

## KENTSEL ARITMA ÇAMURUNUN TARIMSAL KULLANIMI

Bülent TOPCUOĞLU <sup>(1)</sup>

### GİRİŞ

Kentsel atıksu arıtma çamuru (kısaca arıtma çamuru) kentsel atıksu arıtımının kaçınılmaz bir son ürünüdür ve atıksuyun arıtımından kalan birçok kirleticileri içermektedir. Arıtma çamuru çoğunlukla organik madde ve besin yüklü organik katılardan oluşan ve arıtma tekniğine bağlı olarak kıvamlı bulamaç yada kuru formda değişebilen konsantre katılar süspansiyonudur. Arıtma çamuru miktarının; kanalizasyondan yararlanan nüfusun artışı, endüstrileşmenin yaygınlaşması ve daha fazla sayıda atıksu arıtma tesislerinin hizmete girmesiyle daha da artacağı beklenmektedir. Arıtma çamuru miktarının giderek artması ve ayrıca kimyasal madde çeşitliliğinin gittikçe çoğalması sonucu çamurların yok edilmesi büyük bir sorun haline gelmiştir. Arıtma çamurlarının ortadan kaldırılması için yaygın yöntemlerden başlıcaları arazi dolguları, yakma, deniz deşarjları ve bitki yetiştirmede kullanım şeklindedir. Çamur bertaraf atıksu idaresi maliyetinin daima önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Mevcut yöntemlerle bu sorun çözülemediği için, bu konuda yeni araştırmalar yapma zorunluluğu doğmuştur. Birçok ülkede geçmiş 20 yıldan uzun bir süredir belirli çamur bertaraf pratikleri (ör. okyanus deşarjları ve arazi dolguları gibi) üzerinde yasal sınırlamalar getirilmiş, buda arıtma çamurunun tarımsal kullanımının artan bir şekilde ekonomik bir alternatif bertaraf yolu görülmesine yol açmıştır. Bu güne kadar yapılan araştırmaların ortak bulgusu, çamurların bitki yetiştirmek bakımından ekonomik bir değer taşıdığı hususunda hiç bir kuşkunun bulunmamasıdır.

Tarımsal kullanımının yanında arıtma çamuru işlenerek, 'Ender Kalite' adı verilen işleme düzeyinde çiçek bahçeciliğinde ve peyzaj alanlarında değerlendirilmekte ve pazarlanmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde halen arıtma çamurunun % 36'sı faydalı etkileri nedeniyle tarım alanlarında, çim yetiştirme alanlarında ve maden alanlarının reklamasyonu için araziye uygulanmakta, % 38' i arazi dolgusu şeklinde, % 16'sı yakılarak ve geri kalanı da diğer yöntemlerle bertaraf edilmektedir (Anonymous, 1993).

Birçok patojen ve kirletici içeren arıtma çamurunun kullanımına artan ilgi ve teşvik, bu geri kazanım pratiklerinin çevresel sonuçları ve potansiyel sağlık tehlikesi üzerinde artan bir sosyal endişe yaratmaktadır. Göreceli olarak yüksek düzeylerde ağır metal içeren arıtma çamurunun büyük miktarlarda üretimi, bu materyalin yeni ekolojik problemlere yol açmaksızın güvenli bertarafı için çözüm gereksinimini artırmaktadır.

Bu çalışmada arıtma çamurunun tarımsal kullanımında görülen yararlar ve zararlar ile geliştirilen önlemler ve düzenlemeler, günümüze kadar yapılan çalışmaların ışığında incelenecektir.

### ARITMA ÇAMURUNUN ÖZELLİKLERİ

Arıtma çamurunun bileşimi atıksuyun kaynağına, atıksuların arıtılma tekniğine ve atıksuyun niteliğine bağlı olarak çok değişken olmaktadır. Arıtma çamuru çoğunlukla organik katılar olmak üzere toksik organik kimyasalların, bitki besinlerini ve

<sup>(1)</sup> Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü Programı 07058 Kampüsü, Antalya

ağır metalleri de içeren inorganik kimyasalların ve bazı eksotik bileşiklerin bileşiminden oluşmakta, ve zengin bir tuz içeriğine sahip bulunmaktadır. Bitkilerin köklenmelerinde arıtma çamurunun hormonal etkisinin (IAA içeriği ve sitokin benzeri aktivite) belirlenmesi (Wiesman, vd, 1994) çamur içeriğinin şaşırtıcı farklılığını ortaya koymaktadır. Arıtma çamurları aynı zamanda sağlık bakımından endişe verici patojen bakteri, virüs ve parazit yumurtalarını da içerebilmektedir. Bu maddelerin miktarı ve bileşimi değişik ülkelere yada yerleşim bölgelerine göre tamamen farklı olabilmektedir. Çizelge 1'de arıtma çamurunun tipik bileşimi verilmiştir.

Çizelge 1. Ham Arıtma Çamurunun ve Çürütülmüş Arıtma Çamurunun Tipik Bileşimi (Tchobanoglous, 1979)

Ölçütler	Ham Arıtma Çamuru		Çürütülmüş Arıtma Çamuru	
	Değişim Aralığı	Tipik Bileşim	Değişim Aralığı	Tipik Bileşim
Toplam Katılar (TK), %	2.0-8.0	5.0	6.0-12.0	10.0
Uçucu Katılar*	60-80	65	30-60	40
Gres ve Yağlar (eter çözülebilir)*	6-30	-	5-20	-
Protein*	20-30	25	15-20	18
Azot*	1.5-6.0	4.0	1.6-6.0	4.0
Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )*	0.8-3.0	2.0	1.5-4.0	2.5
Potasyum (K <sub>2</sub> O)*	0.0-1.0	0.4	0.0-3.0	1.0
Selüloz *	8-15	10	8-15	10
Silisyum (SiO <sub>2</sub> )*	15-20	-	10-20	-
pH	5.0-8.0	6.0	6.5-7.5	7.0
Alkalinite (CO <sub>3</sub> ), mg/L	500-1500	600	2500-3500	3000
Organik Asitler(Asetik asit), mg/L	200-2000	500	100-600	200

\*Toplam Katıların % sidir.

Çizelge 1' in incelenmesinden de anlaşılacağı gibi arıtma çamurlarında kuru maddenin yaklaşık yarısını organik maddeler (uçucu maddeler içinde yer almakta) oluşturmakta, bitki besleyici öğeler yönünden azot ve fosfor içerikleri yüksek potasyum içeriklerinin düşük olduğu görülmektedir.

Ham arıtma çamuru biyolojik olarak kararlı olmadığından görünüş, koku ve hijyenik problemlere neden olabilmektedir. Anaerobik olarak çürütülmüş çamur ise biyolojik olarak kararlı olduğundan zararsız olduğu belirtilmektedir. Ayrıca arıtma çamurlarında büyük miktarlarda polisiklik aromatik karbonhidratlar (3,4-Benzpiren; 3,4-Benzfluoranthren; vb) bulunabilmekte olup bunlar kanserojen bileşiklerdir.

Arıtma çamurunun ağır metal içeriği kaynağına göre önemli ölçüde değişmektedir. Bu bakımdan kentsel atıksu arıtma çamurları ile endüstriyel atıksu arıtma çamurları arasında önemli farklar bulunmakta olup bu durum Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Bazı Arıtma Çamurlarında Belirlenmiş Bulunan Ağır Metal Konsantrasyonları (µg/g), (Jørgensen ve Johnsen, 1989, Çepel 1997'de )

Kaynak	Mg	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni	Co	Ag
Kentsel Atıksu Arıtma Çamuru	5	123	1380	7	218	42	20	6	13
Endüstriyel Atıksu Arıtma Çamuru	33	514	3665	10	317	163	163	10	100

Çizelge 2'nin incelenmesinden anlaşılacağı üzere kentsel ev idaresi atıksularının arıtımından sonra kalan çamurun daha düşük mineral madde yoğunluğunda olduğu, ayrıca ağır metaller içinde çinkonun dominant madde olduğu görülmektedir. Endüstriyel atıksular ve bunlardan çökeltilen arıtma çamurları zehirli ve bitkilere zararlı maddeler içerdiklerinden, bunların tarımda kullanılmaları oldukça sakıncalı görülmektedir.

### **ARITMA ÇAMURUNUN TARIMSAL KULLANIMDA POTANSİYEL ROLÜ**

Arıtma çamurunun tarımsal kullanımı modern atıksu yönetiminin başladığı yaklaşık 150 yıl öncesinden buyana denmektedir. Kentsel arıtma çamuru, organik gübre ve organik kompostu andırmakta ve ideal bir gübreye göre gübre elementlerini değişik oranlarda içerebilmektedir. Genel olarak tarımsal kullanımda çamurun yeri çok azdır. Tarımsal arazilerin arıtma tesislerine bölgesel ve yerel yakınlığı, kentsel arıtma çamurunun tarımsal kullanımındaki potansiyelini önemli ölçüde etkilemektedir. Üreticiler yönünden bazı faktörler de arıtma çamurunun tarımsal kullanımını sınırlamaktadır. Arıtma çamurunun kullanımı kimyasal gübrenin kullanımından daha zordur. Bunun sebebi atıksuların kaynağı olan yerleşim yerlerinin ve onların endüstriyel katılımlarının ve arıtma proseslerinin farklılığı sonucu oluşan çamurun fiziksel ve kimyasal niteliklerinin (farklı su, besin maddesi ve iz element içerikleri) değişken olması ve kısmen de koku ve hijyenik sorunlardandır.

Arıtma çamurunun tarımsal alanlarda kullanımı ve bitkisel üretimde çamurdaki geri dönüşümlü öğelerin kullanımıyla alternatif bir bertaraf sağlanmaktadır. Çamur bitki gelişimi için mutlak gerekli temel bitki besin maddelerini içermektedir. Çamurun bir toprak düzenleyicisi olarak kullanımı diğer organik esaslı toprak uygulamalarına benzer şekilde toprak fiziksel özelliklerini geliştirmektedir. ABD'nin orta-batı eyaletlerinin tarımsal alanlarında arıtma çamurunun uzun bir süredir mısır ve yem bitkilerinin yetiştirilmesinde kullanıldığı ve bu bölgedeki üreticilerin genelde arıtma çamurunu benimsediği bildirilmektedir. Madison ve Wisconsin eyaletlerinde toprak düzenleyicisi olarak talep edilen arıtma çamuru miktarının yerel arıtma tesislerinin ürettiği miktardan fazla olduğu, Los Angeles bölgesinde üretilen çamurun uzak bölgelerdeki büyük çiftliklere taşındığı bildirilmektedir.

Bununla birlikte, arıtma çamurunun ilk üretiminden buyana yapılan çoğu arazi uygulamalarında, toprak, bitki ve yeraltı sularına olumsuz etkileri konusunda çok az dikkat gösterilmiştir. Düşük konsantrasyonlardaki toksik kimyasallar kentsel atıksuya girmekte ve bu toksik kimyasalların çoğu atıksu arıtım prosesleriyle atıksudan alınarak arıtma çamurunda konsantre edilmektedir. Arıtma çamuru aynı zamanda insan patojenlerini de içermektedir. Atıksuda mevcut patojenlerin sayısı arıtma ile önemli derecede azaltılabildiği halde, patojenler ve toksik kimyasal kirleticiler çamur uygulanmış toprağa karışabilmektedir. ABD'de üreticiler ile gıda endüstrisi, arıtma çamurunun tarımsal kullanımının gıda ürünlerinin güvenliğini ve tarımsal alanlarda sürdürülebilirliği etkileyeceği, potansiyel ekonomik ve mesuliyet riskleri taşıyabileceği üzerinde endişelerini ifade etmektedirler (Anonymous, 1996). Halihazırda arıtma çamurunun araziye uygulamaları toprakta toksik kimyasalların ve patojenlerin düzeyini artırmaktadır. Kirleticilerin ve patojenlerin gıda ürünlerine bulaşmasından veya çevrede başka bir yere taşınmasından endişe duyulmaktadır.

## **ARITMA ÇAMURUNUN BİTKİ BESİN ÖZELLİKLERİ**

Aritma çamurunun bitki besin değeri birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve besin bileşiminin ahır gübresi ve organik kompost gibi tarım alanlarına rutin olarak uygulanan organik atık esaslı toprak düzenleyicilere benzer olduğu belirlenmiştir (Sommers, 1977). Aritma çamuru uygulamaları kültür bitkilerinde (Navaro-Pedreno vd, 1996; Moral vd, 1996; Perez-Espinosa vd, 1999) ve orman plantasyonlarında (Weetman vd, 1993) ürün miktarını artırmaktadır.

Aritma çamuru yüksek bitkilerin gelişimi için bütün mutlak gerekli elementleri içermektedir. Azot ve fosfor çamurda en bol bulunan temel bitki besin maddeleridir. Çamurun tarımsal kullanımı azot ve/veya fosforlu gübrenin hemen hemen yalnızca destekleyici bir kaynağı şeklinde olmaktadır (Anonymous, 1996). Aritma çamurunda toplam azotun büyük kısmının protein azotu olduğu ve çamurdaki azottan yararlanma katsayısının toprak tipi ve bitki türüne bağlı olarak % 10 ile % 30 arasında değiştiği, buna karşılık çamurdaki fosfordan bitkilerin yararlanmasının nispeten iyi olduğu, Thomas fosfat ve Süperfosfat gibi etkide bulunduğu belirtilmektedir (Haktanır ve Arcak, 1998). Aritma çamuru uygulamaları toprak ve bitki dokularında azot içeriğinde genel bir artış sağlamakta (Navaro-Pedreno vd, 1996) ve besin içeriğine eşdeğer oranlardaki NPK gübresinden daha yüksek ürün vermektedir (Moral vd, 1996).

Azot ve fosfora ek olarak arıtma çamuru, kalsiyum, potasyum, magnezyum, sodyum, demir, mangan, çinko gibi bitki gelişimi için diğer mutlak gerekli besin maddelerini de içermektedir. Uzun yıllar işlenen toprakların çinko ve bakır gibi iz elementleri yönünden sık sık eksiklik gösterdiği (Martens ve Westerman, 1991) ve kentsel arıtma çamurunun bu gibi yerlerde araziye uygulamalarının iz element eksikliklerini gidermede yardımcı olabileceği (Logan ve Chaney, 1983) bildirilmiştir. Aritma çamuru azot ve fosfor besini için agronomik miktarlarda uygulandığında, potasyumun olası istisnasıyla mutlak gerekli diğer besinlerin çoğunu genellikle ürünün ihtiyacını karşılayabilecek miktarda sağlayacağı bildirilmiştir (Chaney, 1990).

## **ARITMA ÇAMURUNUN TOPRAK, BİTKİ VE YERALTI SUYUNA ETKİLERİ**

Organik madde yönünden zengin olan arıtma çamuru, kompost ve ahır gübresi gibi diğer organik materyallerin toprağa uygulanmalarında olduğu gibi, yeterli miktarlarda uygulandığında toprak fiziksel koşullarını iyileştirmekte, besin ve suyu düzenlemede daha uygun bir ortam yaratmaktadır. Böylece toprakta su penetrasyonu, porozite, hacim ağırlığı, yapı dayanıklılığı ve agregat stabilitesi üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır.

Aritma çamuru bütün mutlak gerekli besin maddelerini sağlayabilmektedir. Ancak arıtma çamurunda bitki besinleri, besin özellikleri bitki gereksinimini karşılayabilecek şekilde imal edilen ticaret gübrelere benzemeyen şekilde, kontrol dışı bulunmaktadır. Bu nedenle seçilen bir besin gereksinimini sağlamak için agronomik oranlarda uygulanan arıtma çamuru diğer besinlerin düzeylerinin eksik yada fazla kalmasına neden olabilmektedir. Bütün çiftlik uygulamalarında olduğu gibi nitrat fazlalığından kaçınmak için uygun bir amenajman gereklidir. Aritma çamuru, kuru maddede yaklaşık olarak % 1-6 organik ve inorganik azot içermektedir. Çözünbilir inorganik azot formları doğrudan doğruya bitkiye yararlı olduğu halde, organik formların bitkiye yararlı forma dönüşmesi için mineralize olması gereklidir.

Aritma çamurunun yarayışlı bir azot kaynağı olarak kullanılmasında, aşırı gübrelemeden, bitkide nitrat birikiminden ve fazla nitratin yeraltı sularına potansiyel sızma tehlikesinden kaçınmak için organik azotun mineralizasyonu göz önüne alınmalıdır. Medalie vd (1994) aerobik olarak ihtimar edilmiş kentsel arıtma çamurunun toprağa uygulanmasından sonra, toprak çözeltisinde nitrati dominant anyon olarak belirlemişlerdir. Birçok çamur türü bir azot kaynağı olarak uygulandığında bitki gereksiniminin üzerinde fosfor sağlamaktadır. Belirli topraklarda, özellikle ahır gübresinin bol olduğu ve bunun yüzey su kalitesine etkisinin endişe yaratıcı olduğu yerlerde yarayışlı fosfor miktarı fazla olabilmektedir.

Aritma çamuru uygulanmış topraklarda metallerin birikimi Rhizobium ve Cyanobacter cinslerinin aktivitesini engelleyebilmekte ve mikrobiyel biyokütlede azalmalara neden olabilmektedir. Bu durum belirli negatif baklagil türlerinin kalıcılığı üzerinde endişe yaratmaktadır. Çamur uygulamalarıyla bitki meyvesinin mikrobiyel bulaşımı üzerindeki çalışmalar, bulaşımın mikrobiyolojik standartlara uygun olduğunu göstermiştir (Brito vd, 1997).

Aritma çamuru ve toprak partikülleri üzerinde tahmin edilebilir patojen ölümü ve mikroorganizmaların immobilizasyonu nedeniyle, çamur uygulamalarından dolayı virüs, bakteri ve protozoaların yeraltı suyuna taşınım riski, arıtma çamuru uygun şekilde arıtıldığı ve doyunluğa ulaşmamış topraklara uygulandığı takdirde gözardı edilebilmektedir.

Aritma çamurunda potansiyel olarak zararlı iz elementlerin konsantrasyonları hemen hemen çok az istisnaıyla topraktaki tipik konsantrasyonlarından daha yüksektir. Potansiyel olarak zararlı kimyasallar (büyük ölçüde iz elementleri ve dayanıklı organikler) atıksu arıtım prosesi süresince çamurda konsantre olmaktadır. Yinelemeli arazi uygulamalarında bor dışındaki iz elementler çamurun uygulandığı derinlikte yada biraz daha altında birikmektedir. Dayanıklı organik kimyasallar, kimyasal niteliklerine ve toprak özelliklerine bağlı olarak toprakta zamanla parçalanmaktadır. Aritma çamuru uygulamaları toprakta iz elementlerin konsantrasyonlarını genellikle artırmakta ve bitkilerdeki metal içerikleri, topraklara artan çamur yüklemesiyle artmaktadır (Miller vd, 1995; Tirmizi vd, 1996; Brito vd, 1997). Brallier vd (1996) 16 yıl önce toprağa uygulanan arıtma çamuru ile katılan ağır metallerin 16 yıl sonra dahi bitki tarafından alınabilir formda bulunduğunu belirlemişlerdir. Aritma çamurundaki belirli öğeler (ör. tuzlar, Cd, Cu, Ni ve Zn) toprağa kritik düzeylerin üzerinde uygulandığında fitotoksik olabilmektedir. Çamurdaki iz elementler ve iz organikler tüketicilere zararlı olacak düzeyde ürün tarafından alınırsa yada diğer yollarla ulaşırsa ciddi bir sakınca yaratacaktır. Bitki bünyesinde biriken ağır metallerin bitki-hayvan-insan zincirinde hareket ederek insanlara toksik düzeyde etki yapması çok muhtemeldir. Yüksek oranlarda arıtma çamuru ile muamele edilmiş toprakta yetişen çoğu bitkilerin Cd içeriğinin hayvan tüketimi için uygun olan düzeyin çok üstünde olduğu bildirilmiştir (Miller vd, 1995). Farklı sebze türleri arasındaki metal iyon alımının da farklı olduğu belirlenmiştir (Tirmizi vd, 1996).

Diğer yandan karışit bulgular olarak, arıtma çamuru kullanımının test edilen türlerde ağır metal içeriklerinde (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd ve Cr) tehlikeli artışa yol açmadığı ve düzeylerin kabul edilebilir aralıkta olduğu (Brito vd, 1997), aynı zamanda arıtma çamurunun tarımsal kullanımında yürürlükteki düzenlemelere uyulduğunda asit yada

potansiyel olarak asit topraklarda olumsuz bir etki yaratmayacağı bildirilmiştir. Ağır metaller toprakta mobilitesinin düşük olduğu ve onların agronomik miktarlarda arıtma çamuru uygulamalarının sonucu olarak yeraltı suyuna taşınımının olası görülmediği, çamur-kökenli iz elementlerin toprağın yüzey derinliğinde konsantre olma eğiliminde olduğu bildirilmiştir. Ancak, çevrede potansiyel olarak zararlı bu tür öğelerin taşınımı ve akibeti aynı zamanda bir endişe kaynağı olmaktadır. Çamur uygulamasından gelen öğeler yüzey toprağında immobilize olmaz ise kök bölgesine kaçabilecek ve yeraltı suyuna sızabilecektir.

Arıtma çamurunda bulunan bir çok iz organik kimyasalın, çamur araziye uygulandığında bitkiler tarafından alınmadığı yada çok az alındığı bildirilmektedir. Bazı iz organikler toprak yüzeyinden bileşiklerin buharlaşmasıyla bitkilerin toprak üstü organlarıncaya absorbe edilebilmektedir. Bitki dokuları, uçucu bileşiklerin buhar fazından uçucu toksik organik kimyasalları absorbe edebilirler. Bu alım şeklinin, özellikle arıtma çamurunun toprağa girdiği yerlerde önemli görülmediği, çünkü çamurda toksik organik bileşiklerin konsantrasyonlarının düşük olduğu ve onların her iki şekilde toprakta biyoparçalanabilir olduğu yada toprak partiküllerine güçlü bir şekilde bağlanacağı ve ayrıca yeraltı su bulaşımı için risk taşımayacağı bildirilmiştir. Diğer yünden, atıksuyun arıtımı sırasında ve birçok çamur arıtım prosesinde yapılan havalandırmanın, arıtma tesisinde uçucu organik kimyasalların çoğunu uzaklaştırmadığı belirlenmiştir. Kültür bitkilerinin su ve besin isteklerine göre müdahale edilen tarım topraklarına çamur yada arıtılmış atıksuyun uygulama oranlarında organik atıksu öğelerinin yeraltı suyuna yikanması, şayet topraklar uygulamadan sonra süzülmesine izin verilirse ve yeraltı suyu yüzeyden 0.3-1.0 m den daha fazla ise oluşmayacağı bildirilmiştir (Anonymous, 1993).

## **ARITMA ÇAMURUNUN TARIMDA UYGULANMASIYLA İLGİLİ YÖNETMELİKLER**

Arıtma çamurları biyolojik ölçütler yönünden genel olarak patojen bakterileri, virüsleri, parazit bazı solucan türlerini içermektedir. Bunlar özel işlem görmezlerse, sağlık bakımından endişe verici hastalık aşılayabilmektedirler. Arıtma çamurunda bazı kuşkulu organik maddelerde bulunmaktadır. Bu durum, arıtma çamurunun bitki yetiştirilmesiyle ilgili olarak toprakta kullanılmasında, insan sağlığının güvence altına alınması bakımından bazı hijyenik normların ortaya konulmasını zorunlu kılmaktadır. Birçok ülkelerde bu normlar belirlenmiş olup, hukuksal açıdan bağlayıcı nitelik taşımaktadır (Çepel, 1997).

Arıtma çamuru uygulamasıyla tarım alanlarına giren kirleticilerin düzeyleri üzerinde belirlenen sayısal sınırlamaların insan tüketimi için üretilen ürünlerin güvenliğini sağlamada yeterli olduğu bildirilmiştir. Bu konuda ham arıtma çamurunun hijyenik yönden tarım, orman, meyve ve sebze tarımında, mera ve otlaklarda bitki yetiştiği dönemde kullanılması yasaklanmış, hasat dönemine en az 3 ay kala ilgili tarım kuruluşundan izin alınması koşuluyla uygulanabilmesi öngörülmüştür.

A.B.D. Çevre Koruma Ajansı, arıtma çamurunun tarımsal kullanımı yönetmeliğinde, arıtma çamurunda 10 adet iz elementinin (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se ve Zn) konsantrasyonları için kriterler koymuştur (Anonymous, 1993). Kadmiyum dışındaki bu iz elementler bitkiler tarafından insanlara zararlı olabilecek

miktarlarda çoğunlukla alınmamaktadır. Arıtma çamurundaki kadmiyumun tüketicilere zararlı olabilecek düzeyde bitkilerde birikmesini önlemek için yönetmeliklerde bu elementle ilgili düzenlemeler oldukça sıkı tutulmuştur.

Ülkemizde de arıtma çamurunun tarımda kullanılmasına ilişkin yasal düzenlemeler yapılmış olup ilgili yasa maddelerinde (Anonim, 1995) tarımda kullanılması durumunda arıtma çamurunda çeşitli besin maddeleri ile ağır metal içeriklerinin izlenmesini ve yükümlü kılmış ve kullanımda çeşitli sınırlamalar getirmiştir.

Arıtma çamurunda bulunabilecek ağır metallerin sınır değerleri ve arıtma çamurunun uygulanmasına izin verilen miktarına ilişkin değişik ülkelerin uygulamaları Çizelge 3' de, toprakta izin verilebilir en fazla ağır metal içerikleri ve bir yılda araziye verilmesine izin verilecek en fazla ağır metal yükü ise Çizelge 4'de verilmiştir. Ülkemizin bu konudaki sınırlamaları (Anonim, 1995) Eski Batı Almanya yönetmeliğinde olduğu gibidir.

Çizelge 3. Arıtma Çamurunda Bulunabilecek Ağır Metal Sınır Değerleri ve Uygulanmasına İzin Verilen Çamur Miktarlarına İlişkin Değişik Ülkelerin Uygulamaları (Fiedler, 1990, Çepel 1997'de )

Ağır Metal Cinsi	Çamurdaki ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru madde)			Uygulanmasına izin verilen çamur miktarı (ton-kuru madde/ha)		
	A	B	C	A	B	C
Pb	1200	1000	750	3 yılda 5 ton veya her 5 yılda 10 ton	yılda 2.5 ton	yılda 5 ton veya her 3 yılda 10 ton
Cd	20	30	25			
Cr	1200	1000	650			
Cu	1200	1000	750			
Ni	200	200	250			
Hg	25	25	15			
Zn	3000	3000	2500			
Mo	-	20	25			

A: Batı Almanya Cumhuriyeti Arıtma Çamuru Tüzüğü (1982), B: Avusturya Arıtma Çamuru Tüzüğü (1981), C: Doğu Almanya Arıtma Çamuru Tüzüğü (1985)

Çizelge 4. Toprakta İzin Verilen En Fazla Ağır Metal İçerikleri ve Bir Yılda Araziye Verilecek En Fazla Ağır Metal Yükü (Anonim, 1995)

Ağır Metal Cinsi	Toprakta ağır metal sınır değerleri, mg/kg	Ağır metal yükleme sınır değeri, g/ha/yıl
Pb	100	2000
Cd	3	33
Cr	100	2000
Cu	100	2000
Ni	50	330
Hg	2	42
Zn	300	5000

### ÖNERİLER

EPA (ABD: Çevre Koruma Ajansı) tarafından 20 yıldan uzun bir süredir araştırma ve deneyime dayanan arıtma çamurunun tarımsal uygulanmasına ilişkin rehber bilgileri ve yasal düzenleme standartları geliştirilmiştir. EPA'ya göre atıksu kaynağının yerinde kontrolü ve endüstriyel atıksu önartım programları atıksuda ve böylece arıtma çamurunda toksik kirleticilerin önemli ölçüde azalmasını sağlamış

bulunmakta ve insan tüketimi için bitkisel üretimde çamur kullanımı kontrol edilebilir bir risk taşımaktadır. EPA çamur uygulama yönetmeliğinde iz elementlerin kritik değerlerine ilişkin yıllık ve birbirini izleyen yükleme sınırlarının şayet çamur ürün gereksinimiyle uyumlu miktarlarda uygulanması durumunda fitotoksiteye karşı korumak ve bu elementlerin ürünlerde tüketicilere zararlı düzeylerde birikimini engellemek için yeterli olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, uzun bir zaman periyodunda toprakta iz elementlerin düzenli izlenmesi de aynı zamanda önerilmektedir.

Bitki yetiştirmede besin maddesi gereksinimi yüksek olan, özellikle azot isteği çok olan ve uzun vejetasyon devresine sahip bulunan çapa bitkileri-tahıl rotasyonu yapılan kültürlerle önerilmektedir. Bunlara örnek olarak öncelikle yem ve şeker pancarı, mısır ve yeşil gübreleme için öngörülen ara ürünler verilmiştir. Bundan başka ilkbaharda doğrudan doğruya buğday, çavdar ve arpa tarlalarına verilebilmekte ancak sebze ve meyveler için bazı sınırlamalar yapılmaktadır.

Aritma çamurunda kısa dönemde azot yarıyışlılığını artırmak için çamurun mineral azot gübrelemesiyle birlikte uygulanmasının iyi sonuç verdiği, çamur uygulamalarında uygun bir N/K oranı elde etmek bakımından potasyumun da ilave olarak mineral gübre şeklinde verilmesi gerektiği önerilmiştir. Toprakta yarıyışlı fosfor düzeyinin yüksek olduğu durumlarda, çamur uygulama oranları azot gereksiniminden ziyade bitki fosfor gereksinimini karşılamaya yönelik olarak düzenlenmelidir.

Aritma çamuru bileşiminin geniş bir yelpazede farklılık göstermesi ve onun atıksu kaynağının farklılıklarından dolayı (kentsel çevre ve onun endüstriyel kaynak girişleri) ağır metal ve toksik bileşik içerikleri, arıtma prosesleri ve atıksu karakteristikleri arıtma çamurunun tarımsal kullanımında sınırlayıcı faktörler olarak görülmektedir. Ağır metaller ve toksik bileşikler arıtma çamurunun agronomik oranlarda yinelenmeli uygulamalarıyla zamanla daha yüksek düzeylere ulaşabilmekte ve böylece uzun süreli etkide hangi toprakta olursa olsun iz elementlerin ve toksik bileşiklerin yığınsal yüklemesinin geriye dönüşümsüz problemleriyle karşılaşmak kaçınılmaz görülmektedir. Diğer tarımsal toprak uygulamalarında olduğu gibi çamur kullanımı, yüzey ve yeraltı sularına bulaşmasından kaçınmak için uygun bir şekilde idare edilmelidir. Takip eden uygulamalarda çamurun uzun süreli ağır metal yükleme etkisi göz önüne alınmalıdır.

Organik madde alternatiflerinin bol olması durumunda arıtma çamurunun orman plantasyonu, kavak plantasyonları ve reklamasyon sahaları gibi bitkisel gıda üretimi dışındaki bitkisel üretim sahalarında uygulanmasının daha güvenli bir alternatif bertaraf yöntemi olduğu düşünülmektedir.

Bu gün halen tesis işletmecileri tarafından arıtma çamurlarının tarımsal kullanımı en ekonomik bertaraf yolu olarak görünmektedir. Arıtma çamurunun tarım alanlarında kullanımında elde olunan deneysel bulgular genelde besin içeriği ve organik özellikleri bakımından yararlı etkilerinin bulunduğu ancak uzun süreli uygulamalarında risklerinin göz ardı edilemeyeceği yönündedir. Arıtma çamurunun ülkemizde kullanımı, ülkemizin çok sınırlı bölgelerinde olsa da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu konuda yeterli eğitim programları düzenlenmeden arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda kullanılmasına yönelik özendirici uygulamaların (ücretsiz dağıtım, uygulamaya sahasına kadar ücretsiz nakliye, olumlu yöndeki deneysel



bulguların örnek gösterilmesi, vb) kontrol altına alınması, arıtma çamurunu kullanan tarım üreticilerinin eğitilmesine yönelik programların düzenlenmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

### ÖZET

Arıtma çamurları ile yapılan araştırmalardan elde olunan sonuçlara göre çamur uygulanan topraklarda verimliliğin arttığına ve bazı toprak fiziksel özelliklerinin olumlu etkilendiğine ilişkin değerler bulunmaktadır. Diğer yandan, istenmeyen ağır metal birikiminin meydana geldiği, fakat bunların dozunun besin maddesi ve yem normlarının henüz üzerine çıkmadığı bildirilmiştir. İnsan tüketimi için bitkisel üretimde çamur kullanımında yasal düzenlemelerdeki kriterlere ve klavuz bilgilere uyulduğunda; bitkisel üretim, çevre ve tüketiciler için yönetilebilir bir risk taşıdığı belirtilmektedir. Arıtma çamuru ile muamele edilen tarım topraklarında; kirleticilerin tamponlanma sınırına yaklaşılmadan, çamurun yeraltı suyu ve toprağın bitkisel üretiminin sürdürülebilirliği üzerinde potansiyel uzun süreli etkileri tayin etmek için ayrıntılı bilgilere gereksinim duyulmaktadır. Organik madde kaynağı alternatifleri çok ise, arıtma çamurunun kullanımında gıda ürünleri dışındaki bitkisel ürünlerde uygulanmasının daha güvenilir bir bertaraf yolu olduğu, aynı zamanda, kullanımına ilişkin eğitim programları düzenlenmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

### SUMMARY

#### **Agricultural Utilization Of Municipal Sewage Sludge**

According to experimental results, there has been valuable data that sludge applications to soil has increased soil fertility and improved soil physical properties. On the other hand, undesired heavy metal accumulation has occurred by sludge applications, but this accumulation levels has not yet been determined above the food and fodder norms. It is stated that as long as the agricultural use of sludge in the production of crops for human consumption follows current regulations and guidelines, it present a manageable risks on crop production, environment and consumers. Before soils reach regulatory limit of chemical pollutant loading by sludge applications, additional information will be needed to asses potential long term impacts of sludge on ground water quality and on the sustainability of soils for crop production. It is thought that in the state of having more alternative organic matter source alternatives, application of treatment sludge in plant growing areas except for food crop production is a more safely alternative disposal, also educational programs for sludge utilization should be organised.

### KAYNAKLAR

- ANONİM, 1995.** Türkiye Cumhuriyeti Çevre Bakanlığı, Araştırma Planlama ve Koordinasyon Kurulu Başkanlığı, Çevre Bakanlığı Mevzuatı, Ankara
- ANONYMOUS, (EPA, Environmental Pollution Agency), 1993.** Standards for the use or disposal of sewage sludge; Final rules. National research council. 40 CFR Parts 257, 403 and 503. Federal register 58(32):9248-9415.

- ANONYMOUS, (EPA, Environmental Pollution Agency), 1996.** The use of reclaimed water and sludge in food crop production. National research council. National Academy Press, Washington, D.C.
- BRALLIER, S. HARRISON, R.B., HENRY, C.L., XUE, DONGSEN., XUE, D.S. 1996.** Liming effects on availability of Cd, Cu, Ni, and Zn in a soil amended with sewage sludge 16 years previously. *Water, air and soil pollution*, 86(1-4):195-206.
- BRITO, J.C., VELICA, A., GUERRERO, C., BELTRAO, J., FALEIRO, M.L., CHATZOULAKIS, K.S. 1997.** Reuse of municipal sludges and industrial wastes as organic fertilizers in tomato. *Acta-Horticulturae*, No.449, 707-713.
- CHANEY, R.L. 1990.** Twenty years of land application research. *Biocycle*, september 54-59.
- ÇEPEL, N. 1997.** Toprak Kirliliği ve Çevreye Verdiği Zararlar. TEMA yayınları, 14, İstanbul
- HAKTANIR, K., ARCAK, S. 1998.** Çevre Kirliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 1503, Ders Kitabı: 457, A.Ü. Ziraat Fakültesi Halkla İlişkiler ve Yayın Ünitesi, Ankara.
- LOGAN, T.J., CHANEY, L. 1983.** Metals in utilization of municipal wastewater and sludge on land. A.L. Page, T.L. Gleason, J.E. Smith, I.K. Iskender and C.E. Sommers, eds. Riverside.
- MARTENS, D.C., WESTERMANN, D.T. 1991.** Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies in micronutrients in agriculture. Mortvedt, J.J. et al., eds., *Soil Sci. Soc. of Amer. Book Series*, No. 4, Madison, Wisconsin, Amer. Soc. of Agronomy.
- MEDALIE, L., BOWDEN, W.B., SMITH, C.T. 1994.** Nutrient leaching following land application of aerobically digested municipal sewage sludge in a northern hardwood forest. *Journal of environmental quality*, 23(1):130-138.
- MILLER, R.W., AZZARI, A.S., GARDINER, D.T. 1995.** Heavy metals in crops as affected by soil types and sewage sludge rates. *Communications in soil science and plant analysis*, 26 (5/6):703-711.
- MORAL, R., NAVARRO-PEDRENO, J., GOMEZ, I., PALACIOS, G., MATAIX, J. 1996.** Tomato fruit yield and quality are affected by organic and inorganic fertilization and cadmium pollution. *Journal of plant nutrition*, 19(12):1493-1498.
- NAVARO-PEDRENO, J., GOMEZ, I, MORAL, R., MATAIX, J., VAN-CLEEMPUT, O., HOFMAN, G., VERMOESEN, A. 1996.** Nitrogen nutrition of tomato derived from the use of sewage sludge and almonds residue as fertilizers. Progress in nitrogen cycling studies: Proceedings of the 8.th Nitrogen Workshop held at the University of Ghent, 5-8 september 1994, 243-246.
- PEREZ-ESPINOSA, A., MORENO-CASELLES, J., MORAL R., PEREZ-MURCIA, M.D., GOMEZ, I. 1999.** Effect of sewage sludge and cobalt treatments on tomato fruit yield of certain vegetables. *Journal of plant nutrition*, 22(2):379-385.
- SOMMERS, L.E. 1977.** Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizer. *J. Environmental Quality*, 6:225-232.

- TCHOBANOGLIOUS, G. 1979.** Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse. Part 11, Page.583. Second Edition, Metcalf & Eddy In. McGraw-Hill Publishing Company, New York New Delhi
- TIRMIZI, S.A., JAVED, I., SAEED, A., SAMINA, F. 1996.** A study of the inorganic elements in vegetable and soil samples of the polluted and nonpolluted areas of Bahawalpur city (Pakistan). Hamdard-Medicus, 39(3):90-95.
- WEETMAN, G.F., MCDONALD, M.A., PRESCOTT, C.E., KIMMINS, J.P. 1993.** Responses of western hemlock, Pasific silver fir, and western red cedar plantations on northern Vancouver Island to applications of sewage sludge and inorganic fertilizer. Canadian journal of forest research, 23(9):1815-1820.
- WIESMAN, Z., GRAFI, G., AZMON, N., SHOMER-ILAN, A., WAISEL, Y. 1994.** Indole-3-acetic acid (IAA) and cytokinin-like activity in municipal excess activated sewage sludge: Effect on rooting of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilcz.) cuttings. Soil science and plant nutrition (Japan), 40(1):117-124.