

Derleme Makalesi

Arıtma Çamurlarının Tarımsal Amaçlı Kullanımı: Türkiye’de ve AB Ülkelerinde Yasal Durum

Gül Kaykıoğlu^{1,*}, Füsun Ekmekyapar²

^{1,2} Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

gkaykioglu@nku.edu.tr, fekmekyapar@nku.edu.tr

Geliş: 26.11.2023

Kabul: 21.12.2023

DOI: 10.55581/ejeas.1396181

Öz. Dünyadaki hızlı nüfus artışı, doğal kaynakların etkin kullanılabilmesi adına çevre bilincinin artmasına ve dolayısıyla atıksu arıtma tesislerinin sayı ve kapasitelerinin artmasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak da ikincil bir kirletici olarak ortaya çıkan arıtma çamurlarının bertarafı ve yeniden kullanımı önemli hale gelmektedir. Çamur bertarafı için uzun yıllardan beri çok çeşitli yöntemler denenmiş, önemli çalışmalar yürütülmüştür. Arıtma çamurlarının bitki besin elementleri bakımından zengin olması tarımda kullanma olanaklarının daha fazla irdelenmesine sebep olmuştur. Arıtma çamurlarının tarım alanlarında toprak şartlandırıcı olarak kullanılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler; çamurun içerisindeki azot, fosfor ve potasyum gibi besin elementleri, potansiyel toksik maddeler, ağır metaller, patojenler ve parazitlerdir. Bunun yanı sıra poliaromatik hidrokarbonlar, antibiyotikler ve mikroplastiklerin de arıtma çamurlarında bulunma potansiyeli endişe uyandırmaktadır. AB ülkelerinde arıtma çamurunun araziye uygulanması yalnızca 86/278/EEC Direktifinde belirtilen ağır metallerin konsantrasyonuna göre düzenlenmektedir. Bu direktifte ağır metal için sınır değerler verilmişken, diğer kirleticiler için sınır değerler bulunmamakta ve tarımda çamur uygulamasının güvenliğinin sağlanmasına ilişkin mevcut ihtiyaçları karşılamamaktadır. Bu çalışmada, arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanılabilmesi için ülkemizdeki mevcut yasal düzenlemeler AB Direktifi, Bulgaristan ve Yunanistan mevzuatları ile karşılaştırılarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: AB Direktifi, ağır metaller, arıtma çamurları, patojenler, tarım, yeniden kullanım.

Use of Sewage Sludge for Agricultural Purposes: Legal Situation in Turkey and EU Countries

Abstract: Rapid population growth in the world causes environmental awareness to increase in order to use natural resources effectively and therefore the number and capacity of wastewater treatment facilities to increase. Accordingly, the disposal and reuse of sewage sludge, which emerges as a secondary pollutant, becomes important. Various methods have been tried and important studies have been carried out for sludge disposal for many years. The fact that sewage sludge is rich in plant nutrients has led to further examination of its use in agriculture. The most important factors to consider when using sewage sludge as soil conditioner in agricultural areas are; Nutrient elements such as nitrogen, phosphorus and potassium in the sludge are potential toxic substances, heavy metals, pathogens and parasites. In addition, poly aromatic hydrocarbons, antibiotics and microplastics also raise concerns. In EU countries, the application of sewage sludge to land is regulated only according to the concentration of heavy metals specified in Directive 86/278/EEC. While limit values are given for heavy metals in this directive, there are no limit values for other pollutants and they do not meet the current needs for ensuring the safety of sludge application in agriculture. In this study, the current legal regulations in our country for the use of sewage sludge for agricultural purposes were evaluated by comparing them with the EU Directive, Bulgarian and Greek legislation.

Keywords: EU Directive, heavy metals, sewage sludge, pathogens, agriculture, reuse.

* Sorumlu yazar

E-posta adresi: gkaykioglu@nku.edu.tr (G. Kaykıoğlu)

1. Giriş

Katı atık yönetiminin önemli ve büyük bir bölümünü oluşturan arıtma çamurlarının bertarafı, bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de son yılların önemli çevresel sorunlarından biri haline gelmiştir. Atıksu arıtma tesislerinin çeşitli kademelerinde kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar sonucu oluşan çamurların, alıcı ortamlara deşarjları kanun ve yönetmeliklerle yasaklanmıştır. Bu nedenle uygulanan atıksu arıtma yöntemine bağlı olarak oluşan çamurların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin belirlenmesi ve bunların sürdürülebilir atık yönetimi ve mevzuat hükümleri doğrultusunda bertarafı önemlidir.

Sürdürülebilir atık yönetimi, çevrenin ve insan sağlığının korunması, doğal kaynakların verimli ve etkin kullanılması doğrultusunda gerçekleştirilebilmektedir. Doğal kaynakların verimli kullanılması önemli olduğu gibi bazı atık maddelerin de kaynak olarak kullanılması hem sera gazı emisyonlarının hem de doğal kaynak tüketiminin azaltılması bakımından önemlidir. AB ülkelerinde Metin puntosu kontrol edilmeli. Giriş bölümü 10, bu bölüm ve diğer bölümler 9 punto ile yazılmış. Atık Çerçeve Direktifine [1] göre atık hiyerarşisi: önleme, yeniden kullanım için ön hazırlık, geri dönüşüm, diğer geri kazanım işlemleri ve nihai bertaraf sıralamasına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Buna göre öncelikle çamur üretimini azaltabilecek en iyi arıtma teknolojilerinin kullanılması beklenmektedir. Ancak arıtma çamuru oluşumunu tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu sebeple evsel/kentsel arıtma çamurlarının organik madde ve enerji geri kazanım olanaklarının araştırılmasına odaklanmak gerekmektedir [2,3]. Arıtma çamurlarına uygulanabilecek nihai bertaraf işlemleri, düzenli depolama, toprak şartlandırıcı olarak kullanım, yakma ve kurutma olmaktadır.

Günümüzde en yaygın uygulanan nihai bertaraf yöntemi depolamadır [4]. Fakat, alan ihtiyacının fazla olması, koku problemleri, nakliye işlemleri, maliyet gibi hususlar sebebiyle, depolamanın uygulanmasında çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Kurutma yöntemi arıtma çamurunun yüksek ısı değere sahip olması durumunda ek yakıt olarak kullanılmasında ve çamurdaki patojenlerin gideriminde etkili olmaktadır. Karbon ayak izinin en yüksek olduğu bertaraf yöntemi olan yakma işlemi, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, ilave yakıt gereksinimi ve baca gazının kontrolü gibi dezavantajlara sahiptir [5]. Özellikle ileri biyolojik arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarında, tesiste gerçekleşen azot ve fosfor giderimine bağlı olarak besi maddeleri yüksek olabilmektedir. Söz konusu tesislerde oluşan arıtma çamurlarının nihai bertarafında arazide bertaraf seçeneğinin kullanılması, stabilize edilen arıtma çamurlarının toprak şartlandırıcı olarak kullanılması en uygun seçenek olarak görülmektedir [6,7].

Arıtma çamurlarının bitkisel üretim için kullanılan toprağa uygulanması, organik madde ve besin maddelerinin, özellikle de azot ve fosforun temini açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda Ca ve Mg içermekle birlikte K içeriği düşüktür [6, 8-10]. Organik maddenin artması, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirebilmektedir. Organik madde ve besinlerin yüksek olması, toprak enzimlerinin aktivitesinin yanı sıra toprak

mikrobiyal aktivitesini ve toprak mikrobiyal biyokütle büyümesini de arttırmaktadır [6,11]. Topraktaki elementlerin yararlılığını etkileyen faktörler arasında arıtma çamurunun karakterizasyonu, stabilize edilmesi, toprağın pH'ı, organik madde içeriği, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, yetiştirilecek bitki türleri ve çeşitleri gibi hususlar yer almaktadır. Arıtma çamurlarının miktarı ve özellikleri, atıksu karakteristiğine ve uygulanan arıtma tesisi çeşidine ve kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Organik azot ve inorganik fosfor, arıtma çamurundaki toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) içeriğinin çoğunluğunu oluşturmaktadır [6,8,9]. Arıtma çamurları besi maddelerinden başka ağır metaller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve dibenzo-p-furanlar (PCDD/F'ler), poliklorlu bifeniller (PCB'ler), di (2-etilheksil) ftalat (DEHP), polibromlu difenil eterler (PBDE'ler), deterjan kalıntıları, farmasötikler, kişisel bakım ürünleri, endojen hormonlar, sentetik steroidler gibi maddeler de içermektedir [3,12].

Arıtma çamurunu meydana getiren çeşitli kimyasal maddelerin geniş çaplı etkileri nedeniyle, çamurun arazide uygulanması işlemi için çamurun karakterizasyonunun yapılması gerekmektedir. İşlem görmemiş ham çamurlar, organik madde, besi elementleri, ağır metaller, bakteriler, protozoalar ve virüsler içermektedir [13]. İçerdiği patojenler sebebiyle tarım alanlarına uygulanacak olan arıtma çamurlarının kesinlikle stabilizasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Çamur ve çamurun uygulanacağı toprak yönetmeliklerde belirtilen aralıklarda analiz edilmeli ve toprağın kalitesi kontrol altında tutulmalıdır. Toprak, çamur ve yetiştirilen bitkideki ağır metal içerikleri takip edilmelidir. Ağır metal içerikleri izin verilebilir sınır değerlere yaklaştığında çamur uygulaması kesilmeli zararlı maddelerin besin zincirine ve su kaynaklarına geçmesi engellenmelidir. Arıtma çamurlarının bünyelerinde bulunan ağır metaller bitkiler, hayvanlar ve insanlar için potansiyel toksik riskler oluşturabilmekte olup, toprakta kalıcıdır. Yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesi sorunlarının yanında, yetiştirilecek bitkilere olabilecek ağır metal geçişi gıda güvenliği açısından üzerinde durulması gereken bir konudur. Son yıllarda yapılan çalışmalarda arıtma çamurlarının içerisinde bulunan ilaç kalıntıları, mikroplastikler vb. maddeler de araştırılmakta ve toprak şartlandırıcı olarak arıtma çamurlarının kullanılması sırasında olası etkileri değerlendirilmektedir [3,12].

AB genelinde arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanımı, üretilen toplam çamur miktarının yaklaşık %30 ila %50'si arasında değişmektedir. Üretilen çamur miktarı 2007 ile 2018 yılları arasında nispeten sabit kalmış olup, üretim genellikle ortalama 7 milyon ila 8 milyon ton arasındadır. Tarımda kullanılan çamur miktarı da 2 milyon ila 3 milyon ton arasında sabit kalmaktadır [14].

Çalışmada AB üyesi komşu ülkelerde ve ülkemizde arıtma çamurlarının tarımda kullanılması sırasında kullanılan sınır değerler karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Yasal Düzenlemeler

AB ülkelerinde arıtma çamurlarının bertarafı 86/278/EEC [15] nolu AB Çamur Direktifi çerçevesine göre gerçekleştirilmektedir. Direktifte toprağa uygulanacak arıtma

çamuru ve uygulanacak toprak için Cu, Hg, Ni, Pb, Cd, Cr ve Zn'nin konsantrasyon sınır değerleri verilmiş olup, bu direktif hükümleri geçerliliğini korumaktadır. Arıtma çamurlarının toprakta kullanılması sonucunda uzun vadede ağır metal konsantrasyonu sınırlandırılmış, toprak ve yetiştirilecek ürünler ile ilgili kısıtlamalara yer verilmiştir. Söz konusu direktifte ham çamurun stabilize edildikten sonra tarımda kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Bazı AB ülkeleri Direktifte belirtilen ağır metallerle ilave olarak başka ağır metalleri de mevzuatlarına eklemişler ve uygulamaya koymuşlardır. Bunun dışında PAH, PCB gibi potansiyel toksik maddelere Direktifte yer verilmemiştir. AB komisyonu 86/278/EEC numaralı direktifi gözden geçirerek çamurun

Tablo 1 Tarımda kullanılan arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru çamur)

Ülke	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Cr	As
AB Direktifi [15]	20-40	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000		
Türkiye	10	1000	10	300	750	2500	1000	
Bulgaristan	30	1600	16	350	800	3000	500	25
Yunanistan	20-40	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000		

Tablo 1'de AB Direktiflerinde belirtilen tarımda kullanılacak arıtma çamuru sınır değerleri ve Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan'ın mevzuatlarında geçerli olan sınır değerler verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi, Türkiye ve Bulgaristan için belirlenmiş sınır değerleri 86/278/EEC sayılı Avrupa Direktifi ile karşılaştırıldığında, söz konusu ülkelerin ağır metaller için daha düşük limitler belirledikleri, tarımda çamur kullanımına yönelik daha da katı sınırlar koydukları görülmektedir. Yunanistan, AB Direktifinde belirtilen sınır değerleri aynı şekilde kullanmıştır. Kadmiyum için en düşük sınır değer ülkemizde belirlenmiştir (10 mg/kg kuru madde). Bulgaristan, bakır için sınır değeri 1600 mg/kg kuru madde olarak belirlemişken, ülkemizde bu değer AB Direktiflerindeki en düşük değer olan 1000 mg/kg kuru madde olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde nikel için de Bulgaristan, 350 mg/kg kuru madde belirlerken, ülkemizde bu sınır değer AB Direktiflerindeki en düşük değer olan 300 mg/kg kuru madde olmuştur. Civa, Türkiye'de AB'deki sınır değerinin daha da altında olan 10 mg/kg'ı belirlenmişken, Bulgaristan'da AB Direktiflerindeki sınır değer olan 16 mg/kg kuru madde kabul edilmiştir. Kurşun ve çinko için ülkemizde yine emniyetli sınırdan kalınmış, sınır değeri sırasıyla 750 mg/kg kuru madde ve 2500 mg/kg kuru madde olarak belirlenmişken, Bulgaristan'da bu değerler 800 mg/kg kuru madde ve 3000 mg/kg kuru madde olmuştur. Ayrıca AB direktifine ek olarak Türkiye'de krom için sınır değeri 1000 mg/kg kuru madde olarak belirlenmişken Bulgaristan'da bu değer 500 mg/kg kuru madde olmuştur. Bunun yanı sıra Bulgaristan'da arsenik sınır değeri 25 mg/kg kuru madde olarak belirlenmiştir. Görülmektedir ki, Yunanistan AB direktiflerini ağır metal sınır değerleri açısından direkt kabul ederken, Bulgaristan ve Türkiye daha emniyetli tarafta kalarak ya en düşük sınır değerleri ya da daha alt değerleri kabul ederek daha katı bir

tarımsal uygulamalarda kullanımı ve mevcut durumun iyileştirilmesi ile ilgili daha detaylı bir çalışma dokümanı hazırlamıştır. Ancak 86/278/EEC numaralı direktif esas alınarak geliştirilen bu doküman yetki olarak bağlayıcı bir niteliğe sahip olmayıp, yol gösterici özelliindedir. Söz konusu çalışma dokümanında AOX, DEHP, LAS, NP/NPE, PAH, PCB, PCDD/F ve patojen konsantrasyonları ile ilgili sınır değerler de bulunmaktadır. Ülkemizde Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te evsel ve kentsel atıksu arıtımı sırasında oluşan ham ve stabilize arıtma çamurlarının toprak şartlandırıcı olarak kullanım kısıtları ve yasakları yer almaktadır [16].

yaklaşım sergilemiştir.

Tablo 2'de tarımda kullanılacak arıtma çamuru için seçilmiş organik kirleticilere ait 2000 yılında gerçekleştirilen çalışma raporuna göre, Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan mevzuatlarında belirlenmiş sınır değerler verilmiştir. Yunanistan söz konusu organik kirleticiler için sınır değerler belirlememiştir. Ancak ülkemizde çalışma raporunda belirtilen tüm sınır değerler mevzuat kapsamına alınmış ve uygulanmaktadır. Bulgaristan ise yalnızca PAH ve PCB'ler için sınır değerler belirlemiştir (6,5 mg/kg kuru madde ve 1 mg/kg kuru madde).

Tablo 3'te tarımda kullanılacak arıtma çamurlarında bulunabilecek maksimum patojen konsantrasyonlarına ait 2000 yılında hazırlanan çalışma raporu, Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan mevzuatlarında belirlenmiş sınır değerler verilmiştir. Tablo 3'e göre Yunanistan'da herhangi bir sınır değeri bulunmadığı, Bulgaristan ve Türkiye'nin stabilize olmuş arıtma çamuru için sınır değerler belirlediği görülmektedir.

AB ülkelerinde arıtma çamurunun araziye uygulanması yalnızca 86/278/EEC Direktifinde belirtilen ağır metallerin konsantrasyonuna göre düzenlenmektedir. Bu direktifte ağır metal için sınır değerler verilmişken, diğer kirleticiler için sınır değerler bulunmamakta ve tarımda çamur uygulamasının güvenliğinin sağlanmasına ilişkin mevcut ihtiyaçları karşılamamaktadır. Direktif, arıtma çamurunun tarımda güvenli bir şekilde kullanımını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Arıtma çamurları antibiyotikler, mikroplastikler gibi diğer kirletici maddeleri de içerebilmektedir. Bu tür kirleticilerin çevre ve organizmalar üzerindeki etkisini değerlendirmek zor olabilmektedir. Bunun için toksisite testleri yapılarak uzun ve kısa vadeli etkilerinin değerlendirilmesi sağlanabilmektedir.

Tablo 2 Arıtma çamurunun tarımda kullanımı için seçilmiş organik kirleticiler için sınır değerleri (in mg/kg çamur kuru madde), (PCDD/F; ng Toksik Eşdeğer. kg⁻¹ kuru madde)

Ülke	AOX ¹	DEHP ²	LAS ³	NP/NPE ⁴	PAH ⁵	PCB ⁶	PCDD/F ⁷
AB Çalışma Raporu [17]	500	100	2600	50	6	0,8	100
Türkiye	500	100	2600	50	6	0,8	100
Bulgaristan	-	-	-	-	6,5	1	-
Yunanistan	-	-	-	-	-	-	-

¹Adsorblanabilen organik halojenler ²Diftalat(2-ethylhexyl) ³Lineer alkilbenzin sülfonat ⁴Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir. ⁵Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı ⁶28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı ⁷Poliklorlu dibenzodioxin/dibenzofuranlar

Tablo 3 Tarımda kullanılacak arıtma çamurlarında bulunabilecek maksimum patojen konsantrasyonları

Ülke	Salmonella sp.	Diğer patojenler
AB Çalışma Raporu [17]	50 g çamurda bulunmamalı	Escherichia coli < 500 cfu/g
Türkiye	-	Escherichia coli < 2 log ₁₀ (%99) Escherichia coli < 100 MPN/g
Bulgaristan	20 g çamurda bulunmamalı	Clostridium perfringens < 300 MPN/g Helmint yumurta ve larvaları, 1 birim/kg kuru madde
Yunanistan	-	-

3. Sonuç

Tarımsal amaçlar için arıtma çamuru kullanımı konusu oldukça karmaşık olup pek çok risk taşımaktadır. Bu risklerden kaçınmak için ulusal düzenlemelerin yanı sıra Avrupa mevzuatının da geliştirilmesi önemlidir. Kirletici maddelerin yüzey ve yeraltı sularına olası sızıntının önüne geçebilecek ve toprak, bitki, hayvan ve insanlar üzerindeki toksik etkilerin önlenmesini kolaylaştıracak doğru güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir.

Yazar Katkısı

Veri iyileştirme -Yazar Gül KAYKIOĞLU (GK); Biçimsel analiz – Füsün EKMEKYAPAR (FE); Araştırma - GK; Veri toplama - GK; Veri işleme - GK; Literatür taraması - GK; Yazan - GK; İnceleme ve düzenleme - FE

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Gül KAYKIOĞLU'nun "Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Nihai Çamurlarının Tarımsal Amaçla Kullanılabilirliğinin ve Bitki Büyümesindeki Ağır Metal Kapsamındaki Etkilerinin Araştırılması" başlıklı Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi temel alınarak hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] European Commission /2008/98, Waste Framework Directive (Avrupa Birliği Atık Çerçeve Direktifi).
- [2] Grobelak, A., Grosser, A., Kacprzak, M., & Kamizela, T. (2019). Sewage sludge processing and management in small and medium-sized municipal wastewater treatment plant-new technical solution. *Journal of Environmental Management*, 234(15), 90-96.
- [3] Seleiman, M., Santanen, F. A., & Mäkelä, P.S.A. (2020). Recycling sludge on cropland as fertilizer – advantages and risks. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104647.
- [4] Hudcová, H., Vymazal, J., & Rozkošný, M. (2019). Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. *Soil and Water Research*, 14(2), 104-120.
- [5] D'Imporzano, G., & Adani, F. (2023). Measuring the environmental impacts of sewage sludge use in agriculture in comparison with the incineration alternative. *Science of The Total Environment*, 905, 167025.
- [6] Singh, R.P., & Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28(2) 347-358.
- [7] Buta, M., Hubeny, J., Zieliński, W., Harnisz, M., & Korzeniewska, E., (2021). Sewage sludge in agriculture – the effects of selected chemical pollutants and emerging genetic resistance determinants on the quality of soil and crops – a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214,

112070.

- [8] Samara, E., Matsi, T., & Balidakis, A. (2017). Soil application of sewage sludge stabilized with steelmaking slag and its effect on soil properties and wheat growth. *Waste Management*, 68, 378-387.
- [9] Hei, L., Jin, P., Zhu, X., Ye, W., & Yang, Y. (2016) Characteristics of Speciation of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge of Guangzhou as Fertilizer. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 232-240.
- [10] Koutroubas, S.D., Antoniadis, V., Damalas, C. A., & Fotiadis, S. (2020) Sunflower growth and yield response to sewage sludge application under contrasting water availability conditions. *Industrial Crops and Products*, 154, 112670.
- [11] Dhanker, R., Chaudhary, S., Goyal, S., & Garg, V.K. (2021) Influence of urban sewage sludge amendment on agricultural soil parameters. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101642.
- [12] Hooge, A., Hauggaard-Nielsen, H., Heinze, W.M., Lyngsie, G., Ramos, T.M., Sandgaard, M.H., Vollertsen, J., & Syberg, K. (2023) Fate of microplastics in sewage sludge and in agricultural soils. *Trends in Analytical Chemistry*, 166, 117184.
- [13] Zhang, H., Qi, H.-Y., Zhang, Y.-L., Ran, D.-D., Wu, L.-Q., & Wang, H.-F. (2022) Raymond Jianxiong Zeng, Effects of sewage sludge pretreatment methods on its use in agricultural applications. *Journal of Hazardous Materials*, 428, 128213.
- [14] European Commission, (22.05.2023): Working Document on Sludge, SWD, 158 final.
- [15] European Commission (1986): Council Directive of 12 June 1986 on the Protection of the Environment, and in Particular of the Soil, when Sewage Sludge is Used in Agriculture (86/278/EEC). Council of the European Communities, Official Journal of the European Communities No. L 181/6-12.
- [16] Resmi Gazete, (2010). Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 27661.
- [17] European Commission (2000): Working Document on Sludge. 3rd Draft. Brussels, 27 April 2000, ENV.E.3/LM.