

## Aritma Çamurlarının Toprakta Alınabilir Kurşun ve Dehidrogenaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri

Ayten KARACA<sup>1</sup>Koray HAKTANIR<sup>1</sup>

Geliş Tarihi: 10.01.2000

**Özet:** Bu araştırmada, İzmit DUSA (Endüstriyel İplik Üretimi) ve SEKA (Kağıt ve Selüloz Üretimi) fabrikalarının atık su arıtma tesislerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının İzmit Alikahya Köyü'nden alınan tarım toprağının alınabilir kurşun (Pb) ve dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerinde yapmış olduğu etkiler araştırılmıştır. Bu amaçla, laboratuvar ortamında hazırlanan toprak-çamur karışımları tarla kapasitesinin % 70'i kadar nemlendirilerek 28°C 'de inkübasyona alınmıştır. Belirli oranlarda atık çamur örnekleri uygulanmış (kontrol, 20, 40, 80, 160 tonha<sup>-1</sup>) toprak örneklerinde, alınabilir Pb 1., 5., 15., 30., 60., 120. ve 240. gün olmak üzere 7 inkübasyon döneminde, dehidrogenaz aktivitesi de 1., 3., 7., 14., ve 30. gün olmak üzere 5 inkübasyon döneminde belirlenmiştir.

İki atık çamurunun farklı dozlarının topraklara uygulanmasıyla alınabilir Pb kapsamında önemli artışların bulunduğu belirlenmiş olup (P<0.01), SEKA çamuru ilave edilmiş toprakların alınabilir Pb kapsamındaki artışın DUSA çamuruna göre tüm dozlarda fazla olduğu saptanmıştır.

DUSA ve SEKA çamurları dehidrogenaz aktivitesini farklı etkilemiştir. Her iki çamurun yüksek dozlarda ilave edildiği topraklarda dehidrogenaz aktivitesi artış göstermiş olup, bu artışın DUSA çamurunda daha fazla olduğu belirlenmiştir. DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesi SEKA çamuruna göre daha fazla belirlenmiştir. DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda inkübasyonun 30. gününde 160 tonha<sup>-1</sup> çamur dozunda dehidrogenaz aktivitesi 55.56 µgTPF g<sup>-1</sup> olarak bulunmuşken, aynı inkübasyon süresi ve aynı dozda ilave edilmiş SEKA çamurunda aktivite 38.90 µgTPF g<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Arıtma çamuru, toprak, alınabilir kurşun, dehidrogenaz aktivitesi

### Effects of Sewage Sludges on Available Lead and Dehydrogenase Enzyme Activity in Soil

**Abstract:** In this research, effects of these sludges of DUSA (Industrial Yarn Manufacturing) and SEKA (Paper and Cellulose Production) on soil available lead and dehydrogenase activity in soil, taken from İzmit Alikahya village, were searched. For this purpose, soil-sludge mixtures were kept at 70% field capacity during incubation period at 28°C. Applied waste sludge (0, 20, 40, 80 and 160 tonha<sup>-1</sup>) soil samples were analyzed at 7 different incubation periods (1., 5., 15., 30., 60., 120., 240.) to determine available Pb and 5 different incubation periods (1., 3., 7., 14., ve 30.) to determine dehydrogenase activity.

Applying of both sludges have significantly increased available Pb content in the soil (P<0.01). However, that increasing in soil applied SEKA sludge was higher than applied DUSA sludge in all doses.

The effects of DUSA and SEKA sludges on dehydrogenase activity are different. Dehydrogenase activities were increased in high doses of both sludges, especially in DUSA sludge. Dehydrogenase activity of soil applied DUSA and SEKA were found 55.56 µgTPF g<sup>-1</sup> and 38.90 µgTPF g<sup>-1</sup> at dose of 160 tonha<sup>-1</sup> in 30<sup>th</sup> day, respectively.

**Key Words:** Sewage sludge, soil, available lead, dehydrogenase activity

#### Giriş

Arıtma çamuru meydana geldiği endüstriyel kuruluşun çeşidine göre, içinde organik bileşikler, asitler, alkaliler, metal tuzları (Hg, Cd, As, Co, Pb, Cr vb.), fenoller, organik fosfor, azot gibi maddeler ve bileşikler içerebilmektedir (Karpuzcu, 1991).

Arıtma çamurları içeriklerine bağlı olarak toprakların ağır metallerce bulaşmasına, organik mikro kirlenmelerin topraklara ulaşmasına neden olarak toprak kirliliği yaratmaktadır. Bu çamurlar içerdikleri bitki besin maddesi miktarına bağlı olarak toksisite ve yeraltı sularının

kirlenmesine neden olabilmektedirler. Arıtma tesislerinde oluşan çamurlar değişik işlemlerden geçirildikten sonra toprağa verilmekte, denize deşarj edilmekte, dolgu materyali olarak kullanılmakta veya yakılmaktadır. Arıtma çamurlarının çevreye en az zarar verecek biçimde bertarafı ve içerdikleri besin elementlerinin madde dolanımına sokulması amacıyla araziye verilmesi en uygun yöntem olarak düşünülse de, bunların topraklara ve yeraltı sularına yapabileceği etkileri araştırmak ve buna göre arazide bertarafına karar vermek gerekir (Turaloğlu ve Erdin, 1990).

<sup>1</sup> Ankara Üniv. Ziraat Fak. Toprak Bölümü- Ankara

Aritma çamurunun tarımda kullanımı ile ilgili olarak Avrupa Topluluğu 1986 yılında bir yönerge yayınlamıştır. Bu yönergede, Avrupa'daki farklı iklim ve coğrafik özellikler dikkate alınarak toprakta bulunabilecek ağır metallerin azami konsantrasyonları verilmektedir. Aritma çamurlarının tarımda kullanımının artması bu amaçla kullanılabilir çamurların, özellikle ağır metaller yönünden daha sıkı standartlara tabi tutulmasını beraberinde getirmiştir.

Dünyada arıtma çamurlarının tarımda değerlendirilmesi konusunda önemli çalışmalar yapılırken ülkemizde henüz yeterli çalışmanın bulunduğunu söylemek zordur. Özellikle son aşamada çamurun uzaklaştırma sistemlerinin maliyeti düşünüldüğünde ülkemiz gibi gelişmekte olan bir ülkede bu tip pahalı çözümler yerine çamurun tarım alanlarında kullanımı en uygun çözümlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Akça ve ark., 1996).

Tarım alanlarında çamurun kullanımı bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Yüksek miktarlarda iz element içeren arıtma çamurlarının toprakların mikrobiyal aktiviteleri üzerine etkileri konusunda pek çok çalışma yapılmıştır (Bond ve ark., (1976); Liang ve Tabatabai, (1977); Frankberger ve ark., (1983)). Aritma çamurlarının toprakların enzim aktiviteleri üzerine etkileri, örneğin üreaz aktivitesi (Tabatabai, 1977), fosfataz aktivitesi (Juma ve Tabatabai, 1977), arylsülfataz aktivitesi (Al-Khafaji ve Tabatabai, 1979), amidaz aktivitesi (Frankberger ve Tabatabai, (1981), glikozidaz aktivitesi (Eivazi ve Tabatabai, 1990; Eivaza ve Zakaria, 1993) ve dehidrogenaz aktivitesi (Reddy ve Faza, 1988) üzerine etkileri konusunda da araştırmalar bulunmaktadır.

Toprakta mikroorganizmaların biyolojik aktiviteleri ile ilgili bilgi edinmenin en çabuk yolu katalaz ve dehidrogenaz aktivitesini tespit etmektir. Çünkü her iki enzim de ağır metallerle karşı çok hassas (Naplakova ve Bulavko, 1983; Perez ve Gonzalez, 1987; Wilke, 1991) ve çabuk ve kolay yöntemler ile tespit edilebilmektedir (Rogers ve Li, 1985).

Toprak kirliliğinden sorumlu çeşitli inorganik kökenli elementlerin yanı sıra, Cd ve Pb gibi ağır metaller en önemli yerli tutmaktadır. Çünkü bu metaller toprağa değişik yollarla girmekte ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilmeden uzun yıllar toprakta kalmakta ve biyolojik aktiviteleri en fazla etkileme özelliğine sahip olmaktadır (Blum, 1989).

Ülkemizde arıtma çamurlarının tarımda kullanılması Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile düzenlenmiştir. Bu yönetmelikte arıtma çamurlarının kullanma sınırlamaları ve yasakları belirtilmiştir. Tarımda kullanılacak arıtma çamurunda ve toprakta müsaade edilen ağır metal içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Ülkemizde arıtma çamurlarının ne şekilde uzaklaştırılacağına dair yayınlanmış veriler bulunmadığından arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanım oranı bilinmemektedir. Ancak ülkemizde arıtma tesislerinin sayısının artmasıyla birlikte artan arıtma çamurlarının bertarafında ilk akla gelen, tarım, şehir ve endüstrinin içice geçmiş olduğu bölgelerde tarım alanlarında kullanımıdır. Bu nedenle bu çalışmada,

Çizelge 1. Tarımda kullanılacak arıtma çamurunda ve toprakta müsaade edilen ağır metal içerikleri (Katı atıkların kontrolü yönetmeliği, 1991)

Ağır metal mgkg <sup>-1</sup>	Sınır değer	
	Aritma çamuru	Toprak
Pb	1200	100
Cd	20	3
Cr	1200	100
Cu	1200	100
Ni	200	50
Hg	25	2
Zn	3000	300

Ülkemizin hem endüstriyel, hem de tarımsal yönden en çok göze çarpan bölgelerinden biri olan İzmit ili seçilmiştir. Bu bölge tarım ile endüstrinin içice geçtiği bir bölge olarak çok çeşitli kirlilik sorunlarıyla karşı karşıyadır.

Bu araştırmada, topraklara verildiğinde ciddi toprak kirliliği sorunları yaratmayacağı düşünülen ve gübrelemeye alternatif olabilecek düzeyde bitki besini içeren arıtma çamuruna sahip ve çamurların ağır metal içeriği Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen ağır metal limit değerini aşmayan SEKA ve DUSA tesislerinin arıtma çamurları seçilmiştir. Böylece topraklara uygulanmasında mevzuata göre engel olmayan çamurların toprakta alınabilir kurşun miktarı ve toprak biyolojik parametrelerinden Dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerine etkisi ve en uygun uygulama dozu 240 günlük bir periyot da izlenmiştir.

### Materyal ve Yöntem

Araştırmada kullanılan toprak örneği İzmit- Alkahya köyünden ve 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Arıtma çamuru materyali olarak ise SEKA İzmit Kağıt Fabrikası arıtma tesisi ve DUSA Endüstriyel İplik Üretim Fabrikası arıtma tesisinden çıkan arıtma çamurları kullanılmıştır.

### İnkübasyon denemesi

İki farklı arıtma çamurunun deneme süresi boyunca toprakların alınabilir Pb miktarları ile dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerindeki etkinliğini saptamak amacıyla kurulan inkübasyon denemesi 5 SEKA çamuru, 5 DUSA çamuru konulu, 3 yinelemeli ve alınabilir Pb için 1., 5., 15., 30., 60., 120. ve 240. gün olmak üzere 7 inkübasyon döneminde, dehidrogenaz aktivitesi için de 1., 3., 7., 14., ve 30. gün olmak üzere 5 inkübasyon döneminde tesadüf parselleri deneme deseninde yürütülmüştür.

### Deneme konuları

A: Kontrol, B: 20 tonha<sup>-1</sup> çamur, C: 40 tonha<sup>-1</sup> çamur, D: 80 tonha<sup>-1</sup> çamur, E: 160 tonha<sup>-1</sup> çamurdur. 400 cm<sup>3</sup> hacimli plastik kaplarda mutlak kuru madde ilkesine göre 200 g. toprak materyaline yukarıda belirtilen düzeylerde iki farklı arıtma çamurlarından ilave edilmiştir. Karışım toprakları tarla kapasitesinin % 70'i oranında nemlendirilmiş, plastik kaplar streçlenerek 28 °C'ye ayarlı inkübatörde inkübasyona alınmıştır. 1, 5, 15, 30, 60, 120 ve 240 günlük inkübasyon süreleri sonunda alınabilir Pb ve 1, 3, 7, 14 ve 30 günlük inkübasyon süreleri sonrasında da dehidrogenaz aktivitesi belirlenmiştir.

Denemede kullanılan toprak örneği 2 mm'den elenmiş, kurutulmuş ve gravimetrik olarak nem tayini yapılmıştır. Fabrikalardan alınan çamur örnekleri laboratuvara getirildikten sonra kurutulup 2 mm'den elenerek analize hazır hale getirilmiştir.

#### Toprak örneklerinin analizi

Toprak örneğinde tarla kapasitesi Richards (1954)'a göre, solma noktası Richards (1949)'a göre 15 atm basınca dayanıklı seramik levha kullanılarak, hacim ağırlığı De Boodt ve ark. (1973)'e göre bozulmuş toprak örneğinde, organik madde Jackson (1962)'e göre Walkey-Black yönteminin modifiye edilmiş şekli ile, EC ve pH Richards (1954)'e göre saturasyon ekstraktından ölçülerek, toplam N,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  ve  $\text{NO}_3^--\text{N}$ 'u Bremner (1965) Kjeldahl yöntemine göre, C/N oranı hesap yolu ile bulunan organik karbonun, belirlenen N miktarına bölünmesiyle, KDK ve serbest iyonlar Richards (1954)'e göre, değişebilir katyonlar Börekçi (1991)'e göre, % karbonat Çağlar (1958) metoduyla, tane büyüklüğü dağılımı Bouyoucos (1951)'a göre, toplam P Kacar (1996)'a göre perklorik asit çözeltisi ile yaş yakma metoduyla, yarıyıllı P Kacar (1990) tarafından bildirildiği şekilde 0.5 M  $\text{NaHCO}_3$  çözeltisi kullanılarak ekstrakte edilmiş olup vanado molibdo sarı renk esasına göre spektrometrede belirlenmiştir.

Her inkübasyon dönemi sonunda belirlenen alınabilir Pb, Lindsay ve Norvell (1978) tarafından belirtildiği şekilde 0.005 M DTPA ve 0.1 M kalsiyum klorür çözeltisi ile ekstrakte edilip AAS' de grafit fırın kullanılarak belirlenmiştir. Her inkübasyon dönemi sonunda belirlenen dehidrogenaz enzim aktivitesi ise, Beyer ve ark. (1993) tarafından belirtildiği şekilde 5 g toprak örneği TTC-TRIS buffer kullanılarak ekstrakte edilmiş, ekstraktlar 24 saat 30 C' de karanlıkta inkübe edilmiş, 20 ml asetona 2 saat çalkalandıktan sonra 485 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir.

#### Çamur örneklerinin analizi

DUSA ve SEKA fabrikalarının atık su arıtma tesislerinden alınan arıtma çamuru örneklerinde pH, EC, organik madde, kireç, toplam N,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  ve  $\text{NO}_3^--\text{N}$ 'u, toplam ve yarıyıllı P, KDK, serbest iyonlar, değişebilir katyonlar, organik C, C/N oranı, % nem, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi ve solma noktası toprak örneklerinde belirtildiği şekilde belirlenmiştir. SEKA çamuru ağır metal değerleri Eroğlu ve ark. (1990) ve DUSA çamuru ağır metal değerleri Geveci (1995) tarafından belirlenmiştir.

Laboratuvar analizleri sonunda elde edilen verilerin istatistiki analizleri Yurtsever (1984)'e göre yapılmıştır.

#### Bulgular ve Tartışma

Denemede kullanılan toprak ve arıtma çamur örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de, toplam ve alınabilir ağır metal ve iz element değerleri de Çizelge 3'de verilmiştir.

#### SEKA ve DUSA çamurlarının toprağın alınabilir Pb kapsamı üzerindeki etkileri

SEKA ve DUSA çamurlarının farklı dozlarının 240 günlük inkübasyon süresi boyunca toprakların alınabilir Pb kapsamı üzerine etkileri ve buna ait istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere, 2 atık çamurunun farklı dozlarının topraklara uygulanmasıyla toprakların alınabilir Pb kapsamında önemli artışların bulunduğu belirlenmiştir ( $P<0.05$ ). Bu artışların dozlara ve inkübasyon süresine (kontrol toprakları hariç) bağlı olarak gerçekleştiği ve en fazla alınabilir Pb kapsamının 160 ton  $\text{ha}^{-1}$ 'lık dozda 240. günde gerçekleştiği belirlenmiştir.

SEKA çamuru ilave edilmiş topraklarda inkübasyonun 1. günü, kontrol ile ilk 3 uygulama dozunun alınabilir Pb miktarı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmazken, son doz olan 160 ton  $\text{ha}^{-1}$ 'lık çamur ilavesi alınabilir Pb miktarını artırmıştır ( $P<0.05$ ). Inkübasyonun diğer zamanlarında ise kontrole göre 4 farklı dozda ilave edilen çamur, artan doza bağlı olarak toprakların alınabilir Pb kapsamını artırmıştır ( $P<0.05$ ).

DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda inkübasyonun 1. günü, kontrol ile 4 farklı dozda ilave edilmiş çamur örneklerinin alınabilir Pb miktarı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmazken, inkübasyonun 5. ve 15. günlerinde ise 160 ton  $\text{ha}^{-1}$ 'lık çamur ilavesi alınabilir Pb miktarını artırmıştır ( $P<0.05$ ). Inkübasyonun 60., 120. ve 240. günlerinde ise kontrole göre artan dozlarda ilave edilen DUSA çamuru toprakların alınabilir Pb kapsamını artırmıştır ( $P<0.05$ ).

İki atık çamurunu kıyasladığımızda, SEKA çamuru ilave edilmiş toprakların alınabilir Pb kapsamındaki artışın DUSA çamuruna göre tüm dozlarda fazla olduğu saptanmıştır. Kontrole oranla toprakların alınabilir Pb miktarlarındaki değişim yüzdelerine bakıldığında, SEKA çamuru ilave edilmiş topraklarda en fazla % değişim inkübasyonun 240. gününde ve 160 ton  $\text{ha}^{-1}$  dozunda % 2710.3 olarak gerçekleşmiş, DUSA çamurunda ise yine en fazla değişim 240. günde ve 160 ton  $\text{ha}^{-1}$ 'lık çamur dozunda ancak % 1598.1 olarak gerçekleşmiştir.

Akther (1990), bir yıl süre ile ortalama olarak 150  $\text{mgkg}^{-1}$  Pb, 7.5  $\text{mgkg}^{-1}$  Cd, 50  $\text{mgkg}^{-1}$  Ni, 370  $\text{mgkg}^{-1}$  Cu ve 600  $\text{mgkg}^{-1}$  Zn içeren arıtma çamuru ilave ettiği toprakların Pb, Cd, Ni, Cu ve Zn dağılımını araştırdığı çalışmada, arıtma çamuru ilavesi sonucu topraklarda özellikle Pb ve Cd miktarlarında önemli artışların olduğunu belirtmiştir.

Williams ve ark. (1987), ağır metal içerikleri düşük ve yüksek olan iki farklı arıtma çamurunu topraklara ilave etmiş ve 9 yıl süre ile ağır metallerin toprak profilindeki dağılımını ve toplam ve alınabilir ağır metal miktarlarındaki değişimleri izlemişlerdir. Araştırmacılar, yüksek miktarda ağır metal içeren çamur ilave edilmiş topraklarda % 1 düzeyinde önemli ağır metal artışlarının olduğunu, ağır metal dağılımının da toprak profili boyunca değişim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 2. Araştırma toprağının ve çamur örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Örnek	pH (1: 2.5)	Ec dSm <sup>-1</sup>	CaCO <sub>3</sub> , %	Organik madde, %	Organik karbon %	Toplam azot, %	C/N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N mgkg <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N mgkg <sup>-1</sup>
Toprak	7.91	1.02	1.46	13.99	6.99	0.74	9.37	181.6	150.8
SEKA Çamuru	7.27	2.54	0.147	48.77	24.38	1.14	21.38	927.66	401
DUSA Çamuru	7.10	10.91	1.46	68.33	34.16	3.26	10.47	2120	905.66

Örnek	Toplam fosfor mgkg <sup>-1</sup>	Yarayışlı fosfor mg kg <sup>-1</sup>	KDK me 100 g <sup>-1</sup>	Değişebilir katyonlar me100 g <sup>-1</sup>			Tekstür %			
				Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup> + Mg	Kum	Silt	Kil	Sınıfı
Toprak	2605	293.25	34.62	0.58	7.51	26.52	28.4	29.2	42.4	C
SEKA çamuru	301.10	181.60	179.03	4.31	2.13	172.26	-	-	-	-
DUSA çamuru	2600.30	433.46	51.91	6.86	5.52	39.53	-	-	-	-

Çizelge 3. Araştırmada kullanılan SEKA ve DUSA çamurlarının ağır metal miktarları

Parametre (mgkg <sup>-1</sup> kuru çamur)	SEKA çamuru		DUSA çamuru	
	Toplam	Alınabilir	Toplam	Alınabilir
Pb	77	1.43	19.2	0.79
Zn	310	91.05	200	43.07
Fe	2950	97.00	3200	62.00
Cu	220	39.25	276	79.97

Çizelge 4. İnkübasyon süresi boyunca iki farklı arıtma çamuru ilave edilmiş toprakların alınabilir Pb (mg kg<sup>-1</sup>) kapsamındaki değişim

	Gün	Kontrol	20 tonha <sup>-1</sup>	40 tonha <sup>-1</sup>	80 tonha <sup>-1</sup>	160 tonha <sup>-1</sup>
SEKA	1.	0.395 B a	0.443 B b	0.466 B c	0.483 B c	0.643 A e
	5.	0.388 C a	0.446 BC b	0.488 B c	0.516 B c	0.975 A d
	15.	0.376 D a	0.491 C b	0.545C b	0.683 B c	1.156 A d
	30.	0.375 E a	0.566 D b	0.770 C b	1.136 B b	1.816 A d
	60.	0.339 E a	0.650 D b	0.835 C b	1.403 B b	2.583 A c
	120.	0.349 E a	0.719 D a	1.776 C a	2.263 B a	3.94 A b
DUSA	1.	0.323 E a	0.816 D a	1.960 C a	2.880 B a	5.07 A a
	5.	0.395 A a	0.391 A b	0.420 A b	0.456 A c	0.510 A d
	15.	0.388 B a	0.378 B b	0.423 B b	0.483 B c	0.646 A d
	30.	0.376 C a	0.385 C b	0.440 BC b	0.503 B c	0.853 A c
	60.	0.375 C a	0.425 C a	0.471 C b	0.770 B c	0.923 A c
	120.	0.339 E a	0.479 D a	0.590 C a	0.855 B b	1.076 A c
	240.	0.349 E a	0.500 D a	0.717 C a	1.223 B b	1.893 A b
	240.	0.323 E a	0.726 D a	0.926 C a	1.86 B a	3.48 A a

SEKA çamuru için LSD (%5): 0.305

DUSA çamuru için LSD (%5): 0.382

Büyük harfler uygulama dozları arasındaki ilişki (yatay), küçük harfler inkübasyon dönemleri arasındaki ilişkiyi (düşey) göstermektedir.

O'Riordan ve ark. (1994), düşük miktarlarda Cu, Zn ve Pb içeren arıtma çamurunun toprağa ilavesi sonucu 3 yıl süre ile toprakların toplam ve alınabilir Cu, Zn ve Pb miktarlarındaki değişimi araştırmışlardır. Araştırmacılar, 3 yıl süre ile ve yılda 3 kez olmak üzere 25, 50 ve 75 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> çamuru toprağa ilave etmişler, ilk yıl toplam ve alınabilir metal miktarlarındaki artışın önemli olmadığını ancak, 1. yıldan sonra topraktaki Zn, Cu ve Pb'nin gerek toplam ve gerekse alınabilir miktarlarında önemli artışların olduğunu belirtmişlerdir.

Bu veriler ve çalışmamızdaki sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde ağır metal içeriği literatürlerde görülen örneklerden daha düşük olan bir çamur uygulamasında bile özellikle doz ve zamana bağlı olarak alınabilir Pb düzeylerinde çok önemli artışlar saptanması uzun vadeli kullanımlar söz konusu olduğunda toprak sisteminde ve alınabilir formda Pb olasılığını kuvvetle ortaya koymaktadır.

### SEKA ve DUSA çamurlarının toprağın dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerine etkileri

SEKA ve DUSA çamurlarının farklı dozlarının 240 günlük inkübasyon süresi boyunca toprakların dehidrogenaz aktivitesi üzerine etkileri ve buna ait istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere, 2 atık çamurunun farklı dozlarının topraklara uygulanmasıyla toprakların dehidrogenaz enzim aktivitelerinde önemli değişimlerin olduğu belirlenmiştir (P<0.05).

SEKA çamuru ilave edilmiş topraklarda inkübasyonun 1. ve 5. günlerinde, artan doz miktarına bağlı olarak toprakların dehidrogenaz aktivitesi azalmıştır (P<0.05). İnkübasyonun 7. gününden itibaren son inkübasyon gününe kadar (30 gün) 20 ve 40 tonha<sup>-1</sup> çamur ilave edilmiş topraklarda aktivite kontrole oranla azalmaya devam ederken, 80 tonha<sup>-1</sup> ve 160 tonha<sup>-1</sup>

Çizelge 5. İnkübasyon süresi boyunca iki farklı arıtma çamuru ilave edilmiş toprakların dehidrogenaz enzim aktivitesindeki değişim ( $\mu\text{gTPF g}^{-1}$ )

	Gün	Kontrol	20 tonha <sup>-1</sup>	40 tonha <sup>-1</sup>	80 tonha <sup>-1</sup>	160 tonha <sup>-1</sup>
SEKA	1.	54,66 A c	37,53 B a	31,05 C a	29,70 D c	25,60 E d
	3.	63,96 A a	38,60 B a	29,70 C a	27,72 D d	23,93 E d
	7.	61,30 A b	13,72 C b	11,09 D b	29,90 B c	29,76 B c
	14.	59,76 A b	10,33 D c	8,98 E c	32,72 C c	36,60 B c
	30.	45,00 A d	7,53 D d	5,36 E c	34,90 C a	38,90 B a
DUSA	1.	54,66 A c	49,79 B a	45,78 C a	41,96 D ab	36,16 E d
	3.	63,66 A a	46,28 B b	43,48 C b	39,42 D c	30,93 E e
	7.	61,30 A b	26,26 D c	21,79 E c	34,10 C d	41,76 B c
	14.	59,76 B a	15,77 D d	11,89 E d	40,16 C bc	49,86 B b
	30.	45,00 B d	14,15 C d	10,66 D a	43,50 B a	55,56 A a

SEKA çamuru için LSD (%): 0,150

DUSA çamuru için LSD (%): 0,116

Büyük harfler uygulama dozları arasındaki ilişki (yatay), küçük harfler inkübasyon dönemleri arasındaki ilişkiyi (düşey) göstermektedir.

çamur dozu ilave edilmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesi önemli ölçüde artış göstermiştir ( $P<0.05$ ).

DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda da SEKA çamuru ilave edilmiş topraklara benzer sonuçlar elde edilmiş olup, inkübasyon süresi boyunca kontrol ve 20 ve 40 tonha<sup>-1</sup> çamur ilave edilmiş topraklarda enzim aktivitesi azalmıştır. 80 tonha<sup>-1</sup> ve 160 tonha<sup>-1</sup> çamur dozu ilave edilmiş topraklarda da inkübasyonun ilk 7 gününde azalmalar gözlenmiş olup, inkübasyonun 7. gününden itibaren ise, dehidrogenaz aktivitesi önemli ölçüde artış göstermiştir ( $P<0.05$ ).

İki atık çamurunu kıyasladığımızda, DUSA ve SEKA çamurları dehidrogenaz aktivitesini farklı etkilemiştir. Her iki çamurun yüksek dozlarda ilave edildiği topraklarda dehidrogenaz aktivitesi artış göstermiş olup, bu artışın DUSA çamurunda daha fazla olduğu belirlenmiştir. DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesi SEKA çamuruna göre daha fazla belirlenmiştir. DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda inkübasyonun 30. gününde 160 tonha<sup>-1</sup> çamur dozunda dehidrogenaz aktivitesi 55,56  $\mu\text{gTPF g}^{-1}$  olarak bulunmuşken, aynı inkübasyon süresi ve aynı dozda ilave edilmiş SEKA çamurunda aktivite 38,90  $\mu\text{gTPF g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir.

Aritma çamuru ilave edilmiş topraklarda enzim aktivite dağılımı konusunda yapılmış araştırmalara bakılacak olursa; Reddy ve Faza (1989), 0, 40, 80 ve 120 ton ha<sup>-1</sup> oranlarında atık çamur ilavelerinin toprakta dehidrogenaz aktivitesi üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, inkübasyonun ilk 24 saatinde dehidrogenaz aktivitesinin arttığını, 48 ve 72 saatlik inkübasyon dönemlerinde de aktivitenin artış gösterdiğini, atık çamur miktarının artmasıyla aktivitede de azalma olduğunu belirtmişlerdir. İnkübasyonun 96. saatinde ise aktivitenin azalma gösterdiğini belirten araştırmacılar, yüksek dozlarda atık çamur ilave edilmiş topraklarda aktivitedeki önemli düşüşün çamurlardaki ağırmetallerden kaynaklanabileceği görüşünü ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılar aynı zamanda toprakta genel olarak mikrobiyal aktivitenin 72 saatlik inkübasyon süresinde maksimum noktaya ulaştığını, bu süreden sonra ise aktivitede azalmaların meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Wilke (1991), ağır metallerin toprakta dehidrogenaz aktivitesi üzerine etkilerini araştırmış ve toprakta Cd, Ni ve Zn varlığının 30 gün içinde dehidrogenaz aktivitesini önemli ölçüde ( $P<0.05$ ) azalttığını belirtmiştir.

Beyer ve ark. (1993), dehidrogenaz aktivitesinin toprakta mikrobiyal aktivite seviyesini yansıtmayan bazı özel reaksiyonlarla ilişkili olduğunu ve bu reaksiyonların toprak redoks potansiyeli, toprak su akış sistemi ve toprak havası olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar aynı toprak tipi, tekstür, pH, organik C ve kile sahip topraklarda yukarıda belirtilen özel reaksiyonların dehidrogenaz aktivitesini etkilediğini belirlemişlerdir.

Eiyazi ve Zakaria (1993), arıtma çamuru ilave ettikleri topraklarda glikozidaz enzim aktivitesi tayin etmişler ve düşük dozlarda çamur ilavesinin enzim aktivitesini 30 günlük inkübasyon süresi boyunca önemli düzeyde azalttığını ve yüksek dozlarda ilave edilen çamura bağlı olarak da aktivitenin arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar ilave edilen çamurun organik madde içeriğine ve doza bağlı olarak topraklarda enzim aktivitesinin değiştiğini, buna ilaveten de yüksek dozda çamur ilavesi ile beraber aktivitede önemli artışların olduğunu belirtmişlerdir.

Taşatar ve Haktanir (1997)'in DUSA ve SEKA çamurları ile yaptıkları araştırmalarında, çamur ilave edilmiş topraklarda üreaz aktivitesi çamur dozuna bağlı olarak 3 aylık inkübasyon süresi boyunca artış göstermiş ve DUSA çamurunda üreaz aktivitesi SEKA çamuruna oranla fazla bulunmuştur.

Bu araştırmada da iki farklı nitelikteki çamurun dozuna ve çamur tipine bağlı olarak dehidrogenaz aktivite değişim göstermiş olup, daha fazla organik madde ve azot içeren DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesi SEKA çamuruna oranla yüksek bulunmuştur. DUSA ile ortaya çıkan fazlalığın mineralize olabilir N ve C kapsamı ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca düşük dozlarda her iki çamur ilavesi sonucu dehidrogenaz aktivitesi inhibe olurken, yüksek dozlardaki çamur ilavesi sonucu inkübasyonun 7. gününden itibaren aktivite önemli ölçüde artış göstermiştir. Artan doza

bağlı olarak organik madde miktarında ve azot miktarındaki artışın çamurun içerdiği iz elementlerin (doza ve zamana bağlı olarak alınabilir Pb miktarında artış belirlenmiş olmasına rağmen) inhibasyon etkisini maskeleyiş olabileceği ve çamurun ilave edildiği toprakların da killi ve yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olmasından ötürü ağır metallerin etkisini azaltabileceği düşünülmektedir. Bu görüşlerimiz Eivazi ve Zakaria (1993)'nin bulguları ile paralellik göstermektedir.

Sonuç olarak araştırmada kullanılmış olan arıtma çamuru örnekleri uluslararası standartlara göre, çok düşük miktarlarda alınabilir Pb içermektedir. Ancak bu materyal yüksek miktarda organik madde ve besin elementi içerdiğinden, gübre olarak kullanılma olasılığı bulunmaktadır. Fakat çamur örneklerinin, topraklara ilavesi sonucu Pb birikimine neden olabileceği ve bu birikimin çamurun uzun yıllar ilavesi ile birlikte artacağı, bunun da bitki, hayvan ve insanlar için tehlike teşkil oluşturabileceği söylenebilir.

#### Kaynaklar

- Akça, L., Çilili, E. ve N. Tüfekçi, 1998. Arıtma çamurlarının tarım alanlarında değerlendirilmesi. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, 35-42, Mersin.
- Akther, M. S. 1990. Trace metal analysis of sewage sludge and soils in Bahrain. *Water, air and soil Pollution*, 51, 147-152.
- Al-Khafaji, A. A. and M. A. Tabatabai, 1979. Effects of trace elements on arylsulfatase activity in soils. *Soil Sci.*, 127, 129-133.
- Beyer, L., Wachendorf, C., Eisner, D.C. and R. Knabe, 1993. Suitability of dehydrogenase activity assay as an index of soil biological activity. *Biol. Fertil. Soils.*, 16, 52-56.
- Blum, W. E. H. 1989. Soil pollution by heavy metals: causes, processes, impacts and need for future actions. In: Proceedings of third meeting. Steering Committee for the conservation and management of the environment and natural habitats (CDPE), Strasbourg.
- Bond, H., Lighthart, B., Shimabuku, R. and L. Russell, 1976. Some effects of Cd on coniferous forest soil and litter microcosms. *Soil Sci.*, 221, 278-287.
- Bouyoucos, G. J. 1951. Are Calibration of the Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 43, 9.
- Bremner, J. M. 1965. "Total Nitrogen". In *Methods of Soil Analysis 2*, (C.a. Black, Ed), 1145-1178. Amirecan Society of Agronomy, Madison, Wis.
- Börekçi, M. 1991. Türkiye topraklarında KDK ile değişebilir toprakların tayininde uygulanacak metodlar. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bak., Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Ens. Md. 174, 37-40, Ankara.
- Çağlar, K.Ö. 1958. Toprak İlimi, A.Ü.Ziraat Fak. No. 241, Ankara.
- De Boodt, M., Verdonck, O. and I. Cappaert, 1973. Method of measuring the water release curve of organic substrates. *Proceeding Symposium Artificial Media in Horticulture*. 2054-2062.
- Eivazi, F. and A. Zakaria, 1993.  $\beta$ -Glucosidase activity in soils amended with sewage sludge. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 43- 155-161.
- Eivazi, F. and M. A. Tabatabai, 1990. Factors effecting glucosidase and galactosidase activities in soils. *Soil Biol. Biochem.* 22(7), 891-897.
- Eroğlu, V., Baştürk, A., Dalarstan, C., Atun, F. ve Şakiroğlu, N. 1990. SEKA İzmit müessesesi atıksu tasfiye tesisi çamurlarının biyolojik metodlarla bertarafı. İTÜ 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, İstanbul.
- Frankberger, Jr., W. T. and M. A. Tabatabai, 1981. Amidase activity in soils.: V. effects of trace elements and pesticides. *Soil Sci. Soc. Am.*, 45-120-124.
- Frankberger, Jr., Johanson, W. T. and C. O. Nelson, 1983. Urease activity in sewage sludge amended soils. *Soil Biol. Biochem.*, 15 (5), 543-549.
- Geveci, A. 1995. DUSA Endüstriyel İplik Sanayi ve Tic. A.Ş.'nin çamur analiz raporu. Çevre Müh. Bölümü, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Kocaeli.
- Jackson, M. L. 1962. *Soil Chemical Analysis*, Prentice Hall Inc. Eng. Cliffs. U.S.A.
- Juma, N. G. and M. A. Tabatabai, 1977. Effects of trace elements on phosphatase activity in soils. *Soil Sci. Soc. Am.*, 41, 343-346.
- Kacar, B. 1990. Gübre analizleri. A.Ü Ziraat Fak. Eğitim Araştırma Geliş. Vakfı Yayını, Ankara.
- Kacar, B. 1996. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. A.Ü.Ziraat Fak. Eğitim Araştırma Geliş. Vakfı Yayını, no. 3, 223-225, Ankara.
- Karpuzcu, M. 1991. Çevre kirlenmesi ve kontrolü. Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilim. Enst. Yayınları, İstanbul.
- Liang, C. N. and M. A. Tabatabai, 1977. Effects trace elements on nitrogen mineralization in soils. *Environ. Pollut.*, 12, 141-147.
- Lindsay, W. L. and Norwell, W. A., 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42, 421-428.
- Naplekova, N. N. and Bulavko, G. I. 1983. Enzyme Activity of Soils Polluted by Lead Compounds. *Soviet Soil Sci.* 15: 33-38.
- O'Riordan, E. G., Dodd, V. A. and Fleming, G. A., 1994. Spreading a loow metal sludge on grassland: Effects on soil and herbage heavy metal concentrations. *Irish J. of Agricultural and Food Research*, 33, 61-69.
- Perez-Mateos, M. and Gonzalez-Carcedo, S. 1987. Effect of Cadmium and Lead on Soil Enzyme Activity. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 1: 11-18.
- Reddy, G. B. and Faza, A. 1989. Dehydrogenase activity in sludge amended soil. *Soil Biol. Bioch.* 21, 327.
- Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U.S.D.A. Handbook 60.
- Richards, L. A. 1949. Methods of measuring soil moisture tansion. *Soil Sci.*, 68, 95-112.

Rogers, J. E. and Li, S. W. 1985. Effect of Metals and Other Inorganic Ions on Soil Microbial Activity: Soil Dehydrogenase Assay as a Simple Toxicity Test. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 34: 858-865.

Tabatabai, M. A. 1977. Effects of trace elements on urease activity in soils. Soil Biol. Bioch. 9, 9-13.

Taşatar, B. ve K. Haktanir, 1997. Endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. Doktora tezi, A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Turaloğlu, S. ve E. Erdin, 1990. Sanayi kökenli arıtma çamurunun arazide bertarafı. İTÜ 2. Endüstriyel kirlenme sempozyumu, İstanbul.

Wilke, B. M. 1991. Effects of single and successive additions of Cd, Ni and Zn on CO<sub>2</sub> evolution and dehydrogenase activity in a sandy luvisol, Biol. Fertil. Soils, 11, 34-37.

Williams, D. E., Vlaims, J., Pukite, A. H. and J. E. Corey, 1987. Metal movement in sludge amended soils: A nine year study. Soil Sci. 143 (2), 124-131.