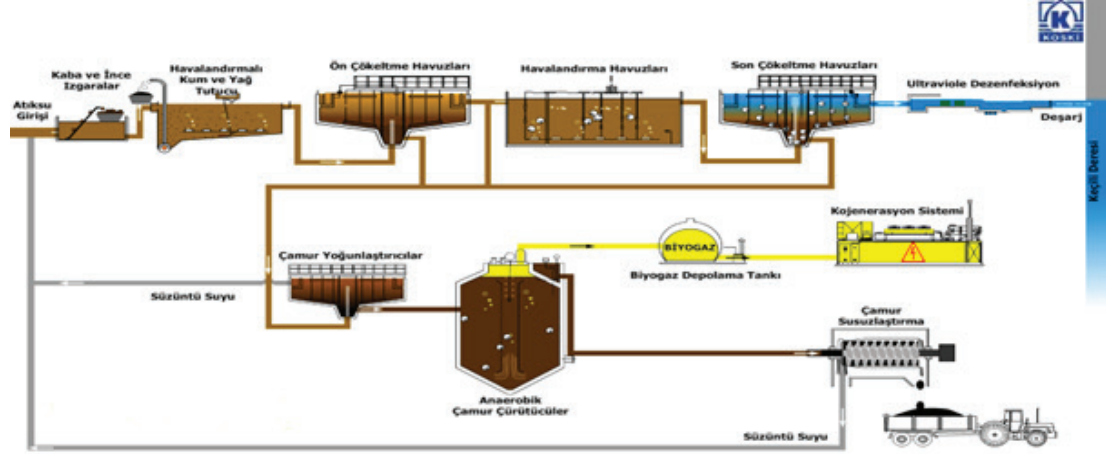
Tablo 5. Stabilize Arıtma Çamurunda Organik Bileşikler Ve Dioksinler İçin Sınır Değerleri*

Organik bileşikler	Sınır değer (mg/kg kuru madde)
AOX (Adsorblanabilen organik halojenler)	500
LAS (Lineeralkilbenzin sülfonat)	2 600
DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl))	100
NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir)	50
PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı)	6
PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı)	0,8
Dioksinler	ng Toksik Eşdeğer/kg kuru madde
PCDD/F Poliklorlu dibenzodioxin/dibenzofuranlar	100

*Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

4. Konya Atıksu Arıtma Tesisi

Konya atıksu arıtma tesisinin toplam kapasitesi 1.600.000 nüfus eşdeğeridir. Ortalama atıksu debisi yaklaşık 200.000 m³/gün'dür. Arıtma tesisi yaklaşık 1,3 milyon kişiye hizmet vermektedir. Birleşik kanalizasyon sistemi ile toplanan evsel atıksu, endüstriyel atıksu (toplam atıksu debisinin yaklaşık %8'i) ve hastane atıksuları (toplam atıksu debisinin yaklaşık %3,5'i) atıksu arıtma tesisine iletilmektedir. Atıksu arıtma tesisi için atık su ve çamur arıtma akış şeması Şekil 1'de verilmiştir (KOSKİ, 2023).



Şekil 1. Konya kentsel atıksu arıtma tesisi atıksu ve çamur akış şeması (KOSKİ, 2023).

Atıksu arıtma tesisi birincil arıtma, biyolojik arıtma ve dezenfeksiyon proseslerinden oluşmaktadır. Ön çökeltme ve son çökeltme tanklarından alınan çamur birleştirilerek çamur yoğunlaştırıcılara verilmektedir. Daha sonra 35 °C'de 20 gün boyunca mezofilik fermentasyon ile anaerobik olarak stabilize edilen çamur santrifüj ile susuzlaştırılmaktadır. Günlük artılmış çamur üretimi yaklaşık 140 ton/gün olup, toplam katı içeriği yaklaşık %25'tir. Konya'da üretilen evsel arıtma çamurları arıtdıktan sonra tarımsal alanlarında kullanılmak için çiftçilere verilmektedir (Aydın vd., 2022).

Konya Büyükşehir Belediyesi verilerine göre ulusal mevzuata uygun şekilde arıtma çamurunun toprakta kullanıma dair yasal izinler çerçevesinde, Konya Atıksu Arıtma Tesislerinde yıllık yaklaşık 35 bin ton organik gübre açık alanda kurutulduktan sonra tarımsal ekonomiye kazandırılmaktadır. Özellikle mısır, buğday, arpa ve yonca gibi ürünlerde organik gübre olarak kullanılan stabilize çamurun verimi artırdığı ifade edilmektedir. Stabilize arıtma çamurunu organik gübre olarak on yıldır kullanan çiftçilerin tarımsal üretimde suni gübrelere oranla daha faydalı olduğu, yonca, silajlık mısır, şeker pancarı üretiminde suni gübrelere oranla %50 daha fazla verim aldıkları belirtilmektedir. Şekil 2'de tesisten alınan arıtma çamurunun araziye uygulanması ile ilgili görseller verilmiştir (KOSKİ, 2023).



Şekil 2. Konya stabilize arıtma çamuru ve tarımsal alanlara uygulanması (KOSKİ, 2023)

5. Konya Stabilize Arıtma Çamurunda Ağır Metaller, PAH'lar, PCB'ler, Farmasötikler ve Ekotoksikolojik Değerlendirme

Konya atıksu arıtma tesisinden alınan stabilize arıtma çamurunda ağır metal, PAH, PCB'lerin konsantrasyon değerleri belirlenmiş ayrıca çamurun ekotoksikolojik etkisi *Vibrio fischeri* ve *Lepidium sativum* test organizmaları ile değerlendirilmiştir. PAH'lar fosil yakıtların eksik yanması, endüstriyel işlemler veya motorlu taşıtların kullanımı gibi farklı emisyon kaynaklarından yayılan her yerde bulunan çevre kirlenici maddelerdir. İnsanlar için toksik olup toprak organizmaları

ve bitkiler üzerinde bozucu etkileri vardır. PCB'ler kalıcılıkları ve toksik özelliklerinden dolayı tehlikeli maddelerdir. PCB'ler birçok ülkede yasaklanmış olmasına rağmen, hala dünyanın her yerinde bulunmakta ve birçok ekotoksikolojik probleme neden olmaya devam etmektedirler. Bu kirleticiler, nörotoksisite, dermatolojik ve akciğer hastalıkları gibi farklı insan sağlığı sorunlarına neden olurlar. Bu nedenle arıtma çamurlarındaki bu kirleticilerin belirlenmesi ve izlenmesi çevre sağlığı açısından önemlidir. Tablo 6'da stabilize arıtma çamurunda tespit edilen ağır metal konsantrasyon değerleri görülmektedir. Tesisten alına çamurların pH değerleri 7,58 ile 8,27 aralığında değişmektedir. Ülkemizde uygulanan ulusal mevzuat ve Avrupa Birliği yönetmeliğine göre tarım arazilerinde kullanılan arıtma çamurlarında kadmiyum, krom, bakır, nikel, kurşun ve çinko için verilen limit değerler aşılmamıştır. Konya atıksuyunun yaklaşık %6'sı endüstriyel atıksu olması sebebiyle çamurda ağır metallerin bulunduğu düşünülmektedir (Ozcan, Tor & Aydın, 2013).

Tablo 6. Konya Stabilize Arıtma Çamurunda Ölçülen Ağır Metaller (Ozcan vd., 2013)

Ağır metal	Stabilize arıtma çamuru (mg/kg kuru madde) min-max (ort)	Sınır değerler (mg/kg kuru madde)*
Kurşun	6,10-19,72 (10,59)	750
Kadmiyum	<dl-3,28 (2,38)	10
Krom	76,08-242,35 (130,96)	1000
Bakır	87,17-169,90 (115,14)	1000
Nikel	7,97-61,99 (28,32)	300
Çinko	192,20-604,27 (350,51)	2500
Cıva	-	10

<dl: dedeksiyon limitinin altında -: analiz edilmedi

* Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

Tablo 7'de stabilize arıtma çamurunda tespit edilen 18 PAH bileşiğinin konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Tablo 7. Konya Stabilize Arıtma Çamurunda PAHs (Ozcan vd., 2013)

PAHs	Stabilize arıtma çamuru (µg/kg kuru madde) min-max	Stabilize arıtma çamuru (µg/kg kuru madde) ortalama	Stabilize arıtma çamurunda müsaade edilen maksimum PAH konsantrasyonu
Naphthalene	599,20-1372,62	992,93	Türkiye yönetmeliğine göre:
Acenaphthylene	9,71-105,78	54,37	PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı) 6 mg/kg kuru madde* Avrupa Birliği yönetmeliğine göre: toplam PAHs (acenaphthene, phenanthrene, fluorene, fluoranthene, pyrene, benzo(-b+j+k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene)) 6 mg/kg kuru madde**
Acenaphthene	24,59-317,35	124,71	
Fluorene	6,77-387,20	182,70	
Phenanthrene	57,55-2176,15	989,64	
Anthracene	45,70-2036,57	498,70	
Carbazole	7,95-89,51	34,72	
Fluoranthene	105,20-2444,79	970,70	
Pyrene	200,68-2077,35	827,15	
Benzo[a]anthracene	9,24-883,68	270,40	
Chrysene	1,62-1458,07	407,97	
Benzo[b]fluoranthene	<dl-835,51	172,62	
Benzo[k]fluoranthene	<dl-353,99	50,45	
Benzo[a]pyrene	13,54-174,38	78,73	
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	<dl-59,14	20,95	
Dibenzo[a,h]anthracene	<dl-11,02	2,61	
Benzo[g,h,i]perylene	<dl-1828,77	544,44	
Benzo[j]fluoranthene	3,39-852,45	210,80	
ΣPAHs		6334,60	

<dl: dedeksiyon limitinin altında

* Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010), ** EU (2000)

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliğe göre polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamının 6 mg/kg kuru madde değerini aşmaması gerekmektedir. Tablo 7’de verilen toplam ortalama PAH konsantrasyonunun 6,3 mg/kg kuru madde değeri ile bunun üzerinde olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği çamur yönetmeliğine göre ise acenaphthene, phenanthrene, fluorene, flouranthene, pyrene, benzo(b+j+k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(ghi)perylene, indeno(123-cd)pyrene bileşiklerinin toplamının 6 mg/kg kuru madde değerini aşmaması gereklidir (EU, 2000). Bu bileşiklerin toplamı ise 4,3 mg/kg kuru madde olup sınır değerinin altındadır. Arıtma çamurunda yüksek ve düşük molekül ağırlıklı PAH bileşiklerinin tespit edildiği, çamurdaki PAH kaynağının petrojenik ve pirojenik kaynaklı olduğu belirlenmiştir (Ozcan vd., 2013).

Ülkemizde PCB’ler 1993 yılından itibaren sadece kapalı sistemde kullanımları kısıtlanmış ve 1996 yılında Tehlikeli Kimyasallar Yönetmeliği ile kullanımları yasaklanmıştır. Aynı yönetmelik kapsamında 50 ppm’den daha düşük konsantrasyonda PCB içeren yağ ve solvent atıkları geri kazanılabilir. PCB bileşikleri kullanımı yasaklanmış olmasına rağmen kalıcı ve lipofilik özellikleri sebebiyle hala çevre ortamlarında tespit edilebilmektedirler (Aydın vd., 2004). Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010) kapsamında toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilen maksimum toplam PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) konsantrasyonu 0,8 mg/kg kuru maddedir. Tablo 8’de stabilize arıtma çamurunda tespit edilen PCB’ler görülmektedir. Tespit edilen toplam PCB konsantrasyonunun sınır değeri aşmadığı görülmektedir (Ozcan vd., 2013).

Tablo 8. Konya Stabilize Arıtma Çamurunda PCB’ler (Ozcan vd., 2013)

PCB’ler	Stabilize arıtma çamuru (µg/kg kuru madde) min-max	Stabilize arıtma çamuru (µg/kg kuru madde) ortalama	Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilen maksimum konsantrasyon
PCB 28	4,16-171,97	47,70	Türkiye ve Avrupa Birliği yönetmeliklerine göre: Σ PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) 0,8 mg/kg kuru madde*
PCB 52	1,79-25,21	10,63	
PCB 101	<dl-10,84	3,32	
PCB 118	7,2-514,31	106,85	
PCB 153	0,34-16,26	4,28	
PCB 138	0,44-31,42	4,64	
PCB 180	0,17-12,95	6,99	
Σ PCBs		187,41	

<dl: dedeksiyon limitinin altında

* Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

Tablo 9’da stabilize arıtma çamurunda toplam PAH, toplam PCB ve toplam ağır metal konsantrasyonları görülmektedir. Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında toplam PAH konsantrasyonunun yönetmelikte verilen 6 mg/kg kuru madde sınır değerini aştığı görülmektedir. Bunun sebebi mevsimsel değişim sebebiyle evsel ısınma kaynaklı PAH oluşumunun atmosferde artması ve atmosferdeki PAH bileşiklerinin yağışlar ile birleşik kanalizasyon sistemi sebebiyle atıksuya karışarak arıtma çamurunda birikmesi olarak ifade edilebilir. Özellikle kışın çamurda oluşan PAH konsantrasyonunun çamur kullanımı açısından dikkate alınması önemlidir. Çamurda tespit edilen PCB konsantrasyonlarının sebebi atmosferik taşınımlar, yasal olmayan kullanımlar ve endüstriyel atıksu deşarjları ile açıklanabilir. Toplam ağır metal konsantrasyonunun mevsimsel olarak fazla değişkenlik göstermediği, çamurdaki ağır metallerin kaynağının ise endüstriyel atıksu deşarjlarının olduğu söylenebilir (Ozcan vd., 2013).

Tablo 9. Stabilize Arıtma Çamurunda Aylık Toplam PAH’lar, PCB’ler, Ağır Metal Değişimi (Ozcan vd., 2013)

Aylar	Toplam PAH’lar (µg/kg kuru madde)	Toplam PCB’ler (µg/kg kuru madde)	Taoplam ağır metal (mg/kg kuru madde)
Aralık	6184,39	77,61	618,16
Mayıs	1827,97	64,74	972,50
Haziran	2761,58	71,57	581,12
Temmuz	1809,44	242,73	603,97
Ağustos	5148,11	561,38	580,27
Eylül	11228,61	208,90	527,16
Ekim	9223,18	51,26	549,60
Kasım	12749,06	221,07	656,26

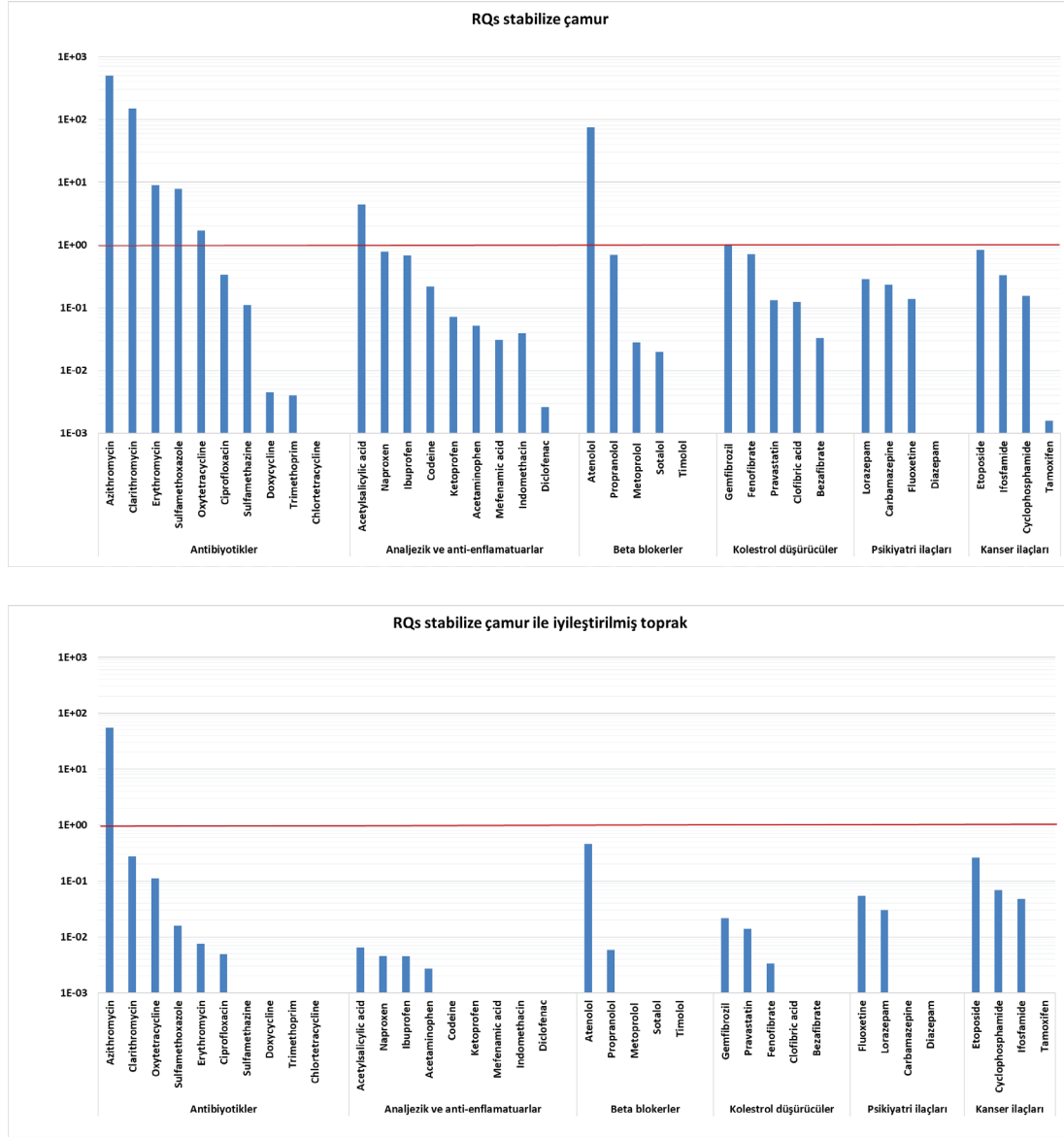
Stabilize arıtma çamurundan hazırlanan eluatların toksisitesi bitki ve canlı test organizmaları ile değerlendirilmiştir. Eluatlar için bulunan EC_{50} değerleri Toksik Birim (TU) değerlerine (TU=0 toksik değil, TU=0,4–1,0 hafif akut toksik, TU=>1,0– 10 akut toksik, TU=>10–100 yüksek akut toksik, TU=>100 çok yüksek akut toksik) dönüştürülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 10’da sunulmuştur (Persoone vd., 2003). *Vibrio fischeri* toksisite testi için Aralık, Mayıs ve Haziran aylarında alınan numunelerin TU değerlerinin 1 ila 10 arasında olduğu, *Lepidium sativum* toksisite testinin ise Aralık ayı hariç tüm aylar için TU değerlerinin 1 ila 10 arasında olduğu yani stabilize çamur eluatının akut toksik özellikte olduğu tespit edilmiştir. Toksikolojik değerlendirme sonucu ağır metaller, PAH’lar, PCB’ler için verilen yönetmelik limit değerlerin aşılması toprağa çamur uygulamaları için yeterli olmadığını, çamurun içerisindeki daha birçok kirleticinin de toksik etkiye sebep olabileceğini göstermektedir (Ozcan vd., 2013).

Tablo 10. Stabilize Arıtma Çamurunun Toksikolojik Değerlendirilmesi (Ozcan vd., 2013)

Aylar	<i>Vibrio fischeri</i>		<i>Lepidium sativum</i>	
	EC ₅₀	TU	EC ₅₀	TU
Aralık	67,60	1,48	nr	0
Mayıs	31,17	3,20	63,20	1,58
Haziran	-	-	71,57	1,40
Temmuz	-	-	75,06	1,33
Ağustos	31,16	2,69	70,50	1,42
Eylül	nr	0	70,09	1,42
Ekim	nr	0	80,99	1,23
Kasım	nr	0	87,85	1,14

nr: EC₅₀ değerine ulaşamadı, -: analiz edilmedi

Farmasötikler hastane ve evlerde hastalıkların tanı ve tedavisinde kullanıldıktan sonra vücuttan ana formda veya metabolitleri olarak atılmaktadır. Konvansiyonel arıtma prosesleri ile farmasötiklerin etkili bir şekilde giderilemediği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Atıksudaki antibiyotiklerin yaklaşık %70'i arıtma çamurunda kalmaktadır. Farmasötik kalıntılarının atıksu ve arıtma çamuru vasıtasıyla çevresel ortamlara taşınmaktadır. Stabilize arıtma çamurunun azot, fosfor gibi nutrientler ve besin maddeleri içermesi sebebiyle tarımsal amaçlı kullanımı yaygın olarak tercih edilen bertaraf yöntemidir (Sun vd., 2019). Ülkemizde çamur kullanımını düzenleyen yasal mevzuatta farmasötikler ile ilgili izleme yapılmamaktadır. Özellikle Covid-19 pandemisiyle birlikte günümüzde kullanılan farmasötik miktarı artmış durumdadır. Bu nedenle anaerobik olarak arıtılmış stabilize çamurda 7 terapi sınıfından antibiyotik, analjezik, anti-enflamatuvar, beta-bloker, kolesterol düşürücü, kanser ve psikiyatri ilaçlarını içeren 38 farmasötik maddenin konsantrasyonları tespit edilmiş ve tarımsal uygulamalar sonucunda oluşabilecek ekotoksikolojik riskler değerlendirilmiştir. Konya atıksu arıtma tesisinin günlük atıksu debisi yaklaşık 200.000 m³/gün olup, 140 ton/gün stabilize çamur üretilmektedir. Tüm farmasötik bileşiklerin toplam konsantrasyonları 280 ila 4898 µg/kg kuru madde arasında değişmektedir. Baskın terapi sınıfı analjezikler ve anti-enflamatuvarlar (%49) olarak tespit edilmiş olup bunu antibiyotikler (%31) takip etmiştir. Clarithromycin ve azithromycin 1496 µg/kg kuru madde konsantrasyonu ile en yüksek konsantrasyonda tespit edilen bileşikler olmuştur (Aydın vd., 2022).



Şekil 3. Stabilize çamurda ve stabilize arıtma çamuru ile iyileştirilmiş toprakta farmasötik bileşikleri için RQ (risk oranı) değerleri ($RQ_s < 0.1$ düşük risk, $0.1 < RQ_s < 1$ orta risk, $RQ_s > 1$ yüksek risk) (Aydn vd., 2022)

Arıtılmış çamurdaki toplam günlük farmasötik yükü kış mevsiminde 1002 kg/gün değerlerine ulaşırken, çevreye verilen yıllık farmasötik kütle yükünün yaklaşık 71,6 kg olduğu tahmin edilmektedir. Arıtılmış çamurun tarım arazilerinde gübre olarak kullanılması karasal ortamın sürekli olarak farmasötikler ile kirlenmesine neden olmaktadır. Şekil 3’de stabilize çamurda ve stabilize arıtma çamuru ile iyileştirilmiş toprakta farmasötik bileşikleri için RQ (risk oranı)

değerleri verilmiştir. Stabilize çamurdaki beş antibiyotik (azithromycin, clarithromycin, erythromycin, sulfamethoxazole, doxycycline), bir analjezik (acetylsalicylic acid) ve bir beta bloker (atenolol) bileşiği çevre için akut ve kısa süreli kronik yüksek riskler oluşturmaktadır. Çürütülmüş çamurla ıslah edilmiş topraklarda en yüksek kısa süreli kronik risk azithromycin için belirlenmiştir (RQ: 54,9). Farmasötiklerin potansiyel çevresel etkilerini azaltmak için çürütülmüş çamur toprağa uygulanmadan önce farmasötik içeriği açısından izlenmesi önemlidir (Aydın vd., 2022).

6. Sonuç ve Öneriler

Atıksu artımının bir yan ürünü olan çamur miktarı her geçen gün kullanılan su ve oluşan atıksu miktarına bağlı olarak artmaktadır. Farklı bertaraf yöntemleri olmakla birlikte en yaygın olarak stabilize arıtma çamurunun tarımsal alanlarda kullanımı tercih edilmektedir. Stabilize çamurların, topraklara uygulanması atığın bertarafı yanında toprağın iyileşmesini, gübre ihtiyacının azalmasını ve tarımsal verimliliğin artmasını sağlamaktadır. Toprak bozulması yaklaşık olarak atmosfere her yıl 4 milyar ton daha fazla CO₂ salınmasına sebep olmaktadır. Anaerobik çamur arıtma yöntemiyle atıksu arıtma tesisleri, enerji nötr veya enerji üreten tesisler haline getirilebilir. Enerjiyi dönüştüren ve kullanan ünitelerin daha etkin hale getirilmesi için çalışılmalıdır. Konvansiyonel atıksu ve çamur arıtma prosesleri ile atıksuda bulunan PAH'lar, PCB'ler, farmasötikler ve diğer birçok organik kirleticiler giderilememektedir. Bu nedenle, söz konusu bileşiklerin çevreye ulaşmasını önlemek için izlenmesi ve arıtma proseslerinin iyileştirilmesi gereklidir. Geri kazanılmış sular ve arıtma çamurlarındaki kirleticileri azaltmak için kanalizasyon sistemi etkin bir şekilde izlenmeli ve denetlenmeli, ileri arıtma yöntemleri uygulanmalıdır.

7. Kaynaklar / References

- Aydın, S., Ulvi, A., Bedük, F. & Aydın, M.E. (2022). Pharmaceutical residues in digested sewage sludge: Occurrence, seasonal variation and risk assessment for soil. *Science of the Total Environment*. 817, 152864.
- Aydın, M.E., Sari, S., Özcan, S., Wichmann, H. & Bahadır, M. (2004). Polychlorinated Biphenyls in Wastewater of Konya-Türkiye. *Fresenius Environmental Bulletin*. 13, 1090.
- Bondarczuk, K., Markowicz, A. & Piotrowska-Seget, Z. (2016). The urgent need for risk assessment on the antibiotic resistance spread via sewage sludge land application. *Environmental Pollution*. 87, 49-55.
- Bresters, A.R., Coulomb, I., Deak, B., Matter, B., Saabye, A., Spinosa, L. & Utvik, A.O. (1997). Sludge Treatment and Disposal. Management Approaches and Experiences. IBWA, pp. 13-42.
- EU, 2000. Working Document on Sludge. Third Draft. European Union, Brussels, Belgium 27 April 2000.
- Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 27661, Tarih: 3 Ağustos 2010.
- Fytili, D. & Zabaniotou, A. (2008). Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12, 116-140.
- KOSKİ. 2023. www.koski.gov.tr (24 Mart 2023)

- Li, Q., Chen, Z., Wang, H., YAng, H., Wen, T., Wang, S., Hu, B. & Wang, X. (2021). Removal of organic compounds by nanoscale zero-valent iron and its composites. *Science of the Total Environment*. 792, 148546.
- Luan, M., Jing, G., Piao, Y., Liu, D. & Jin, L. (2017). Treatment of refractory organic pollutants in industrial wastewater by wet air oxidation. *Arabian Journal of Chemistry*. 10, 769-776.
- Lundin., M., Olofsson, M., Pettersson, G.J. & Zetterlund., H. (2004). Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources, Conservation and Recycling*. 41, 255-278.
- Metcalf ve Eddy Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Tsuchihashi, R., & Stensel, H. D. (2013). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Professional.
- Ozcan, S., Tor, A. & Aydın, M.E. (2013). Investigation on the Levels of Heavy Metals, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Polychlorinated Biphenyls in Sewage Sludge Samples and Ecotoxicological Testing. *Clean Soil, Air, Water*. 41, 411-418.
- Persoone, G., Marsalek, B., Blinova, I., Törökne, A., Zarina, D., Manusadzianas, L., Nalecz-Jawecki, G., Tofan, L., Stepanova, N., Tothova, L. & Kolar, B. (2003). A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters. *Environmental Toxicology*. 18, 395.
- Placek, A., Grobelak, A. & Kacprzak, M. (2016). Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*. 18, 605-618.
- Rorat, A., Wloka, D., Grobelak, A., Grosser, A., Sosnecka, A., Milczarek, M., Jelonek, P., Vandembulcke, F. & Kacprzak, M. (2017). Vermiremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in sewage sludge composting process. *Journal of Environmental Management*. 187, 347-353.
- Smol, M., Kulcycka, J., henclik, A., Gorazda, K. & Wzorek, Z. (2015). The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*. 95, 45-54.
- Sun, C., Li, W., Chen, Z., Qin, W. & Wen, X. (2019). Responses of antibiotics, antibiotic resistance genes, and mobile genetic elements in sewage sludge to thermal hydrolysis pre-treatment and various anaerobic digestion conditions. *Environmental International*. 133, 105156.
- Titchou, F.E., Zazou, H., Afanga, H., Gaayda, J.E., Akbour, R.A., Nidheesh, P.V. & Hamdani, M. (2021). Removal of organic pollutants from wastewater by advanced oxidation processes and its combination with membrane processes. *Chemicals Engineering and Processing – Process Intensification*. 169, 108631.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Haber Bülteni, Yayın tarihi: 16.12.2021, Sayı: 37197.
- Walcarius, A. & Mercier, L. (2010). Mesoporous organosilica adsorbents: nanoengineered materials for removal of organic and inorganic pollutants. *Journal of Materials Chemistry*. 20, 4478-4511.
- Wild, S.R., Berrow, M.L. & Jones, K.C. (1991). The persistence of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge amended agricultural soils. *Environmental Pollution*. 72, 141-157.
- Xie, Y., Ren, L., Zhu, X., Gou, X. & Chen, S. (2018). Physical and chemical treatments for removal of perchlorate from water—A review. *Process Safety and Environmental Protection*. 116, 180-198.
- Ye, S., Chen, Y., Yao, X. & Zhang, J. (2021). Simultaneous removal of organic pollutants and heavy metals in wastewater by photoelectrocatalysis: A review. *Chemosphere*. 273, 128503.
- Zuloaga, O., Navarro, P., Bizkarguenaga, E., Iparraguirre, A., Vallejo, A., Olivares, M. & Prieto, A. (2012). Overview of extraction, clean-up and detection techniques for the determination of organic pollutants in sewage sludge: A review. *Analytica Chimica Acta*. 736, 7-29.

Yazarlar Hakkında / About Authors

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN | Necmettin Erbakan Üniversitesi | TÜBA Asli Üyesi | meaydin[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0001-6665-198X

Mehmet Emin Aydın, Konya Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliğinden 1985 yılında mezun oldu. 1993 yılında İngiltere, Loughborough Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde suların arıtımı alanında doktorasını tamamladı. Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne 1997 yılında Doçent 2003 yılında Profesör olarak atandı. 2012 yılında Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne Profesör olarak atandı. Halen 2018 yılından beri aynı üniversitenin İnşaat Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak çalışmaktadır. Araştırma alanı Su Temini, atıksuların uzaklaştırılması, su kirliliği, su arıtma, PAH, PCB, pestisitler, kalıcı organik kirleticiler, ekotoksikoloji alanlarını kapsamaktadır. Prof. Dr. Aydın'ın Uluslararası hakemli dergilerde ve sempozyum kitaplarında 235 makalesi, Ulusal sempozyumlarda 82 bildirisi, 14 kitap bölümü ve 6 kitap editörlüğü veya ortak editörlüğü vardır.

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN | Necmettin Erbakan University | TÜBA Full Member | meaydin[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0001-6665-198X

Mehmet Emin Aydın has studied of Civil engineering at Selçuk University in Konya, Türkiye (1980-1985) and received his PhD in 1993 in the field of drinking water treatment at Civil Engineering Department of Loughborough University of Technology in England. He is appointed as Assoc. Prof. Dr. in Environmental Engineering of Selçuk University in 1997. Since 2003, he is full Professor in Environmental Engineering initially at Selçuk University and then since 2012 in Necmettin Erbakan University in Konya, Türkiye. He is working as full Professor in Civil Engineering of Necmettin Erbakan University since 2018. His teaching and research cover water supply, wastewater disposal, water pollution, water and wastewater treatment, ecotoxicology, PAHs, PCBs, pesticides, pharmaceuticals and illicit drugs in environment. Prof. Dr. Aydın published 235 papers in international peer-reviewed journals and proceedings volumes; 82 presentations in National symposiums; 14 international book chapters, 6 book editorships and co-editorships.

Prof. Dr. Senar AYDIN | Necmettin Erbakan Üniversitesi | TÜBA Genç Akademi Üyesi | sozcan[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0960-480X

Senar Aydın Konya Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden 1999 yılında mezun olmuş, 2007 yılında aynı bölümde Çevrede PAH, PCB, Pestisitler gibi Mikrokirleticilerin analizi konusunda doktorasını tamamlamıştır. 2000 yılından itibaren Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta olduğu aynı bölümde 2010 yılında Yardımcı Doçent olarak atanmıştır. Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne 2012 yılında Doçent olarak, 2017 yılında Profesör olarak atanmıştır. Ders verdiği ve araştırma yaptığı alanlar temel işlemler, temel işlemler laboratuvar uygulamaları, su kirliliği, su arıtma, çevrede PAH, PCB, pestisitler, farmasötikler, uyuşturucuların analizi ve ekotoksikoloji alanlarını kapsamaktadır. 2011-2021 yılları arasında Çevre Mühendisliği Bölüm başkanlığı görevini yürütmüştür. 2013 yılında TÜBA üstün başarılı genç bilim insanı (GEPIP) ödülü almıştır. Senar Aydın uluslararası hakemli dergilerde ve sempozyum kitaplarında 125 makale, ulusal sempozyumlarda 52 bildiri ve 12 uluslararası kitap bölümü yayınlamıştır.

Prof. Dr. Senar AYDIN | Necmettin Erbakan University | TÜBA Young Academy Member | sozcan[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0960-480X

Senar Aydın has studied in Environmental engineering department at Selçuk University in Konya (1995-1999) and received her Doctorate in 2007 in the field of Analyses of micro pollutants such as pesticides, PAHs and PCBs in Environment at Environmental Engineering Department of Selçuk University. Senar Aydın was appointed as Assistant Prof. Dr. in Environmental Engineering Department of Selçuk University in 2010 and then as Associate Prof. Dr. in 2012. Since 2017 she is full Professor in Environmental Engineering Department of Necmettin Erbakan University in Konya, Türkiye. Her teaching and research cover unit processes, laboratory application of unit processes, water pollution, water and wastewater treatment, ecotoxicology, PAHs, PCBs, pesticides, pharmaceuticals and illicit drugs in environment. She was head of department between 2011 - 2021. She was awarded as excellency in science among young scientist by Turkish academy of sciences (TÜBA) in 2013. Senar Aydın published 125 papers in international peer-reviewed journals and proceedings volumes; 52 presentations in National symposiums; 12 international book chapters.