

**ARITMA ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ
VE
ARAZİDE DEĞERLENDİRME İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

Sezen İŞÇİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2006
ANKARA**

**ARITMA ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ
VE
ARAZİDE DEĞERLENDİRME İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

Sezen İŞÇİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2006
ANKARA**

Sezen İŞÇİ tarafından hazırlanan ARITMA ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ VE ARAZİDE DEĞERLENDİRME İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Erdoğan HASDEMİR

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Çevre Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

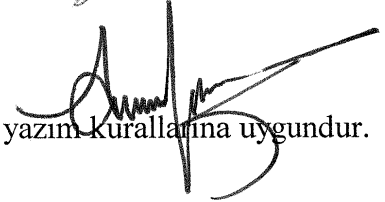
Başkan : Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Üye : Prof. Dr. Erdoğan HASDEMİR

Üye : Prof. Dr. Zeki AYTAÇ

Üye : Doç. Dr. İrfan AR

Üye : Yrd. Doç.Dr. S. Ferda MUTLU



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

**ARITMA ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ VE ARAZİDE
DEĞERLENDİRME İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Sezen İŞÇİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2006

ÖZET

Arıtma çamurlarının işlenmesi ve giderilmesinde en önemli konu arıtma işlemleri sonucunda oluşan çamur ve katı maddelerin özelliklerinin bilinmesidir. Çamurun özellikleri, çamur ve katı maddenin kaynağına ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak değişir. Bu çalışmada, arıtma çamurlarının çevreye zarar vermeden ekonomik ve ekolojik biçimde giderilmesi ve değerlendirilmesi için uygulanan yöntemler arasından arazide değerlendirme imkanları araştırılmıştır. Arıtma çamurlarının giderilmesi konusu, ülkemizde yürürlükte olan yasal mevzuat içinde yer almaktadır, ancak mevcut yönetmeliklerimiz bu konuda yeterli olmamaktadır. Bu nedenle mevcut yönetmeliklerde arıtma çamurlarının giderimi konusundaki eksikliklerin tamamlanmasına yönelik çalışmalar başlatılmalı ve biran önce uygulamaya konulmalıdır. Yapılan çalışmada çamurun arazide değerlendirilmesi ile ilgili uygulamalar incelenmiş ve bu uygulamalar yasal mevzuat ve standartlar açısından ele alınmıştır.

Bilim kodu : 903. 1.074

**Anahtar Kelimeler : Arıtma çamuru, Arıtma çamurunun özellikleri,
Arazide değerlendirme, Yasal mevzuat**

Sayfa Adedi : 115

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Erdoğan HASDEMİR

**PROPERTIES OF TREATMENT SLUDGE AND INVESTIGATION OF
THEIR LAND APPLICATION POSSIBILITIES**

(M. Sc. Thesis)

Sezen ISCI

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2006

ABSTRACT

It is most important point to know, the properties of the solid materials and sludge, formed as a result of treatment processes, for the handling and removal of this materials. Sludge properties change depending on the origin of the sludge and solid matters, and also on the applied treatment procedure. This study deals with the possibilities of the evaluation of treatment sludges in the land, which is one of the economical and ecological methods implemented in removal and evaluation of treatment sludges in environment friendlyway. The matter of removal of the treatment sludges is contained in the legislation that is in effect in our country; however, our current regulations are inadequate in this matter. Therefore, action must be taken to improve the deficiencies on the existing regulations with respect to the removal of the treatment sludges, and the improvements must be put into practice at once. This study dealt with the applications concerning evaluation of the sludge in the land and discussed these applications from the viewpoints of legislation and legal standards.

Science Code : 903. 1.074

**Key Words : Sludge of Treatment, Sludge properties, Land application,
Sludge regulation**

Page number : 115

Adviser : Prof. Dr. Erdogan HASDEMİR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok değerli Hocam Prof. Dr. Erdoğan HASDEMİR' e ve manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşım Esra ÖZTÜRK'e ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ARITMA ÇAMURU VE ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Arıtma Çamurunun Tanımı.....	3
2.2. Çamur Kaynakları.....	4
2.2.1. Birincil arıtım (Ön arıtım).....	5
2.2.2. İkincil arıtım.....	6
2.2.3. Üçüncül arıtım (Fiziksel – kimyasal arıtma).....	8
2.3. Arıtma Çamurlarının Özellikleri.....	8
2.3.1. Çamurun fiziksel özellikleri.....	11
2.3.2. Çamurun kimyasal özellikleri.....	19
2.2.3. Çamurun biyolojik özellikleri.....	23
2.4. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Giderilmesi İçin Uygulanan Yöntemler.....	23
3. ARITMA ÇAMURLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	26
3.1. Arıtma Çamurlarının Geri Kullanımı.....	27

Sayfa

3.2. Arıtma Çamurlarının (Biyokatıların) Değerlendirilmesi.....	30
3.2.1. Biyokatıların tarım alanlarında kullanımı.....	30
3.2.2. Biyokatıların iyileştirme alanlarında kullanımı.....	33
3.2.3. Biyokatıların yeşil alanlarda kullanımı.....	35
3.2.4. Biyokatıların ağaçlandırma alanlarında kullanımı.....	36
3.3. Biyokatının Değerlendirilmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	37
3.4. Ankara Atıksu Arıtma Tesisi' ne Ait Biyokatı İle Yürütülen Araştırmalar.....	41
3.4.1. Ankara atıksu arıtma tesisine ait biyokatının halk sağlığına uygunluğu.....	41
3.4.2. Ankara atıksu arıtma tesisine ait biyokatının Potansiyel Toksik Element (PTE) içeriği.....	43
3.4.3. Ankara atıksu arıtma tesisine ait biyokatının gübre değeri.....	47
3.4.4. Biyokatının Ankara atıksu arıtma tesisi çevresinde kullanımı.....	49
3.4.5. Ankara atıksu arıtma tesisine ait biyokatının eğimli arazilerde kullanımının yüzey akış ve toprak kayıplarına etkisi.....	50
4. ARITMA ÇAMURLARININ HALK SAĞLIĞI VE PTE İÇERİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ.....	55
4.1. Biyokatıların Halk Sağlığına Uygunluğu.....	55
4.2. Biyokatıları PTE İçerikleri.....	63
4.3. Biyokatıların Deterjan ve Toksik Organik Bileşik İçerikleri.....	68
5. ARITMA ÇAMURLARININ GİDERİLMESİNDE UYGULANAN YASAL MEVZUAT	69
5.1. Mevcut Yasal Mevzuat.....	69
5.1.1. Su kirliliğinin kontrolü yönetmeliği (SKKY).....	69

Sayfa

5.1.2. Katı atıkların kontrolü yönetmeliği (KAKY).....	70
5.1.3. Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği (TAKY).....	74
5.1.4. Toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliği (TKKY).....	77
5.2. Mevcut Yönetmeliklerdeki Eksiklikler.....	82
5.3. Avrupa Birliği Toprak Koruma Politikası.....	85
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	91
EKLER.....	94
EK-1. TKKY.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	115

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Çeşitli arıtma işlemlerinden oluşan çamur miktarları ve fiziksel özellikleri.....	12
Çizelge 2.2. Çeşitli arıtma işlemlerinden beklenen çamur katı madde derişimleri.....	14
Çizelge 2.3. Tipik aktif çamurdaki suyun dağılımı.....	17
Çizelge 2.4. Karışık çürük çamurdaki suyun dağılımı.....	17
Çizelge 2.5. İçerdikleri su miktarına göre çamurların yapısı ve tanımı.....	17
Çizelge 2.6. Ham, çürük ve aktif çamurun kimyasal yapısı.....	20
Çizelge 2.7. Çeşitli çamurlara ait ısı değerler.....	21
Çizelge 2.8. Arıtma çamurları ve ticari gübrelerdeki besin seviyelerinin karşılaştırılması.....	21
Çizelge 2.9. Arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metal derişimleri.....	22
Çizelge 2.10. Çamurların işlenmesi ve giderilmesinde kullanılan temel yöntemler.....	24
Çizelge 3.1. Organik azotun mineralizasyon hızı.....	31
Çizelge 3.2. Avrupa Birliği ülkelerinde üretilen biyokattının giderilen ve kullanılan miktarları (1992) [1000 ton (kuru ağırlık)/yıl(%)].....	40
Çizelge 3.3. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokattının PTE içeriğinin yönetmelik değerleri ile karşılaştırılması.....	43
Çizelge 3.4. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokattının PTE içeriği (5 haftalık dönemde) (ppm-kuru madde).....	44
Çizelge 3.5. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokattının PTE içeriğine göre bir yılda toprağa uygulanabilecek miktarları.....	45
Çizelge 3.6. Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çevresi topraklarının PTE içerikleri (ppm).....	46

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.7. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatinın gübre değeri.....	47
Çizelge 3.8. Kurutulmuş biyokatinın gübre değeri.....	48
Çizelge 3.9. Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çevresinde biyokatı kullanılarak yetiştirilen buğdayların (tane) PTE içerikleri (ppm-kuru madde).....	49
Çizelge 3.10. Palet çıkışı ve kurutulmuş biyokatıların fiziko – kimyasal özellikleri.....	51
Çizelge 3.11. Biyokatinın PTE içerikleri (ppm-kuru madde).....	51
Çizelge 4.1. Atıksu arıtma yöntemlerine göre arıtılmış atıksu ve biyokatıda bulunabilecek mikroorganizma sayıları.....	55
Çizelge 4.2. “A sınıfı” ve “B sınıfı” biyokatıların arazide kullanım kısıtlamaları.....	60
Çizelge 4.3. “Yüksek Standart” ve “Geleneksel Standart” biyokatıların arazide kullanım kısıtlamaları.....	62
Çizelge 4.4. Toprağa uygulanacak biyokatıların, yönetmeliklere göre, izin verilen PTE içerikleri.....	64
Çizelge 4.5. Yönetmeliklere göre biyokatı uygulanacak topraklarda izin verilen PTE sınır değerleri (ppm).....	66
Çizelge 4.6. Yönetmeliklere göre on yıllık ortalamalar temel alınarak bir yılda toprağa verilebilecek PTE miktarları [gr(kuru madde)/da/yıl].....	67
Çizelge 4.7. Araziye uygulanacak biyokatılarda izin verilen deterjan ve toksik bileşik madde miktarları (ppm-kuru madde).....	68
Çizelge 5.1. KAKY Ek IV – A: Toprakta izin verilen maksimum ağır metal muhtevaları.....	73
Çizelge 5.2. KAKY Ek IV – B: Bir yılda araziye verilmesine izin verilecek ağır metal yükü (yılda hektar başına gram olarak).....	73
Çizelge 5.3. KAKY Ek IV – C: Tarımda kullanılacak arıtma çamurunda izin verilebilecek maksimum ağır metal içerikleri.....	73
Çizelge 5.4. TKKY Ek I/A: Topraktaki ağır metal sınır değerleri.....	81

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.5. TKKY Ek II: Toprakta kullanılabilir arıtma çamurunda izin verilecek maksimum ağır metal içerikleri.....	81
Çizelge 5.6. TKKY Ek III: Toprakta on yıllık dönem temel alınarak bir yılda toprağa verilmesine izin verilecek ağır metal yükü.....	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ön arıtma sistemine örnek akım şeması.....	5
Şekil 2.2. Biyolojik arıtma işlemi olarak aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi.....	6
Şekil.2.3. Biyolojik arıtma işlemi olarak damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi.....	7

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$S_{\text{ç}}$	Çamurun özgül ağırlığı
W_i	i. Kısımın ağırlığı
S_i	i. Kısımın özgül ağırlığı
W_s	Katı maddelerin ağırlığı
S_s	Katı maddenin özgül ağırlığı
ρ_w	Suyun yoğunluğu
W_f	Sabit (mineral) katı maddelerin ağırlığı
S_f	Sabit katı maddelerin özgül ağırlığı
W_v	Uçucu (organik) katı maddelerin ağırlığı
S_v	Uçucu katı maddelerin özgül ağırlığı
P_s	Desimal şeklinde ifade edilen % katı maddeler
τ	Kayma gerilmesi
μ	Viskozite
τ_y	Sınır gerilme
η	Plastik viskozite
n	Akışkan davranışı indeksi olarak bilinen katsayı
Q	Isıl değer, kJ/kg kuru madde
P_v	Çamurdaki uçucu katı madde yüzdesi
P_c	Çamura eklenen pıhtılaştırıcı madde yüzdesi

Kısaltmalar**BOI****CST****KAKY****KM****PTE****SKKY****SM****SVI****TAKY****TKKY****USEPA****Açıklama**

Biyolojik oksijen ihtiyacı

Kapiler emme zamanı

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

Katı madde

Potansiyel toksik element

Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

Su içeriği

Çamur hacim indeksi

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

ABD Çevre Koruma Ajansı

1. GİRİŞ

Atıksuların arıtma işleminden sonraki çözünmeyen kalıntı kısmı olan arıtma çamurlarının alıcı ortamlara verilebilmeleri için işlenmeleri gerekmektedir. Arıtma çamurları uygun bir şekilde uzaklaştırılıp zararsız hale getirilmezse arıtma süreci amacına ulaşmamış olur. Bu nedenle çamur arıtımının arıtma sürecinin entegre bir parçası olduğu ve bunun gereğince yerine getirilmemesi halinde arıtma işleminin de amacına ulaşamayacağı unutulmamalıdır. Diğer yandan gerek birimler, gerekse yatırım ve işletme maliyetleri açısından çamur arıtımına bakıldığında bunun tüm arıtma tesisinin yarısı civarında bir oranı kapsadığı, dolayısıyla en az atıksu arıtımı kadar çamur arıtımı için de proje üretilmesi ve kaynak ayrılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde gelişen çevre bilinci ve çevreye duyarlı baskılar sonucunda çamur uzaklaştırmanın bir adım ötesine geçilmiş, “geri kazanım, geri kullanım, geri dönüşüm” felsefesine uyumlu teknolojiler geliştirilerek, çamurun bir yerde depolanarak uzaklaştırılması yerine tekrar yaşam döngüsü içine dahil edilmesi sağlanmaya başlamıştır.

Arıtma çamurlarının arazide değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesi ve sahip olunan doğal kaynakların korunması açısından etkin bir geri dönüştürme sürecidir. Bu yöntem, diğer yöntemlerle kıyaslandığında en ekonomik atık giderilme yöntemidir. Arazide değerlendirme yöntemleri için en önemli sorun çamurun içerdiği hastalık yapıcı organizmalar, ağır metaller ve varsa tehlikeli kirleticilerdir.

Ülkemizde artan atıksu arıtma tesislerinden ortaya çıkan arıtma çamurlarının nasıl değerlendirileceği önemli bir konudur. Ancak bu konuda yeterli bilgi birikimi ve araştırma sonuçları olduğu söylenemez. Çamurun değerlendirilmesi için bugün yapılan uygulama, ya çamurun tesis işletmecileri tarafından çöp depolama alanlarına atılması ya da tesis çevresindeki çiftçiler tarafından gübre olarak bilinçsiz bir şekilde kullanılması şeklindedir. Ancak, arıtma çamurları organik gübre kaynağı olduğu gibi potansiyel bir çevre kirletici kaynaktır. Bu nedenle çamurun arazide kullanılması

konusu büyük önem taşımakta ve bu konunun titizlikle ele alınmasını gerektirmektedir.

Çamur arıtma ve uzaklaştırma yöntemleri tüm dünyada, kullanıldıkları yerin özelliklerine göre uygulama bulmaktadırlar. Çamur yönetimi, nüfus ve buna bağlı olarak çamur miktarı ve kalitesindeki değişikliklere, toplumun yerel kültürüne ve yasalar ve yönetmeliklerdeki değişikliklere uygun hale getirilmesi gereken dinamik bir süreçtir. Dolayısıyla, uygulanan yöntemin başarılı olabilme şansı, sıralanan bu değişikliklere ve çamur yönetim politikalarının hangi sürede uygulanabildiğine bağlıdır.

Bu çalışmanın temel amacı; arıtma tesislerinden oluşan çamurların kaynağını ve özelliklerini ortaya koymak, buna bağlı olarak çamurun değerlendirme yöntemlerini incelemektir. Çamurun en ekonomik giderilme yöntemi olan arazide değerlendirme yöntemlerini çevre kirliliği ve insan sağlığına etkileri açısından ele almak, mevcut yönetmelikler ile beraber bu konuyu irdelemek ve böylece uygulamada karşılaşılan sorunları belirlemektir. Bu çerçevede Ankara Atıksu Arıtma Tesisi' nden elde edilen arıtma çamurunun (biyokatinin) özellikleri incelenmiş, gübre değeri ortaya koyulmuş, erozyona ve toprak kayıplarına etkisi araştırılmış, yasal mevzuata uygunluğu ve mevzuatta göze çarpan eksiklikler belirtilmiştir. Bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla yönetmelik değişiklikleri veya yönetmeliklere eklenecek tebliğler ile bu durumun bir an önce giderilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

2. ARITMA ÇAMURU VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Arıtma Çamurunun Tanımı

Atıksu arıtımında, fiziksel ve kimyasal arıtma süreçlerinde atıksu içinden yüzdürülerek veya çökeltilerek uzaklaştırılan maddeler ile, biyolojik arıtma sonunda çözünmüş haldeki maddelerin (kirliliklerin) mikroorganizma bünyesine geçirilmesiyle, mikroorganizmaların sistemden yüzdürülerek veya çökeltilerek alınması sonucu ortaya çıkan % 95-99,5 oranında su içeren akışkan özellikteki atıklar “arıtma çamuru” olarak isimlendirilir (1).

Arıtma ile giderilen maddelere bağlı olarak büyük hacimlerde çamur oluşumunun yanı sıra, çamurun işlenmesi ve giderilmesi konusu en karmaşık sorunlardan biridir. Çamur sorunu karmaşıktır, çünkü (2);

1. Arıtılmış atıksu içinde önemli miktarlarda bulunan ve ona kokulu özelliğini veren maddeleri içerir,
2. Biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamur, ham atıksu içerisindeki organik maddelerin bileşimi halinde, fakat başka bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğilimindedir,
3. Çamurun yalnızca küçük bir kısmı katı madde, önemli bir kısmı sudur, bu nedenle büyük hacimler kaplar.

Arıtma çeşitlerine ve amacına göre arıtma çamurlarının cinsleri değişiklik gösterir. Çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtım ve pıhtılaşma sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurlar gibi (2).

Atık yapısındaki kirlilik oluşturan maddeler üç grup altında toplanabilir;

1. Çökebilen katı maddeler

2. Askıda katı maddeler
3. Çözünmüş katı maddeler

Çökebilan katı maddeler ızgara, kum tutucu ve ön çökeltme havuzlarında tutulurlar. Özellikle ızgaralarda tutulan kaba nitelikte çökebilan katı maddeler evsel katı atık niteliğinde olduğundan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar. Kendiliğinden çökebilan katı maddeler ise ön çökeltme havuzlarında tutularak su ortamından uzaklaştırılırlar. Bunların organik madde içeriği % 60 ile % 80 arasındadır, su içeriği oldukça yüksektir (2).

Mekanik arıtma işlemleri ile giderilemeyen askıda ve çözünmüş haldeki katı maddeler ise ya kimyasal yumaklaştırma işlemleri veya biyolojik arıtma işlemlerinde oluşturulan yumaklar yardımıyla çökeltilerek veya yüzdürülerek su ortamından uzaklaştırılırlar. Çözünmüş organik maddeler ise biyolojik arıtmada bakteri bünyesinde tutularak canlı hücrelere yani biyokütleyle dönüştürölür. Oluşan biyolojik çamur son çökeltme havuzlarında çökeltilerek sudan ayrılır. Son çökeltme işlemleri sonucu oluşan arıtma çamurlarının su içeriği ve organik madde içeriği oldukça yüksektir (2).

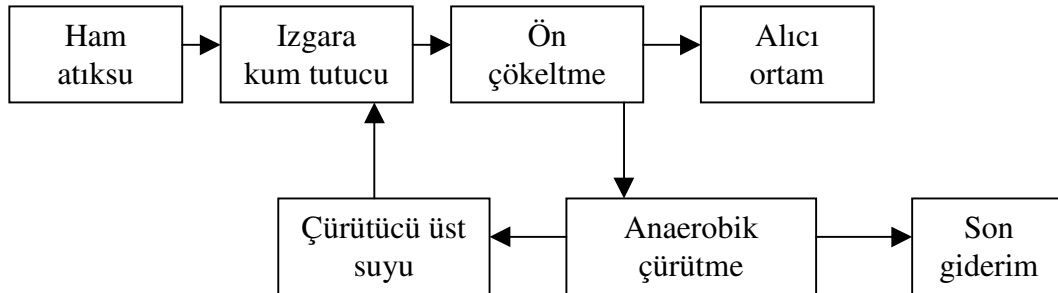
Mekanik ve biyolojik yöntemlerle giderilemeyen çözünmüş haldeki organik maddeler veya metal tuzları kimyasal madde eklenmesi ile yapılan kimyasal yumaklaştırma işlemi ile sudan ayrılır (2).

2.2. Çamur Kaynakları

Atıksu arıtma tesisleri, evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların alıcı ortamlara doğrudan verilmesi halinde doğal çevrede oluşabilecek olumsuz etkileri azaltmak için tasarımlanır. Farklı atıksu özelliklerinden dolayı, her atıksuyun arıtımı için uygulanan arıtma işlemleri de farklı olacaktır. Genel olarak kentsel atıksu arıtımında üç temel arıtma sistemi uygulanmaktadır (2).

2.2.1. Birincil arıtım (Ön arıtma)

Bu yöntem daha çok fiziksel yöntemleri kapsar ve özellikle büyük şehirlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ön arıtım tesisine örnek akım şeması Şekil 2.1’de verilmektedir. Ön arıtmanın temel ilkesi çökebilir haldeki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasıdır. Ön arıtma sistemleri ile oksijen gereksinimi olan maddelerin giderilmesi temel değildir, ancak BOİ’nin bir kısmı çökebilir katı maddeler ile birlikte giderilir. Kendiliğinden çökebilir nitelikli katı maddeler kum tutucularda tutulurlar. Ön çökeltme havuzu kendiliğinden çökebilecek katı maddeleri tabanda, yüzebilir maddelerin ise yüzeyde toplanmasını sağlar. Yüzebilir katı maddelerin miktarı önemli değildir. Bunlar köpük olarak isimlendirilir; ya çökebilir katı maddeler ile birlikte uzaklaştırılır veya herhangi bir arıtma işlemine sokulmadan en yakın giderilme sahasına iletilir. Çökeltme havuzu tabanında toplanan maddeler ise “ham ön çökeltme çamuru” olarak isimlendirilir ve su içeriği oldukça yüksektir. Bu çamur genellikle çürütülür ve “çürük ön çökeltme çamuru” olarak bilinir. Su içeriği çok yüksek olan bu çamurun kararlılaştırılmasında genellikle anaerobik çürütme yöntemi kullanılmaktadır. Çürütücülerde oluşan üst sıvı arıtma tesisi başına geri döndürülür. Çürütücü üst suyu, yüksek katı madde derişimine sahiptir ve bu katı maddelerin arıtma sistemi girişine geri döndürülmesi bazı işletme sorunlarına neden olabilir (2). Anaerobik çürütme ile uçucu katı maddelerin % 50’si giderilir, koku azaltılır ve önemli oranda hastalık yapıcı organizmaların giderimi sağlanır. Çürümüş çamur doğrudan araziye verilebilir, kurutma yataklarında suyu alınabilir veya mekanik olarak suyu alındıktan sonra son giderim yapılır (3).

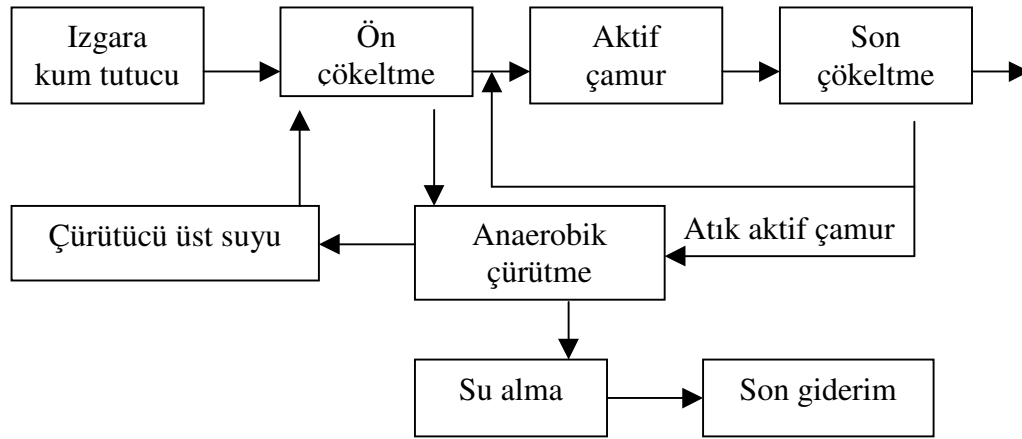


Şekil 2.1. Ön arıtma sistemine örnek akım şeması

2.2.2. İkincil arıtım

İkincil arıtmada temel, çözünebilir nitelikteki BOI giderimidir. BOI, biyokimyasal yollarla giderilir; fakat fiziksel ve kimyasal arıtma işlemleri de bu amaç için kullanılabilir. En yaygın şekilde kullanılan ikincil arıtım sistemleri aktif çamur ve damlatmalı filtrelerdir (2).

Aktif çamur sistemi: Bu sistem genellikle büyük şehirlerde atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Biyolojik arıtma işlemi olarak aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi akım şeması Şekil 2.2’ de verilmektedir.



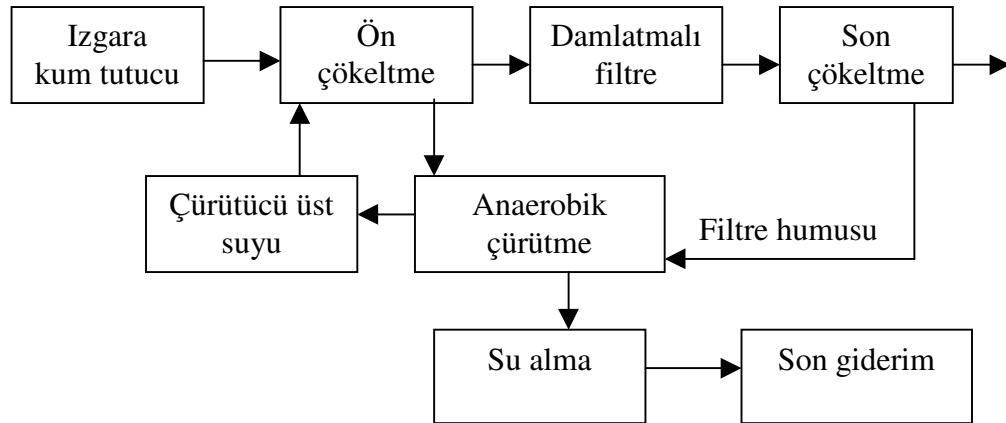
Şekil 2.2. Biyolojik arıtma işlemi olarak aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi

Oksijen açığını yaratan maddeleri gideren biyokütle, sıvı içinde askıda bulunur, biyokütle çeşitli bakteri türlerinden ve aynı yapı içindeki protozoalardan oluşmaktadır (4). Karışık sıvı içine hava difüzörler, yüzeysel havalandırıcılar veya farklı başka yöntemlerle verilir. Havalandırma tankındaki biyokütle kültürü son çökeltme havuzunda çökeltilmek zorundadır ve bir kısmı yeniden kullanılmak üzere tesis başına gönderilir. Aktif çamur sisteminde oluşan mikroorganizma miktarı sistem için gerekli olan miktarı aşarsa, bu durumda fazla katı maddelerin sistemden atılması gerekir (2). Bu atık biyolojik madde “atık aktif çamur” olarak bilinir ve arıtma tesisi için gerçek sorunlardan biridir. Anaerobik çürütücüye seçenek olarak, atık aktif çamur aerobik olarak çürütülür. Atık aktif çamur ayrı bir tank içine alınır

ve birkaç gün süre ile havalandırılır. Böylece çamur içindeki uçucu katı maddeler biyolojik olarak kararlı hale gelir. Sonuçta oluşan çamur “aerobik çürük çamur” adını alır.

Damlatmalı filtre sistemi: Bu sistem küçük yerleşim yerlerine ait atıksuların ve biyolojik olarak ayrışabilen endüstri sularının arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (4). Bu sistemdeki biyolojik süreçler gerçek anlamda mekanik bir filtre olarak çalışmazlar. Bu nedenle, filtrelerin biyolojik tepkime yatakları olarak isimlendirilmesi daha doğru bir yaklaşımdır. Biyolojik arıtma işlemi olarak damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisine ait akım şeması Şekil 2.3’de verilmektedir (2).

Filtre yataklarından kopan katı parçacıklar son çökeltme havuzunda arıtılmış sudan ayrılır. Bu çamur “filtre humusu” olarak bilinir ve miktarı azdır. Filtre humusu ve atık aktif çamur genellikle ham ön çökeltme çamuru ile karıştırılır ve anaerobik çürütücülerde çürütülür. Sonuç maddesi “karışık çürük çamur” olarak isimlendirilir ve son giderimden önce suyunu almak gereklidir (2).



Şekil 2.3. Biyolojik arıtma işlemi olarak damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi

2.2.3. Üçüncül arıtım (fiziksel – kimyasal arıtım)

İkincil arıtmadan daha yüksek kalitede arıtım sağlamak üzere uygulanan ileri arıtım basamağıdır (4). Oksijen tüketen maddelerin giderilmesi önemli olduğu kadar azot ve fosfor giderimi de önemlidir. Bu noktada fiziksel – kimyasal arıtma işlemleri önem kazanır. Ön çökeltme havuzuna demir ve alüminyum tuzları eklenmesi sonucu ikincil arıtmadaki biyolojik çamurlara benzer özelliklere sahip çamurlar oluşur (2). İkincil arıtma çıkış suyuna kimyasal madde eklenmesi ile içme suyu arıtma tesislerindeki benzer özellikte çamurlar oluşur. Her iki durumda da bu çamurların suyunun alınması ve işlenmesi zordur.

Başka bir çamur kaynağı da içme suyu arıtma tesisi çamurlarıdır. Arıtma tesisinde pıhtılaştırma ve yumaklaştırma için yaygın olarak kullanılan alüminyum sülfat (alüm) “atık alüm çamuru” olarak bilinen çamuru oluşturur (2)

2.3. Arıtma Çamurlarının Özellikleri

Arıtma çamurlarının işlenmesi ve giderilmesinde en önemli konu arıtma işlemleri sonucunda oluşan çamur ve katı maddelerin özelliklerinin bilinmesidir. Çamurun özellikleri, çamur ve katı maddenin kaynağına ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak değişir. Su ve atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının bazı özellikleri şu şekildedir;

Izgara atıkları: Izgara çubukları arasında tutulabilecek büyüklükteki bütün organik ve inorganik maddeleri kapsar. Organik madde içeriği atıksu toplama sistemi türü ve mevsimlere göre değişir (2). Izgarada tutulan maddeler ya öğütücüde parçalanarak ızgaradan sonraki arıtma birimlerine iletilir ya da varillerde depolanarak uygun bir şekilde giderilir. Küçük ve orta büyüklükteki atıksu arıtma tesisleri için bunların deponiye gönderilmesi daha ekonomiktir. Tutulan madde miktarı, atıksu toplama sisteminin çeşidine, coğrafik konuma, iklim koşullarına ve ızgaranın çeşidine bağlı olarak ortalama 30 mL/m³ ‘tür (3).

Kum tutucu atıkları: Yüksek hızlarda çökebilin inorganik katı maddelerden oluşur. Tutulan kum niceliği atıksu toplama sisteminin çeşidine, iklim koşuluna, zemin özelliklerine, kanalizasyon sisteminin durumuna, atıksuyu toplanan endüstri tesisinin çeşidine ve mutfak öğütücülerinin kullanılıp kullanılmamasına bağlıdır. Arıtma tesisinde tutulan kum miktarı 5 ile 200 mL/m³ arasında değişmekte olup ortalama olarak 30 mL/m³ 'tür. Kum genelde deponide gömme, yıkama sonrası araziye yayma veya çamur ile birlikte yakma yöntemleri ile giderilmektedir (3).

Köpük, yağ ve gres: Köpük, ön ve son çökeltme havuzu yüzeyinden sıyrılan yüzebilir nitelikli maddelerden oluşur. Gres, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal yağlar, sabun, yiyecek atıkları, meyve ve sebze atıkları, saç, kağıt, paçavra içerebilir. Köpüğün özgül ağırlığı 1,0'den küçüktür, genellikle 0,95 civarındadır. Evsel atıksu arıtma süreçlerinde oluşan köpük miktarı ortalama olarak 8 mL/m³ 'tür. Ön ve son çökeltme havuzlarının yüzeyinden sıyrılan köpük genellikle bir köpük yoğunlaştırma tankına veya uygun bir şekilde giderilmesi için varillere pompalanır. Arıtım ve giderilme yöntemleri, tesis içi gömme, deponide depolama, yakma ve çürütme olarak sıralanabilir (3).

Ön çökeltme çamuru: Ön çökeltme çamurları genellikle gri-kahve renkli, kötü kokuludur. Uygun işletme koşullarında kolayca çürütülebilir. Ham ön çökeltme çamurunun katı madde içeriği % 4-8'dir. Akaçlama özelliği zayıftır ve kurutma yataklarında zor akaçlanır. Ancak mekanik olarak suyunu almak olasıdır (2).

Kimyasal çökeltme çamurları: Metal tuzlarının kimyasal çökmesi sonucu oluşan çamurlar genellikle koyu renklidir, hatta çok miktarda demir içeriyorsa yüzeyi kırmızımtıraktır. Kireç çamurları gri-kahve rengidir. Kimyasal çamurların hissedilebilir bir kokusu olmakla birlikte ön çökeltme çamuru kötü değildir. Kimyasal çamur sümüksü yapıdadır, demir ve alüminyum hidratlar çamura jelatinimsi yapı verirler. Çamur tank içinde uzun süre kalırsa, ön çökeltme çamuruna benzer şekilde fakat daha yavaş bozunmaya başlar. Önemli miktarlarda gaz çıkışı olabilir, uzun depolama süresine bağlı olarak çamur yoğunluğu artar (2).

Aktif çamur: aktif çamur genellikle kahverengi, yumaksı görünümündedir. Rengi koyuysa septik koşullar başlamış demektir. Renk açıksa yeterince havalanmamış olabilir. İyi koşullardaki çamur, toprak kokusundadır. Hızla septik olma eğilimindedir ve istenmeyen kokular yayabilir. Tek başına veya ön çökeltme çamuru ile karıştırılarak çürütülebilir (2).

Damlatmalı filtre çamuru: Damlatmalı filtre humusu, yumaklı yapıda, taze olduğu zaman kokusuzdur. % 0,5-1,5 arasında katı madde içerir, rengi sarıdan siyaha değişir. Genellikle diğer çamurlara göre daha yavaş bozunur. Filtre humusunda kurtçuklar fazla ise kısa sürede zararsız hale gelir. Damlatmalı filtre çamuru kolayca çürür (2).

Karışık çürük çamur: Ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur karışımı olan karışık çürük çamur açık kahve renkli ve kokusuzdur. Düşük katı madde derişimine sahiptir ve yüksek biyolojik aktivitesinden dolayı suyunu almak, dolayısıyla son giderimi zordur (2).

Aerobik çürümüş çamur: Rengi açık kahverengiden koyu kahveye doğru değişir ve yumaksı görünümündedir. Aerobik çürümüş çamurun kokusu rahatsız edici değildir, küf kokusu ile tanınır. İyi çürümüş aerobik çamur kurutma yataklarında kolayca suyunu verir (2).

Anaerobik çürümüş çamur: Anaerobik çürümüş çamurun rengi koyu kahverengiden siyaha doğrudur ve önemli miktarda gaz içerir. Tamamen çürüdüğünde rahatsız edici değildir, kokusu belirsizdir, yanık lastik ve sıcak katran kokusu hissedilir. Kurutma yataklarında suyunu almak daha kolaydır, mekanik olarak suyunu gidermek zordur. Kum yatak üzerine ince bir tabaka halinde serildiğinde, katı maddeler geride temiz bir su bırakarak çıkan gaz ile birlikte kum yatak üzerine taşınır. Çamur kururken gaz açığa çıkar, bahçe toprağı kokusunda çok kırılgan bir yüzey oluşur (2).

Kompostlanmış çamur: Kompostlanmış çamurun rengi koyu kahve rengi ile siyah arasındadır, fakat kompostlaştırma işlemi sırasında eski kompost ve odun talaşı

kullanılmışsa, rengi değişebilir. İyi kompostlanmış çamurun kokusu rahatsız edici değildir, bahçe çeşidi toprak şartlandırıcısı olarak ticari amaçlı kullanılabilir (2).

Septik tank çamuru: Septik tank çamurları siyah renklidir. Çamur uzun depolamaya rağmen iyi çürümemiş ise hidrojen sülfür ve diğer gaz çıkışlarından dolayı kokusu rahatsız edicidir. İnce tabakalar halinde serilirse, kurutma yataklarında kurutulabilir, fakat iyi çürütülmemişse akaçlanırken hissedilebilir koku beklenir (2).

Atık alüm çamuru: İçme suyu arıtımından kaynaklanan atık alüm çamurunun sudan giderilen maddelerin çeşidine bağlı olarak rengi de değişiklik gösterir. Genellikle gri-sarı renkte ve kokusuzdur. Kurutma yataklarında suyunu almak zordur (2).

2.3.1. Çamurun Fiziksel Özellikleri

Özgül ağırlık : Birim hacimdeki çamur ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı şeklinde tanımlanan özgül ağırlık, birçok çamur örneği için yaklaşık 1,0'dir. Başka bir deyişle çamurun ağırlığı hemen hemen suyunkine yakındır. Çamurlar değişik özgül ağırlıktaki katı ve sıvılardan oluştuğundan çamurun özgül ağırlığı aşağıdaki bağıntıda verildiği gibi hesaplanmalıdır;

$$1 / S_c = \sum W_i / S_i$$

Ön çökeltme çamurunun özgül ağırlığı 1,02; atık aktif çamurun özgül ağırlığı 1,005; atık damlatmalı filtre çamuru özgül ağırlığı ise 1,025 'tir (2).

Çamurlar için hacim - kütle ilişkisi: Çamurun hacmi temel olarak su içeriğine ve içeriğindeki katı maddenin özelliğine bağlıdır. Örneğin; % 10 katı maddesi olan çamur, ağırlık olarak % 90 su içerir. Çamurdaki katı maddeler, sabit (mineral) katı maddeler ve uçucu (organik) katı maddelerden oluşuyorsa; çamur içindeki katı maddelerin özgül ağırlıkları arasında aşağıdaki bağıntı yazılabilir;

$$(W_s / S_s * \rho_w) = (W_f / S_f * \rho_w) + (W_v / S_v * \rho_w)$$

Çeşitli arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurların miktarları ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.1 'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli arıtma işlemlerinden oluşan çamur miktarları ve fiziksel özellikleri (2)

Arıtma işlemi	Çamur katı maddelerinin özgül ağırlığı	Çamurun özgül ağırlığı	Kuru madde kg / 10 ³ m ³	
			aralık	tipik
Ön çökeltme	1,40	1,020	110-170	150
Aktif çamur (atık)	1,25	1,005	70-100	85
Damlatmalı filtre (atık)	1,45	1,025	60-100	70
Uzun havalandırma(atık)	1,30	1,015	85-120	100 ^a
Havalandırma lagün(atık)	1,30	1,010	85-120	100
Filtrasyon	1,20	1,005	12-24	18
Alg giderimi	1,20	1,005	12-24	18
Fosfor giderimi için ön çökeltme havuzuna kimyasal madde eklenmesi				
-düşük dozda kireç (350-500 mg/L)	1,90	1,040	240-400	300 ^b
-yüksek dozda kireç (800-1600 mg/L)	2,20	1,050	600-1325	800 ^b
Askıda büyüme nitrifikasyon	-	-	-	- ^c
Askıda büyüme denitrifikasyon	1,20	1,005	12-30	18
Kaba filtreler	1,28	1,020	-	- ^d

^a ön arıtma yok

^b ön çökeltmede giderilen çamura ek olarak

^c ihmal edilebilir

^d ikincil biyolojik arıtma sürecinde oluşan çamuru kapsamaktadır.

Çamurun hacmi ise aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanır;

$$V_{\text{çamur}} = W_s / (\rho_w * S_{\text{ç}} * P_s)$$

Verilen bir katı madde içeriği için, yaklaşık olarak çamur hacmi ile katı madde yüzdesi arasında aşağıdaki bağıntı yazılabilir;

$$(V_1 / V_2) = (P_2 / P_1)$$

Yani çamur hacimleri ile yüzde katı madde arasında ters orantı bulunmaktadır. Örnek olarak, bir çamur örneğinde katı madde yüzdesi % 1'den % 2'ye çıkartılırsa çamur hacmi yarıya indirilmiş olur (2).

Çamur katı madde içeriği: Çamurun katı ve sulu kısımları arasındaki ilişki”katı madde derişimi” olarak tanımlanır ve mg/L veya %KM olarak belirtilir. Çamurdaki toplam katı maddeler, askıda ve çözünmüş katı maddelerin toplamına eşittir. Bu üç çeşit katı maddenin (toplam, askıda ve çözünmüş) her biri uçucu ve sabit kısımlara sahiptir. 600°C’de oksitlenen kısmı uçucu katı madde olarak bilinir. Katı madde ölçümü için yaygın olarak kullanılan yöntem buharlaştırma yöntemidir. Standart işleme uygun olarak, buharlaştırma krezelerine alınan 100 mL örnek, 103°C’de buharlaştırılır ve kroze tartılarak toplam katı madde derişimi mg/L olarak hesaplanır (2).

Konsantre atıklar için özellikle endüstriyel çamurlar için mg/L olarak yapılan hesap yüzdeye çevrilemez. Katı madde derişimini ölçmek için en iyi yöntem darası alınmış buharlaşma krezeleri içine bir miktar çamur örneği alarak, yaş çamur ile birlikte krezeyi tartarak; kurutma işleminden sonra tekrar tartmaktır. Aradaki fark giderilen nem miktarıdır ve katı madde derişimi %KM olarak hesaplanır. Ağırlık/Ağırlık, (W/W) olarak ifade edilir (2).

$$\% \text{ KM} = 100 - \% (\text{SM})$$

Çeşitli arıtma işlemlerinden beklenen çamur katı madde derişimleri Çizelge 2.2’de verilmektedir (2).

Çizelge 2.2. Çeşitli arıtma işlemlerinden beklenen çamur katı madde derişimleri
(2)

Uygulanan arıtma işlemi veya süreci	Çamur katı madde derişimi	
	% kuru madde aralık	tipik
1.Ön çökeltme tankı		
ön çökeltme çamuru	4,0-10,0	5,0
siklona gönderilen ön çökeltme çamuru	0,5-3,0	1,5
ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur	3,0-8,0	4,0
ön çökeltme çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4,0-10,0	5,0
fosfor giderimi için demir eklemeli ön çökeltme çamuru	0,5-3,0	2,0
fosfor giderimi için kireç eklemeli ön çökeltme çamuru (düşük dozda)	2,0-8,0	4,0
fosfor giderimi için kireç eklemeli ön çökeltme çamuru (yüksek dozda)	4,0-16,0	10,0
köpük	3,0-10,0	5,0
2.Son çökeltme havuzu		
-Atık aktif çamur		
ön çökeltme havuzu olan	0,5-1,5	0,8
ön çökeltme havuzu olmayan	0,8-2,5	1,3
-Saf oksijenli aktif çamur		
ön çökeltme havuzu olan	1,3-3,0	2,0
ön çökeltme havuzu olmayan	1,4-4,0	2,5
-damlatmalı filtre humusu	1,0-3,0	1,5
-dönen biyodisk sistemi	1,0-3,	1,5
3.Gravite yoğunlaştırıcı		
yalnızca ön çökeltme çamuru	5,0-10,0	8,0
ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur	2,0-8,0	4,0
ön çökeltme çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4,0-9,0	5,0
4.Çözünmüş havalı yoğunlaştırma		
yalnızca atık aktif çamur		
-kimyasal madde eklenmesi ile	4,0-6,0	5,0
-kimyasal madde eklenmesi olmadan	3,0-5,0	4,0
5.Santrifüj yoğunlaştırıcı		
yalnızca atık aktif çamur	4,0-8,0	5,0
6.Graviteli bant yoğunlaştırıcı		
kimyasal madde eklenmesi ile yalnızca atık aktif çamur	3,0-6,0	5,0
7.Anaerobik çürütücü		
yalnızca ön çökeltme çamuru	5,0-10,0	7,0
ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur	2,5-7,0	3,5
ön çökeltme çamuru ve damlatmalı filtre humusu	3,0-8,0	4,0
8.Aerobik çürütücü		
yalnızca ön çökeltme çamuru	2,5-7,0	3,5
ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur	2,5-7,0	3,5
ön çökeltme çamuru ve damlatmalı filtre humusu	1,5-4,0	2,5
yalnızca atık aktif çamur	0,8-2,5	1,3

Çamurun çökelme özellikleri: Çamur genellikle çökebilme özellikleri ile karakterize edilir. Çökelme testleri 1 litrelik ölçülü silindirde yapılır. Önce çamur içindeki katı maddeleri homojen olarak dağıtmak için örnek iyice karıştırılır. Katı maddeler çökelirken katılar ve sıvı arasındaki arakesit dikkatle izlenir ve zamana göre arakesit yüksekliği kaydedilir (2).

Belirli bir çamur örneğinin çökelme hızı çamur katı madde derişiminin bir fonksiyonudur. Seyreltik çamurlar daha hızlı, konsantre çamurlar daha yavaş çökerler. Çamurun çökebilme özelliği özellikle bir aktif çamur tesisinin işletilmesinde en önemli parametrelerden biridir. Tesisin işletilmesi sırasında, çamurun çökelme özelliklerinin belirlenmesinde ucuz ve kolay bir ölçüm yöntemi olduğundan “Çamur Hacim İndeksi, SVI” parametresi kullanılır. SVI, 1gr kuru maddenin mL cinsinden işgal ettiği hacim olarak ifade edilir (2).

Çamur hacim indeksini hesaplamak için; alınan çamur örneği 1 litrelik ölçülü silindirde 30 dakika süre ile çökelmeye bırakılır, mL olarak çamur miktarı ölçülür ve mg/L çamur askıda katı madde derişimine bölünür:

$$SVI = (mL \text{ çamur} * 1000) / (mg/L \text{ askıda katı madde})$$

Aktif çamur tesislerinde;

SVI < 100 iyi çökebilen çamur, SVI > 100 sorunlu çamur olarak tanımlanır (2).

Parçacık boyutu: Çamur içindeki parçacıklar (veya tanecikler) yalnızca boyut olarak değil şekil ve yoğunluk olarak da değişkendir. Bu nedenle tanecik boyutu ile çamuru tanımlamak zordur. Çamur yalnız farklı boyutta taneciklerden oluşmaz, tanecik boyutları zamanla ve test koşullarına göre de değişiklik gösterir. Bu zorluğu gidermek için “agrega hacim indeksi” tanımlanmıştır:

$$\text{Agrega Hacim indeksi} = \text{hacimsel agrega derişimi} / \text{hacimsel katı madde derişimi}$$

Agregalar, büyük miktarda su içerir ve bu su çökelme sırasında taneciğin bir kısmı halinde tanecik ile birlikte hareket eder. Çamur yumaklarının boyutu yoğunlaştırma

ve suyunu alma işlemlerinde çok önemli bir yer tutar. Eğer ölçülebiliyorsa yumaktaki su ve katı madde oranı çamur tanımlanmasında kullanılabilir. Buna bağlı olarak yumağın α değeri tanımlanmıştır;

$$\alpha = \text{su hacmi} / \text{çamur katı madde hacmi}$$

Ölçüm yönteminin zorluğundan dolayı α değerini belirlemek çok zordur. Görünür yumak hacminin ölçümü gerekir. Bunun için slaytlar üzerinde çamuru kurutulup, ölçüm için bir perdeye yansıtılmış; yumak hacmini hesaplamak için fotoğraf tekniğini kullanılmıştır. Stokes çökme tekniğini kullanılmıştır, mikro-filtreler geliştirilerek kuru madde tartılmıştır. Fakat, bu yalnızca kütleli dağılım yüzdesini vermiştir. Çeşitli yöntemler denendikten sonra gözlem teknikleri ile anlamlı bir yumak boyutu elde etmenin çok zor olduğu sonucuna varılmıştır. Çamur arıtımında tanecik boyutunun bilinmesi çok önemlidir, özellikle su alma işlemlerinde tanecik boyutu analizi yapılmalıdır.

Tanecik boyutu dağılımları belirlenmiş çamur örnekleri ile yapılan kapiler emme zamanı (CST) ve özgül filtre direnci testlerinde, yarı kolloidal katı maddelerin (1 saatte çökelemeyen, fakat 1,0 μm membran filtrede giderilebilen) su almaya en büyük direnci gösteren grup olduğu belirlenmiştir (2).

Çamurdaki suyun dağılımı: Çamurdaki su, ya serbest su halindedir veya taneciklere yapışık haldedir. Her ikisi de birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Çamurdaki suyu dört grup halinde incelemek gerekir;

1. Serbest su : Çamur taneciklerine bağlı olmayıp, graviteli çökme ile kolayca ayrılır.
2. Yumak suyu : Yumaklar içinde hapsedilmiş su olup, yumakla birlikte hareket eder. Mekanik su alma işlemleri ile giderilebilir.
3. Kılcal su : Tanecikler üzerinde bağlı (yapışık) halde bulunur ve bu taneciklerin sıkıştırılarak şekilsizleşmeleri sonucu uzaklaştırılabilir.

4. Kimyasal bağı su : Tanecikler içinde kimyasal olarak bağlanmış sudur.

Tipik bir aktif çamurdaki suyun dağılımı Çizelge 2.3’de, karışık çürümüş çamurdaki suyun dağılımı ise Çizelge 2.4’de verilmektedir. Çamurdaki suyun sınıflandırılmasını gösteren bu yöntem, çamurun suyunun alınması ve yoğunlaştırılması uygulamalarını değerlendirmek için kullanılabilir (2).

Çizelge 2.3. Tipik aktif çamurdaki suyun dağılımı (2)

	Hacim
Serbest su	%75
Yumak suyu	%20
Kılcal	%2
Kimyasal bağı su	%2,5
Katı maddeler	%0,5
Toplam	%100

Çizelge 2.4. Karışık çürümüş çamurdaki suyun dağılımı (2)

	Hacim
Hücreler arası su	%70
Adhezyon ve kılcal su	%22
Adsorbsiyon ve hücre içi su	%8
Toplam	%100

Arıtma çamurları gördükleri çeşitli işlemlere ve içerdikleri su miktarına göre belirli bir yapıya ulaşırlar. Çizelge 2.5’de içerdikleri su miktarına göre çamurların yapısı ve tanımı verilmektedir. Bu durumu pratik anlamda uygulamaya yönelik değerlendirmek mümkündür (3).

Çizelge 2.5. İçerdikleri su miktarına göre çamurların yapısı ve tanımı (3)

Su miktarı (%)	Yapısı ve tanımı
> %85	Sıvı ve pompalanabilir
%65-75	Yapışkan,saptanabilir,henüz plastik ve macunsu
< %60-65	Yapışkan değil,ufalanabilir,kırıntı yapı
< %35-40	Saçılabilir,dağılabilir,kalıcı sertlikte
< %10-15	Toz halinde

Çamurları bu bağladıkları suları bırakma durumuna göre yoğunlaştırıcıda şu şekilde sonuç verirler (3);

1. Kolay suyu alınabilir çamurlar SM %75
2. Orta derecede suyu alınabilir çamurlar SM %85-90
3. Zor suyu alınabilir çamurlar SM %97-99

Çamurun akışkanlık özelliği (Rheology): Bütün akışkanlar akım özelliklerine veya reolojilerine göre sınıflandırılabilir. Akışkanlık özelliğinin belirlenmesinde en yaygın parametre “viskozite”dir. Genel olarak akışkanın kayma gerilmelerine karşı gösterdiği direnç akışkanın viskozitesi olarak tanımlanır.

Kayma gerilmeleri etkisindeki bir akışkanın hız profili bir çok akışkan için doğrusaldır, (du / dy) eğimi ile kayma gerilmesi arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$\tau \propto (du / dy) \text{ veya } \tau = \mu (du / dy)$$

Birçok akışkan yukarıdaki özelliğe sahip “Newtonian Akışkan” olarak sınıflandırılır. Bununla birlikte bazı akışkanlar bu özelliği taşımaz. Örneğin plastik akışkan belirli bir sınır kayma gerilmesine sahiptir. “Plastik Akışkan” için kayma hızı – kayma gerilmesi ilişkisi aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$\tau = \tau_y + \eta (du / dy)$$

Arıtma çamurları ise ne Newtonian akışkan, ne de plastik akışkandır, ikisinin arasında yer alır. Bu çeşit akışkanlar “Pseudo – plastik akışkan” olarak isimlendirilir ve kayma gerilmesi hesabında aşağıda verilen bağıntı kullanılır.

$$\tau = \eta (du / dy)^n$$

Newtonian akışkan için $n = 1$ ve $\eta = \mu$ ’dür ve 20 °C ‘de;

ham çamur için $n = 0,28$ 'dır.

çürük çamur için $n = 0,92$ 'dır.

aktif çamur için $n = 0,06$ 'dır.

Akışkan özellikleri açısından çamur diğer bir özelliğe sahiptir: "Thixotropic Özellik". Bunun anlamı uygulanan gerilme sürdükçe çamurun viskozitesinin azalmasıdır. Bunun nedeni yumak yapısının bozulmasıdır. Gerilme kalktığında, yumak yapı yeniden oluşur (2).

Atterberg limitleri: Zemin mekaniğinde, çeşitli su içeriklerinde toprağın davranışlarını tanımlamak için Atterberg limitleri kullanılır.

Plastik limit: Plastik davranışı tanımlar.

Likit limit: Malzemenin sıvı gibi davranışını tanımlar.

Plastisite indisi: Plastik limit ve likit limit arasındaki farkı tanımlar ve % olarak ifade edilir.

Bu limitler çamurun yapısal özelliklerinin belirlenmesinde yararlıdır (2).

2.3.2. Çamurun kimyasal özellikleri

Evsel ve endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının özellikleri kaynaklarına bağlı olduğundan kimyasal bileşimleri konusunda bir genelleme yapmak güçtür. Ancak, evsel atıksu arıtma çamurlarının özellikleri için bazı temsili değerler verilebilir. Ham, çürük ve aktif çamurun kimyasal yapısını tanımlayan özellikler Çizelge 2.6'da özetlenmektedir (2).

Besinleri de kapsayan kimyasal bileşenlerin çoğu, işlenen çamurun ve çamur işlemleri sırasında meydana gelen suyun son giderimi düşünüldüğünde önem kazanmaktadır. Anaerobik çürüme işleminin denetiminde pH, alkalinite ve organik asit içeriği ölçümleri önemlidir. Yakma ve arazide giderme yöntemleri düşünüldüğünde; ağır metaller, pestisitler ve hidrokarbonların miktarı

belirlenmelidir. Yakma yöntemi gibi ısı işlem söz konusu olduğunda çamurun yakıt değeri düşünülmelidir (2).

Çizelge 2.6. Ham, çürük ve aktif çamurun kimyasal yapısı (2)

Parametre	Mekanik Arıtma çamuru	Biyolojik arıtma çamuru	Çürütülmüş çamur
Organik madde(KM'nin %' si)	60-80	60-75	45-60
İnorganik madde (kül,KM'nin %' si)	20-40	25-40	40-55
Protein(KM'nin %' si)	20-30	30-40	15-20
Yağ(KM'nin %' si)	6-35	5-12	3-20
Selüloz(KM'nin %' si)	5-15	5-15	5-15
Azot(KM'nin %' si)	2-4	2-6	1,5-6
Fosfor(P ₂ O ₅ KM'nin %' si)	1-3	2-7	1,4-4
Potasyum(K ₂ O KM'nin %' si)	0-1	0-2	0-2
Demir(sülfat olmayan)	2-4	-	3-8
Silisyum(SiO ₂ KM'nin %' si)	15-20	-	10-20
pH	5-8	6,5-8,0	6,5-8,5

Çamurun ısı değeri: Çamurun ısı değeri, kalorimetre denemeleri ile tanımlanır. Farklı çeşitlerde ve filtrasyon öncesi eklenen pıhtılaştırıcı madde miktarlarının dikkate alındığı, vakum filtreden geçirilmiş çamurların ısı değerlerinin istatistiksel değerlendirilmesi sonucu elde edilen empirik bağıntı aşağıda verilmektedir;

$$Q = a \{ [P_v (100) / 100 - P_c] - b \} * \{ (100 - P_c) / 100 \}$$

Bu bağıntıda;

a : katsayı (ön çökeltme çamurları, arıtılmamış veya çürütülmüş çamur için 131; taze atık aktif çamur için 107)

b : katsayı (ön çökeltme çamuru için 10; aktif çamur için 5)

Çamurun ısı değeri, çamurun çeşidine ve içeriğindeki uçucu katı madde içeriğine bağlıdır. Arıtılmamış ön çökeltme çamurunun ısı değeri, özellikle önemli miktarda yağ ve gres içeriyorsa çok yüksektir. Mutfak öğütücülerinin kullanıldığı yerlerde, çamurun uçucu madde içeriği ve dolayısıyla ısı içeriği yüksek olacaktır. Çürümüş

çamur ham çamurdan daha düşük ısı değere sahiptir. Çeşitli çamurlara ait ısı değerler Çizelge 2.7’de özetlenmektedir (2).

Çamurun ısı değeri bazı düşük kaliteli kömürlerin ısı değerine (32,186 kJ/kg kuru madde) eşdeğerdir. Çamur belli miktarda su içerdiğinden ve katı maddelerin yalnızca bir kısmı yanıcı olduğundan yakıt değeri 2,299 kJ/kg çamur kadardır. Çamurdaki 0,5 kg suyu buharlaştırmak için ise yaklaşık olarak 2,0 ile 2,5 MJ ısı gereklidir. Çamuru yakabilmek için genellikle fuel oil gibi yardımcı yakıt gereklidir (2).

Çizelge 2.7. Çeşitli çamurlara ait ısı değerler (2)

Çamur çeşidi	Isıl değer, kJ/ kg kuru madde	
	Aralık	Tipik değer
Ham ön çökeltme çamuru	23,250-29,000	25,550
Aktif çamur	16,270-23,250	20,900
Anaerobik çürümüş çamur	9,300-13,950	11,620
Kimyasal madde eklenmiş ön çökeltme çamuru	13,950-18,600	11,620
Biyolojik filtre çamuru	16,270-23,250	19,750

Çamurun gübre değeri: Çamurun gübre olarak değeri içerdiği N, P ve K miktarına bağlıdır. Genellikle bu maddelerin çamurda bulunan miktarları iyi bir kimyasal gübrede aranan değerlerden daha düşüktür. Çamuru gübre olarak değerlendirirken içerdiği ağır metaller ile diğer toksik maddeler de dikkate alınmalıdır (2). Çamurun içerdiği besin değerleri ticari gübreler ile karşılaştırılmalı olarak Çizelge 2.8’de verilmektedir (4).

Çizelge 2.8. Arıtma çamurları ve ticari gübrelerdeki besin miktarlarının karşılaştırılması (4)

	Besin, %		
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımsal amaçlı kullanılan gübreler	5	10	10
Kararlılaştırılmış arıtma çamuru için tipik değer	3,3	2,3	0,3

Arazide giderim sistemlerinin çoğunda, çamur bitkilerin büyüme gereksinimi için yeterli miktarda besine sahiptir. Bazı uygulamalarda arıtma çamurunun fosfor ve potasyum içeriği bitkinin gereksiniminin çok altında kalabilir. Bu durumda kimyasal gübre kullanımı ile eksik olan besi maddesinin eklenmesi sağlanabilir (2). Çamurdaki inorganik kimyasal elementler bitki ve hayvanların temel gereksinimini karşılayacak düzeylerinin çok altındadır. Arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metal derişimleri Çizelge 2.9’da özetlenmektedir (2).

Çizelge 2.9. Arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metal derişimleri (2)

Metal	Kuru madde, mg/kg	
	Aralık	Ortalama
Arsenik	1,1 - 230	10
Kadmiyum	1,0 - 3 410	10
Krom	10 - 99 000	500
Kobalt	11,3 - 2 490	30
Bakır	84 - 17 000	800
Demir	1 000 - 154 000	17 000
Kurşun	13 - 26 000	5 000
Mangan	32 - 9 870	260
Civa	0,6 - 56	6
Molibden	0,1 - 214	4
Nikel	2 - 5300	80
Selenyum	1,7 - 17,2	5
Kalay	2,6 - 329	14
Çinko	101 - 49 000	1 700

Çamurun besin değeri: Çamur bazen besi kaynağı olarak da kullanılabilir. Örneğin kurutulmuş aktif çamur hayvan yemine eklenebilir. Kentsel atıksu arıtımından gelen arıtma çamurları oldukça yüksek oranda protein içerir. Atıklar üzerinde büyüyen kurtlar sonradan protein olarak geri kazanılabilir. Çamurdan hayvan yemi üretmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Dolayısıyla, çamurun besin değeri vardır ve gelecekte bu amaçla yaygın olarak kullanılabilir (2).

Çamur taneciklerinin elektriksel yükleri: Tanecikler üzerindeki net elektriksel yük “zeta potansiyeli” ile ölçülür. Tanecik üzerindeki yük büyükse bu durum yumaklaşmayı engeller ve bu çeşit çamurlar suyunu zor verir. Kentsel arıtma çamurlarının zeta potansiyeli –10 ila 20 mV’u aşan zeta potansiyeline sahiptir (2).

2.3.3. Çamurun biyolojik özellikleri

Atıksu arıtımında meydana gelen çamurlarda iki önemli konu;

1. Organizmaların sınıflandırılması
2. Hastalık yapıcı organizmaların varlığıdır

Bir çamurun kütlesinin sayılamayacak kadar çok farklı kaynağı olabileceğini ve her bir kaynaktan gelen besin ile değişik organizmaların bu kütlede yer alacağını düşünürsek, bu kütlede, hastalık yapıcı mikroorganizmaların üremesi mümkündür. Bunların cins ve miktarını belirleme zorluğundan dolayı, kimyasal özellik gibi biyolojik ve biyokimyasal özelliklerin çamur için bir genellemesini yapmak zordur. Kısa olarak çamurdaki enzimlerden bahsedilirse, çamurda bulunan su giderici enzimlerin varlığı ile çamurların su verme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu tahmin edilmektedir. Bu suretle doğal su verme özellikleri iyi olmayan çamurlara enzimler ekleyerek su verme özellikleri kolaylaştırılacak veya tam tersine çamur daha kararlı hale gelecektir. Ham ön çökeltme çamuru çok sayıda ve değişik türde organizma içerir. Hastalık yapıcı organizma derişimi oldukça yüksektir. Aktif çamurda çok çeşitli organizmalar vardır, hepsinin belirlenmesi olanaksızdır. Sabit besin maddesi altında bile organizmalar sürekli değişim ve üreme gösterirler. Çürümüş çamurda organizma sınıfları çürütme yöntemine bağlıdır. Çürütme işlemi ile hastalık yapıcı mikroorganizmalar büyük oranda yok edilirler (2).

2.4. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Giderilmesi İçin Uygulanan Yöntemler

Çamura uygulanan birim işlemler ve yöntemlerin amacı;

1. Çamurun su ve organik madde içeriğini azaltmak
2. Son giderim ve tekrar kullanımını sağlamaktır.

Çamurların işlenmesi ve gideriminde kullanılan temel yöntemler Çizelge 2.10'da özetlenmektedir. Yoğunlaştırma, şartlandırma, suyunu alma ve kurutma; çamurdaki

suyun giderilmesi için uygulanır. Çürütme, kompostlama, yakma ve yaş yakma; çamur içindeki organik maddelerin kararlaştırılması için kullanılır.

Çizelge 2.10'dan görüldüğü gibi çamur işlenmesi ve giderimi için sonsuz sayıda bileşme oluşturmak olasıdır (5).

Çizelge 2.10. Çamurların işlenmesi ve giderilmesinde kullanılan temel yöntemler (5)

Birim işlemler, birim süreçler veya arıtma yöntemleri	Fonksiyonu
Ön arıtma işlemleri Çamurun öğütülmesi Çamurun kumsuzlaştırılması Çamurların karıştırılması Çamur depolama	Tane ufaltma Kum giderme Karıştırma Depolama
Yoğunlaştırma Graviteli yoğunlaştırma Flotasyon yoğunlaştırma Santrifüjleme Graviteli bant yoğunlaştırma Dönen tambur yoğunlaştırma	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma
Kararlılaştırma Kireç ile kararlılaştırma Isıl işlem Anaerobik çürütme Aerobik çürütme Kompostlaştırma	Kararlılaştırma Kararlılaştırma Kararlılaştırma, kütle azaltılması Kararlılaştırma, kütle azaltılması Kararlılaştırma, ürün geri kazanımı
Şartlandırma Kimyasal şartlandırma Isıl işlem	Çamur şartlandırma Çamur şartlandırma
Dezenfeksiyon Pastörizasyon Uzun süreli depolama	Dezenfeksiyon Dezenfeksiyon
Çamurun suyunu alma Vakum filtre Santrifüj Pres filtre Yatay bant filtre Kurutma yatakları Lagünler	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Depolama, hacim azaltma
Kurutma Flaş kurutucu Püskürtmeli kurutucu Döner kurutucu Çok gözlü fırınlar Çok etkili buharlaştırıcılar	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma

Çizelge 2.10. (Devam) Çamurların işlenmesi ve gideriminde kullanılan temel yöntemler (5)

Birim işlemler, birim süreçler veya arıtma yöntemleri	Fonksiyonu
Isıl işlem Çok gözlü yakma Akışkan yataklı yakma Katı atıklarla birlikte yakma Yaş oksidasyon	Kararlılaştırma Kararlılaştırma Kararlılaştırma, hacim azaltılması Kararlılaştırma, hacim azaltılması
Son giderim Araziye serme Dağıtım ve pazarlama Kimyasal sabitleme Düzenli depolama Lagünleme	Son giderim Yararlı kullanım Yararlı kullanım, son giderim Son giderim Hacim azaltma, son giderim

3. ARITMA ÇAMURLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurlar kullanılabilir ara ürün niteliğindedir. Bunların kullanım şekli çevrenin korunması kadar maliyetleri ile de ilgilidir. Potansiyel yararları (3);

1. Çamurun içeriğindeki organik maddenin toprağın kalitesini arttırması
2. Azot, fosfor ve potasyum gibi kimyasalların bitki büyümesi için besin özelliği taşıması
3. Yüksek ısı değeri nedeniyle fosil yakıtlar yerine kullanılabilmesi şeklinde özetlenebilir.

Arıtma çamurlarının içermiş olduğu organik maddelerin bir ısı değerinin olması veya bu çamurun tarım arazilerinde kullanılabilir olması nedeni ile, arıtma çamurlarının çevreye vermiş olduğu zararların da önüne geçebilmek için değişik değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler kısaca şu şekilde sıralanabilir (6):

1. Açık alanda değerlendirme olanakları
 - Tarımsal alanda değerlendirme
 - Orman alanlarında değerlendirme
 - Bozulmuş alanlarda değerlendirme (kömür ve maden yatakları, taş ocakları)
 - Park, bahçe ve rekreasyon alanlarında değerlendirme
2. Kurutulmuş çamurun değerlendirilmesi
 - Tarımsal gübre ve toprak iyileştiricisi olarak
 - Yakma
 - i) Isı ve elektrik elde etmek için yakma
 - ii) Çimento üretiminde ek yakıt olarak kullanma
 - iii) Kömürlü santralde ek yakıt olarak kullanma
3. Çamurdan biyogaz eldesi (ileri aşamada biyogazdan metanol eldesi)
4. Gazlaştırma (piroliz, diğer çöplerle birlikte)

5. Seçenek yöntemler

- Yaş oksidasyon
- Hidroliz
- Hidrotermal oksidasyon
- Mikrodalga-yüksek basınç işlemi

3.1. Arıtma Çamurlarının Geri Kullanımı

Bilindiği gibi arıtma çamurları atıksu içindeki organik madde, azot, fosfor vb. bileşiklerin zenginleştirilmiş bir son ürünüdür. Bu nedenle günümüzde atıksu arıtma tesisi çamurlarının geri kazanımı, geri kullanımı önemli olmaya başlamıştır. Geri kullanım için önemli olan üç faktör aşağıdaki gibi sıralanabilir (1):

1. Arıtma çamurunun geri kullanımından doğan sağlık riskleri yaratmaması
2. Arıtma çamurunun içindeki bileşenlerden ötürü olumsuz ve yan etkileri olmaması (ağır metaller, tuz vb.)
3. Arıtma çamuru; tutulması, paketlenmesi, taşınması, araziye serilmesi, depolanması vb. yönlerle uygun özellikte olması

Çamurun son ürün olarak yukarıdaki koşulları sağlamasını takiben, arıtma çamurlarını toprakta kullanacak tüketici kesiminin (çiftçiler, belediyeler, bahçe sahipleri vb.) organizasyonu ve yönlendirilmesiyle işlem tamamlanabilir. Bu noktada zaman zaman tartışılan konu, çamurun gübre veya şartlandırıcı özelliğe dönüşmüş olmasından ötürü satılıp satılamayacağı; ekonomik olarak bir değer oluşturup oluşturmayacağıdır. Bu konu bölgesel şartlara ve ülke politikalarına bağlı (gübre fiyatları, sübvansiyon olup olmaması vb.) değişmekte ve ekonomik bir özellik göstermektedir (1).

Arıtma çamurlarının geri kazanılması temelde iki yolla olmaktadır (1).

1. Susuzlaştırma biriminden çıkan çamurun basit bazı işlemler ve kimyasal maddeler eklenerek kullanılması (A tipi veya B tipi biyokatı)
2. Susuzlaştırmadan çıkan çamurun kurutulup pelet haline getirilmesidir (A tipi biyokatı).

Burada verilen A veya B tipi biyokatı ABD EPA (Çevre Koruma Ajansı, USEPA) tarafından tanımlanmış olan ve çamurun tarımda kullanım ölçütlerini ortaya koyan bir standarttır. A tipi biyokatı içindeki tüm hastalık yapıcı organizmaların (enterik virüsler, helmint yumurtası vb.) ölçülebilir düzeylerin altına indirilmiş halde olan çamurlardır. Bu tür çamurlar herhangi bir kısıt olmaksızın arazide kullanılabilirler. B tipi biyokatılar içindeki hastalık yapıcı organizmaların çevre ve halk sağlığı koşullarını tehdit etmeyecek düzeylere indirilmiş olan çamurlardır. Bu çamurların satılması, torbalanarak veya konteynırlarla ev bahçelerinde ve benzeri yerlerde serbestçe kullanılması önerilmemektedir (1).

1950’li yılların başında arıtma çamurlarının arazi ve tarla denemelerinde kullanımı başlamıştır. İlk uygulamalarda arıtma çamurunun gübre değeri ön planda tutulurken, daha sonraki yıllarda toprağı iyileştirici özelliğı de dikkate alınmaya başlamıştır. Çünkü, arıtma çamurlarının bileşimi arıtılan atıksuyun özelliklerine bağılı olarak zaman içerisinde değışiklik gösterebilmektedir. Evsel atıksu arıtma tesislerinde uygulanan sürece bağılı olarak oluşan arıtma çamurlarının bileşiminde yer alan ve bitki için besin değeri olan kimyasallar ortalama olarak birbirlerine yakın değerlere sahiptir. Ancak, endüstriyel atıksuların arıtma çamurları için aynı durum söz konusu değildir. Zira, aynı endüstri dalı için bile, üretim teknolojisine ve uygulanan arıtma teknolojisine bağılı olarak farklı bileşime sahip arıtma çamurlarının oluşumu söz konusudur. Arıtma çamurlarının toprak ortamına olumlu ve olumsuz etkilerini aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür (7);

1. Toprağın yapısını iyileştirir.
2. İçeriğindeki organik madde topraktaki mikrobiyolojik etkinliğı artırır.
3. Kumlu toprağın su tutma kapasitesini artırır.
4. Sulama gereksinimini azaltır.

5. Yüzeysel erozyonu azaltır.
6. Bitki kök sisteminin daha derine gitmesini sağlar.
7. Gıda zincirine olumsuz girdi söz konusu olabilir.
8. Yer altı suyu kirlenmesine neden olabilir.

İçme suyu arıtma çamurunun besin değeri, atıksu arıtma çamurununkinden çok daha düşüktür. Bu nedenle, genelde tarım ve ağaçlandırma alanlarında atıksu arıtma çamurları uygulanmaktadır. İçme suyu ve atıksu arıtma çamurlarının karıştırılarak kullanımı, içme suyu arıtma çamuru için ekonomik kullanım yolu sağlamak ve seyrelmeden dolayı da atıksu arıtma çamurundaki metal derişimini azaltmaktadır (7).

Arıtma çamurlarının uygulama alanlarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür (7);

1. Yapısındaki değerli maddelerin geri kazanımı
2. Hayvan yemi olarak kullanım
3. Gübre olarak kullanım
4. Katı atıklarda kompost eldesinde, kompost ham maddesinin oluşturulması aşamasında katkı maddesi olarak kullanım
5. Otlak ve toprağın üst tabakasının harmanlanmasında doğal toprak maddesi olarak kullanım
6. Yüzey madenciliğinin yapıldığı sahaların iyileştirilmesi ve restorasyonunda kullanım
7. Yakıt haline dönüştürülerek kullanım
8. İçme suyu arıtma çamurlarının çimento ve tuğla üretiminde kullanım
9. Kimya sanayinde kullanılabilecek ham maddelerin özütlenmesinde kullanım
10. Elektrik enerjisi eldesinde kullanım

3.2. Arıtma Çamurlarının (Biyokatıların) Değerlendirilmesi

3.2.1. Biyokatıların tarım alanlarında kullanımı

Tarım alanlarında biyokatı kullanımının yararları: Biyokatılar bünyelerinde makro besin maddelerinin (N, P, K) yanı sıra bazı mikro besin maddelerini de (Fe, Zn, Mn, Mo, Cu, B) bulundurlar. Biyokatıların içermiş olduğu bitki besin maddeleri ticari gübrelerdeki gibi formüle edilmiş sabit miktarda değildir. Ancak bitkisel üretim için gerekli olan bütün bitki besin maddelerini bir arada bulundurlar. Bu nedenle biyokatıların kullanıldığı alanlarda ticari gübre kullanımı azalmakta veya biyokatılar tümüyle ticari gübrelerin yerini almaktadırlar. Biyokatılar aynı zamanda toprak düzenleyici etkide bulunmaktadır. Biyokatı gibi organik madde temelli maddelerin toprağa uygulanması, killi topraklarda toprak geçirgenliğini arttırarak, kök gelişimi ve suyun toprakta hareketini iyileştirici etki yapmaktadır (4). Kumlu topraklarda ise bu malzemeler su tutma kapasitesini arttırırlar, diğer taraftan da besin maddesi değişimine ve tutulmasına olanak sağlarlar. Ayrıca biyokatılar toprak mikroorganizmalarının sayısını ve etkinliklerini arttırırlar (8).

Biyokatıların azot içeriği: Biyokatılar genel olarak kuru madde üzerinden %1-6 azot içermektedirler. Bunun tersine ticari gübrelerde azot % 11-82 düzeyinde bulunabilmektedir. Biyokatılarda azot hem organik hem de bitkiye elverişli yani inorganik şekildedir (nitrat ve amonyum). Amonyak şeklindeki inorganik azot, aerobik şartlarda kararlaştırılan biyokatılarda toplam azotun %10' nu ve anaerobik çürütmenin uygulandığı biyokatılarda ise, toplam azotun %30' nu oluşturmaktadır. Biyokatıların içeriğindeki azotun tamamı bitkiler tarafından uygulamanın yapıldığı yıl alınabilir durumda değildir. Bir kısmı organik azot şeklindedir ve organik azotun bitkiler tarafından kullanılabilmesi için mineralleşmesi yani inorganik azot şekillerine dönüşmesi gerekmektedir. Organik azotun mineralleşme oranı ise biyokatılara uygulanan kararlaştırma yöntemine, iklime, toprak yapısına, mikroorganizma etkinliklerine ve diğer pek çok etkene bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir. Mineralleşme oranlarının büyük ölçüde ekolojik etkenlere bağlı olarak değişiklik göstermesi nedeniyle sabit bir oranın kabul edilmesi

söz konusu değildir. Bu nedenle biyokattının kullanılacağı ekolojilerde yürütülen araştırma bulguları ile bu oranların ortaya koyulması ve hesaplamalarda kullanılması gerekmektedir. Genel bir yaklaşımla, organik azotun büyük bir kısmı ilk yıl mineralleşmekte ve izleyen her yıl bir önceki yılın yarısı oranında azalmaktadır. Bu azalma genellikle % 3 düzeyine ulaşıncaya kadar devam etmekte geri kalan azot toprakta kararlı azot kesirleri olarak kalmaktadır (4).

Çizelge 3.1’de kararlılaştırılmamış (ham çamur) ve değişik yöntemlerle kararlılaştırılmış biyokattıların organik azot kapsamlarının uygulandıkları yıldan başlamak üzere izleyen yıllarda mineralleşme oranları verilmektedir (9).

Orta Anadolu Bölgesinde sulu koşullarda buğday - şeker pancarı - fasulye rotasyonunda aerobik kararlılaştırma ve anaerobik çürütme ile kararlılaştırılmış biyokattıların ticari gübre yerine kullanım olanaklarının araştırıldığı bir çalışmada; biyokattı yalnız rotasyonun ilk bitkisi olan buğdaya uygulanmış daha sonra diğer iki ürünün yetiştirildiği yıllarda biyokattı veya ticari gübre kullanılmamıştır. Araştırma sonuçlarına göre 2 ton (kuru madde) / da biyokattının rotasyonda yer alan her üç bitkinin de azot gereksinimini karşıladığı belirlenmiştir (10).

Çizelge 3.1. Organik azotun mineralleşme hızı (%) (9)

Çamurun uygulanmasından sonra geçen zaman (yıl)	Ham çamur	Aerobik olarak kararlılaştırılmış çamur	Anaerobik çürütme ile kararlılaştırılmış çamur	Kompostlama ile kararlılaştırılmış biyokattı
1	40	30	20	10
2	20	15	10	5
3	10	8	5	3
4	5	4	3	3
5	3	3	3	3
6	3	3	3	3
7	3	3	3	3
8	3	3	3	3
9	3	3	3	3
10	3	3	3	3

Değişik yöntemlerle kararlılaştırılan biyokattılar kullanılmış olmasına rağmen, organik azotun mineralleşme oranlarının değişikliği bitkilerin azot gereksinimini

karşılamada değişiklik yaratmamıştır. Diğer taraftan yıllar itibariyle (3 yıl) organik azotun mineralleşme oranları ölçüsünde bitkilerin azot gereksinimleri karşılanmıştır. Bu sonuçlar ülkemiz koşullarında biyokatıların azot içeriklerinin mineralleşme oranları ve çok yıllık gübre etkileri gibi konularda araştırmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır (4).

Biyokatıların fosfor kapsamı: Ticari gübreler genel olarak % 8-24 arasında fosfor içerebilmektedir. Biyokatılar ise genel olarak kuru madde üzerinden % 0,8-6,1 arasında fosfor içermektedirler. Azot gibi fosfor da biyokatılarda inorganik ve organik formlarda bulunmaktadır. Ancak inorganik fosfor inorganik azotun tersine toprakta oluşan çeşitli kimyasal tepkimeler sonucu bağlanmakta, bu nedenle bitkiye yarıyışlığı % 50 düzeyinde azalmaktadır. Biyokatıların uygulama miktarları azot temel alınarak hesaplandığında biyokatıdan gelen fosfor miktarı bitkinin gereksinim duyduğundan daha fazla olabilmektedir. Toprağın yüksek fosfor miktarı ise yüzey sularının kirlenmesine neden olabilmektedir. Amerika Çevre Araştırmaları biriminin konu ile ilgili yaptığı araştırma sonuçlarına göre; biyokatının 9 ile 23 yıl arasında değişen zaman aralıklarında sürekli kullanımının uzun dönemde toprak fosforunu etkileyebileceği, bu durumda biyokatı uygulama oranının, bitkinin azot gereksinimi yerine fosfor isteğinin göz önünde bulundurularak belirlenmesinin gerekli olabileceği belirtilmiştir (4, 8).

Biyokatının bitkinin gereksinim duyduğu azotu karşılamak üzere uygun oranlarda uygulanması ile, bu temel bitki besin elementlerinin, muhtemelen potasyum hariç, hepsi bitkinin gereksinimi olan miktarda karşılanabilmektedir (4). Ülkemiz topraklarının büyük kısmında bitkiye yararlı potasyum miktarı yüksektir ve çoğu zaman tarımda potasyumlu gübre kullanılmamaktadır. Diğer bir değişle topraklarımızın yapısı biyokatıların gübre özelliğindeki bu eksikliği kapatacak doğal bir üstünlüğe sahiptir (11).

Birçok ülkede biyokatıların, tarım alanlarında kullanımının diğer arazi uygulamalarından ve depolama alanlarına taşınmasından daha ucuz olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca arıtma tesislerinin tarım alanlarına yakın olması durumunda,

biyokatının çiftçiler tarafından kolaylıkla benimsendiği ve diğer çiftlik gübreleri gibi kullanıldığı belirtilmektedir. Buna ek olarak biyokatıların dağıtımlarının ve arazi uygulamalarının tekniğine uygun olarak yapılması halinde çevre halkının tepkilerine neden olmaksızın kullanılabildiği de pek çok ülkedeki uygulamalarda gözlenmiştir (8).

3.2.2. Biyokatıların iyileştirme amaçlı kullanımı

Bitki besin maddelerince yoksullaşmış, su tutma kapasitesi, tekstür, geçirgenlik, infiltrasyon gibi fiziksel özellikleri bozulmuş ve biyolojik etkinlikleri yok olmuş yani üretim potansiyellerini kaybetmiş toprakların yeniden üretken hale getirilmeleri iyileştirme çalışmaları ile mümkün olabilmektedir. Kapatılmış maden, taş, kömür ve tuğla ocakları ile erozyona uğramış alanlar iyileştirme alanları arasında sayılabilir. İyileştirme çalışmaları kapsamında ele alınması gereken en önemli konu, diğer ekolojik özelliklerinin yanı sıra toprak varlığı ve verimliliğini yitirmiş bu alanlarda yeniden bitkilendirmenin sağlanacağı ortamların oluşturulmasıdır. Yeniden bitkilendirme sürecinde, fiziksel sorunlar, fitotoksik madde varlığı, ekstrem pH derecesi gibi engellerle karşılaşmakta, en fazla gereksinim duyulan girdiler ise bitki besin maddeleri ile organik madde olmaktadır. Bu girdileri bünyesinde bulunduran biyokatılar bugün pek çok ülkede söz konusu alanların iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Konu başta Amerika olmak üzere bazı Avrupa ülkelerinin gündeminde yer almış ve pek çok proje başarıyla uygulanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde "Federal Açık Ocak Madenciliği ve Onarım Yasası"nın kabul edilmesiyle biyokatıların terkedilmiş maden alanlarının bitkilendirilmesinde kullanımı önem kazanmıştır. Bu yasa, kapatılan maden ocaklarının ve diğer amaçlarla kullanımlar sonucu doğal yapıları bozulan alanların, etkinlikler sonunda kullanımdan önceki doğal bitki örtüsüne yakın veya daha iyi bitki örtüsünün sağlanmasını öngörmektedir. Amerika'da biyokatılar yağışı yüksek yerlerden, çöl özellikleri gösteren alanlara kadar değişik eyaletlerde geniş bir yelpazede iyileştirme projelerinde kullanılmıştır. İyileştirme çalışmaları; maden kömürü, demir cevheri, kil, kum taşı, pirit ve çinko madeni yataklarının bulunduğu alanlarda yürütülmüştür. Söz konusu bu alanlarda biyokatı kullanımının; tarım ürünleri, tek yıllık ve çok yıllık

örtü bitkileri ile orman ağaçlarının pek çok tür ve çeşitlerinin bitkilendirmeye etkilerinin yanı sıra yer altı ve yüzey sularının niteliklerindeki değişimleri incelenmiştir (8). Amerika’ da 20 eyalette 20 yılı aşkın süre boyunca yürütülen iyileştirme projeleri sonucunda biyokatıların yeniden bitki örtüsü oluşturmada başarıyla kullanılabileceği ortaya koyulmuş ve biyokatıların etkisi toprak yapıcı olarak değerlendirilmiştir. Geleneksel gübrelerle 15-20 yılda oluşturulabilecek bitkilendirmenin biyokatı uygulaması ile 2-3 yıl içinde oluşturulabildiği ve biyokatının iyileştirmedeki başarısının toprakta yarattığı mikrobiyolojik faaliyetlerden kaynaklandığı belirtilmiştir (8).

Bunun yanı sıra biyokatı uygulaması sık dokulu killi toprağın gözenekliliğini attırarak toprağa hava ve su girişini, bu sayede de bitkilerin kök gelişimini rahatlatır. Gevşek dokulu kumlu topraklara eklenen çamur ise, bu toprakların su tutma kapasitesini artırır ve besleyici alış verişi ve adsorpsiyon için gerekli kimyasal yapıyı sağlar (6).

İyileştirme çalışmaları kapsamında ele alınan temeller aşağıda maddeler halinde verilmiştir (8):

1. İyileştirme amacıyla biyokatı uygulaması yapılacak alanlarda, uygulamaya başlatılmadan önce bu alanın iyileştirme edildikten sonra ne şekilde kullanılacağına kararlaştırılması gerekmektedir. İyileştirme edilecek alan tarımsal üretim veya hayvan otlatma amaçlı kullanılacak ise uygulanacak biyokatı miktarının uygulama zamanının ve şeklinin belirlenmesinde yönetmeliklerin öngördüğü düzenlemelerin yerine getirilmesi gerekmektedir.
2. Erozyondan ciddi bir biçimde etkilenmiş, toprak derinliğinin az olduğu alanlarda, biyokatı uygulaması birincil olarak fiziksel etkisiyle erozyonu engellemekte, daha sonra ikincil etki olarak ortamda bulunan tohumların çıkış ve gelişmesini artırarak hızla doğal bitki örtüsü oluşumunu sağlayabilmektedir. İyileştirilecek alanda öncelikle erozyonun engellenmesi amaçlandığında çok yıllık baklagil ve dar yapraklı bitkilerin karışım halinde ekilmesiyle tek tek türlerinin ekilmesinden daha başarılı sonuçların elde edildiği bildirilmektedir.

3. İyileştirilecek alanların daha sonra ağaçlandırılarak orman alanı olarak kullanılması da mümkündür. Bu amaçla daha çok kereste ve kağıt yapımında kullanılan ağaçlar yetiştirilmektedir.
4. İyileştirilecek alanlarında biyokatı; kurutulmuş, kompostlanmış, susuzlaştırılmış ve sıvı formlarda kullanılabilmektedir. İyileştirilecek alanda geçici depolama yapılması durumunda çevre kirliliğine neden olmayacak önlemlerin alınması gerekmektedir.
5. İyileştirilecek alanların bitkilendirilmesi çalışmalarında karşılaşılan önemli sorunlardan biri, toprak derinliğinin genellikle çok az olması nedeniyle, kök gelişmesinin ve su tutma kapasitesinin çok düşük olmasıdır. Bu nedenle iyileştirme çalışmalarının başlangıcında destek sulama yapılması daha başarılı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır.
6. İyileştirme amaçlı biyokatı kullanımında, uygulama zamanı da büyük önem taşımaktadır. Uygulama zamanı; iklim, toprak şartları ve bitkilendirmede kullanılan malzemenin büyüme dönemleri göz önünde bulundurularak belirlenir. Biyokatı uygulaması için genellikle ilkbahar aylarında toprağın uygun olduğu zamanlar seçilmelidir.

3.2.3. Biyokatıların yeşil alanlarda kullanımı

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan biyokatılar bugün pek çok ülkede yeşil alanlarda seçenek gübre olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Amerika’ da 1993 yılı rakamlarına göre araziye uygulanan biyokatının yaklaşık %9’ u yeşil alanlarda toprak düzenleyici veya organik gübre olarak kullanılmaktadır. Yeşil alanlar arasında parklar, futbol sahaları, mezarlıklar, otoyol kenarları, golf sahaları ve havaalanları sayılabilir (6).

Biyokatıların yeşil alanlara uygulanması halk sağlığı açısından hastalık yapan organizmalarla etkileşimin denetim altında tutulmasını gerektirmektedir. Bu nedenle gerek Avrupa Birliği gerekse USEPA yönetmeliklerinde hastalık yapan organizmaları giderilmiş biyokatıların kullanımına izin verilirken, hastalık yapan organizmaları azaltılmış biyokatıların yeşil alanlarda kullanımı için bazı kısıtlamalar getirilmiştir. Söz konusu kısıtlamaların temel hedefi, özellikle halkla etkileşimin

yüksek olduğu yeşil alanlarda halk sağlığı açısından olası risklerin ortadan kaldırılmasıdır. Halkla etkileşimin yüksek olduğu yeşil alanlarda biyokatı kullanımında psikolojik tepkilerle karşılaşabileceği için bu alanlarla etkileşimin halinde olan insanların bilgilendirilmesine yönelik çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır (4).

Bir çok ülkede büyük kapasiteli atıksu arıtma tesislerinden çıkan biyokatıların tamamı değilse bile bir bölümü ısıyla kurutma veya kompostlama işlemlerinden sonra paketlenerek yeşil alanlar gibi seçenek kullanıma uygun hale getirmektedirler. Bunun başlıca nedeni tarım, orman veya iyileştirme alanlarının tesisten uzak, taşımanın güç ve maliyetinin yüksek olmasıdır. Büyük şehirler artan çevre bilinciyle daha çok yeşil alan ve yeşil kuşak çalışmalarına öncelik vermekte dolayısıyla biyokatıların kullanım alanları arıtma tesislerine yakın alanlarda artmaktadır (4).

Amerika’da biyokatıların halkla etkileşimi yüksek olan yeşil alanlarda kullanılmasında, diğer ticari mallar gibi pazarlama programları uygulanmaktadır. Genellikle pazarlanan biyokatıların besin maddesi, PTE kapsamı ve mikrobiyolojik özellikleri hakkında analiz sonuçlarının kullanıcılara bildirilmesi, kullanılacak alana taşınma olanağının sağlanması, pazarlama olanaklarını arttırmaktadır. Amerika’da satışı yapılan biyokatıların fiyatı 33-64 dolar/ton arasında değişmektedir (4).

3.2.4. Biyokatıların ağaçlandırma alanlarında kullanımı

Biyokatıların ağaçlandırma alanlarında kullanımı, diğer kullanım alanlarındaki kadar yaygın değildir. Ancak son yıllarda biyokatılar ağaçlandırmada başarı ile kullanılmakta ve bu alanlarda kullanım gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Amerika’da yapılan araştırma çalışmalarında, biyokatının fidan dikiminden önce ve sonra kullanılabilmesi belirlenmiştir. Biyokatıların bu şekilde kullanımının, fidan ölümüne neden olmadığı, iğne yapraklı ve yaprağını döken ağaçların bir çoğunda fidan gelişimine olumlu etkilerinin olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmalar, biyokatı kullanımının fidanların büyüme hızını arttırdığını da ortaya koymuştur. Büyümeye etkinin % 2-100 arasında değiştiği, erozyona uğramış, toprak derinliği az,

verimliliğin düşük olduğu ağaçlandırma alanlarında büyüme etkinin en yüksek düzeye ulaştığı, ayrıca bu etkinin türler arasında değişiklik gösterdiği, ladin, akasya, çam, kızılçık, kavak türlerinden daha iyi sonuç alındığı belirlenmiştir. Büyüme ve gelişmeye en olumlu etki toprak iyileştirici olarak yüksek miktarda biyokatı kullanıldıktan sonra ağaçlandırma yapılan alanlara dikilen fidanlarda gözlenmiştir. Biyokatıların ağaçların büyümesine etkisi her zaman ticari gübreden daha fazla olmuş, bazı çalışmalar biyokatı uygulamasının etkisinin uygulamadan sonra 8 yıl devam ettiğini ortaya koymuştur (4).

Yetişkin ağaçların bulunduğu alanlara da biyokatı uygulamaları yapılabilmektedir. Ancak gerek bitkiye olan olumlu etkinin genç bitkilere oranla az olması gerekse yetişkin ağaçlara biyokatı dağıtımının zorluğu nedeniyle daha az tercih edilmektedir (8).

USEPA yönetmeliğinde ağaçlandırma alanlarına uygulanan biyokatının azot miktarının yer altı ve yüzey sularında kirlilik oluşturmayacak şekilde belirlenmesi gerekliliği bildirilmiştir. Ülkemizde yürürlükte olan TKKY' nde orman ve ağaçlandırma alanlarında biyokatı kullanımına yönelik herhangi bir hüküm yer almamaktadır. Avrupa Birliğinin 2000 yılında hazırladığı Taslak Yönergede biyokatıların mikrobiyolojik özelliklerine bağlı olmaksızın, doğal orman alanlarında kullanımını yasaklamıştır. Buna karşın ağaçlandırma alanlarında ve yeni orman oluşturulacak alanlarda hastalık yapıcı organizmaları giderilmiş biyokatıların kullanılabileceği, hastalık yapıcıları azaltılmış biyokatıların toprağa derin enjekte edilerek ve yayılımdan sonra 10 ay boyunca halkla etkileşimin olmaması koşuluyla kullanılabileceği belirtilmektedir (4).

3.3. Biyokatının Değerlendirilmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Bugün dünyada pek çok ülkede biyokatıların bir daha kullanılmamak üzere uzaklaştırılması yerine, sürdürülebilir ve yararlı bir şekilde arazide kullanılması amaçlanmaktadır. Amerika' da 1993 yılı itibariyle ortaya çıkan 5,4 milyon ton (kuru ağırlık) biyokatının % 33' ü arazide kullanılmaktadır. Araziye uygulanan

biyokatıların % 67' si tarım alanlarında. % 9' u iyileştirilecek alanlarda, % 9' u yeşil alanlarda (park, bahçe, golf sahaları) değerlendirilmekte ve % 12' si torbalanarak satılmaktadır (8).

Yunanistan' ın iki pilot bölgesinde "Tarımsal Kullanım İçin Hijyenik Arıtma Çamuru Yönetimi" projesi kapsamında çalışmalar 1996 yılında başlamıştır. Laima Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan biyokatı, proje kapsamında pamuk yetiştiriciliğinde Rethimnon Belediyesi Kentsel Arıtma Tesisinden çıkan biyokatı ise Crete Adasındaki zeytin ağaçlarına gübre olarak uygulanmaktadır (4).

İtalya' da evsel çamur üretimi $700-800 \times 10^3$ ton/yıl KM olarak belirlenmiştir. Son arıtma ve giderim yöntemi olarak düşünülen arazide depolama ile oluşan bu çamurun %55' i azaltılabilmekte ancak yeni arazilerin bulunması zorluğu giderek artmaktadır. Aynı zamanda yayınlanan yeni yönetmeliklerde, değişik kullanım alanlarının artması için yüksek kalitede kompost üretilmesi gerektiği belirtilmektedir. Arıtma çamurlarının belediye atıkları ile kompost oluşturma veya yakılmasıyla toplam çamur üretiminin %15 azaltıldığı rapor edilmiştir. İtalya' da çamurun arazide kullanımı halen devam etmekte ve oluşan toplam çamurun %50' si bu şekilde giderilmektedir (13).

Almanya, Fransa, İngiltere ve İtalya' da Avrupa Birliği ülkelerinde oluşan toplam çamur miktarının %74' ü buralardaki arıtma tesislerinden oluşmakta ve % 84' ü bu ülkelerde giderilmektedir. Oluşan çamurun %40' ı düzenli depolama, %37' si tarımda kullanılarak, %11' i yakılarak ve %6' sı ise denize boşaltılarak uzaklaştırılmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde oluşan çamur miktarının 2005' in sonlarına doğru %50 artacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle çamur arıtım ve giderim yöntemleri çevresel açıdan kabul edilebilir, güvenli ve mali olarak da uygun olmalıdır. Yasalar ve çevresel durum göz önüne alınarak çamurun geri kazanılarak giderimi düşünülmelidir. Örneğin yakma ile enerji geri kazanımı ve düzenli depolama ile çamurun yeniden kullanımı sağlanmalıdır (14).

Amerikan Federal Yönetmelikleri’ nde çamurun arazi uygulamasının insan sağlığı, tarımsal verimlilik ve ekolojik sağlık açısından yeterli koruyuculuk göstermediği belirlenmiştir. Amerikan Standartları çoğu Avrupa ülkeleri ve Kanada eyaletlerine göre daha az koruyuculuk içermektedir. Tarımsal amaçlı ve yerleşim alanlarında çamur kullanımı ısrarı devam ederse çok büyük kirlenme olasılığı oluşacak ve toprakta oluşan uzun süreli kirliliğin giderimi de mümkün olmayacağından bu konuya dikkatle yaklaşılmalıdır. Uzmanlar arazi kullanımını yasaklanmasını değil daha sınırlı kullanılmasının önemli olduğunu öne sürmektedirler. Bunun için en önemli öneri uygulamada temiz çamur kullanımı ya da daha yüksek kaliteli çamurdan daha az kullanılmasının sağlanmasıdır. Böylece toprak kirleticilerinin biriken artışı önlenabilir (15).

Avrupa’ da 1992 yılı itibariyle elde edilen toplam biyokatı miktarı ile ülke bazında giderilen ve kullanım oranlarına ait veriler Çizelge 3.2’ de verilmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde üretilen toplam biyokatı miktarı 7 milyon tonun üzerindedir ve bunun yaklaşık % 37’ si tarım alanlarında değerlendirilmektedir. Bu oran; Danimarka, Fransa, İngiltere, Norveç, İsveç ve İspanya’ da % 50 dolaylarındadır (12).

Afrika ülkelerinden Mısır, biyokatıların kullanımı konusundaki çalışmalara “Kahire Biyokatı Giderim Projesi” ile temmuz 1995’ te başlanmıştır. Projede yılda yaklaşık 0,4 milyon ton (kuru madde) biyokatı üretilceği hesaplanmış ve bu yüksek miktardaki malzemeyi tarımda güvenle kullanabilmenin yolları aranmıştır. Ülkede hayvan gübresi üretiminin azaldığı, gübre fiyatlarının hızlı bir şekilde arttığı, tarımın çöl alanlarına doğru genişlemesi gerektiği ve hızla artan nüfusun sağlıklı bir şekilde beslenmesi şart olduğu gözönüne alınarak, biyokatılar önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Diğer taraftan Mısır’ da genellikle alkali toprakların yaygın olması nedeniyle bazı temel toprak gruplarında kronik düzeyde olan mikro element noksanlıklarının biyokatı uygulaması ile giderilebilmesi de bu projenin amaçları arasında ele alınmıştır (4).

Çizelge 3.2. Avrupa Birliği ülkelerinde üretilen biyokattının giderilen ve kullanılan miktarları (1992) [1000 ton (kuru ağırlık) / yıl (%)] (4)

Ülke	Miktar	Tarım alanları	Düzenli depolama	Yakma	Denize boşaltma	İyileştirme alanlarında, ormanda vb.
Belçika	59,2 (0,8)	17,2 (29)	32,5 (55)	8,9 (15)	-	0,6 (1)
Danimarka	170,3 (2,3)	92 (54)	34 (20)	40,9 (24)	-	3,4 (2)
Almanya	2681,2 (36,3)	724 (27)	1448 (54)	375,2 (14)	-	134 (5)
Finlandiya	150 (2)	37,5 (25)	112,3 (75)	-	-	-
Fransa	865,4 (12)	502 (58)	233,5 (27)	130 (15)	-	-
Yunanistan	48,2 (0,6)	4,8 (10)	43,4 (90)	-	-	-
İngiltere	1107 (15)	488 (44)	88,6 (8)	77,4 (7)	332 (30)	121 (11)
İrlanda	36,7 (0,5)	4,4 (12)	16,6 (45)	-	12,8 (35)	2,9 (8)
İtalya	816 (11)	269,2 (33)	449 (55)	16,2 (2)	-	81,6 (10)
Lüksemburg	8 (0,1)	1 (12)	7 (88)	-	-	-
Hollanda	335 (4,5)	87 (26)	171 (51)	10 (3)	-	67 (20)
Norveç	95 (1,3)	53,2 (56)	41,8 (44)	-	-	-
Avusturya	170 (2,3)	30,6 (18)	59,5 (35)	57,8 (34)	-	22,1 (13)
Portekiz	25 (0,3)	2,7 (11)	7,3 (29)	-	0,5 (2)	14,5 (58)
İsveç	200 (2,7)	80 (40)	120 (60)	-	-	-
İsviçre	270 (3,6)	121,5 (45)	81 (30)	67,5 (25)	-	-
İspanya	350 (4,7)	175 (50)	122,5 (35)	17,5 (5)	35 (10)	-
Toplam	7387 (100)	2691,1 (36,4)	3068,2 (41,6)	801,4 (10,9)	380,3 (5,1)	447,1 (6)

Başta İngiltere olmak üzere İskoçya, İrlanda ve Belçika’ da biyokatılar. “N-Viro Soil” olarak isimlendirilen bir malzemeye dönüştürülerek kullanılmaktadır. Bu malzeme, çeşitli alkalilerle işlem görmüş, tanecikli yapıda, koku ve hastalık yapıcı organizmaları olmayan, PTE kapsamı azaltılmış biyokattıdır. Gübre ve toprak iyileştirme malzemesi olan N-Viro Soil’ i kullanan çiftçilerin belirli bir ürünü elde etmek üzere gübre için yaptıkları giderlerin tamamı veya önemli bir kısmı bu yolla karşılanmaktadır. Bu malzeme herhangi bir gübre dağıtma makinası ile kolaylıkla uygulanabilmektedir (4).

Japonya’ da biyokatı uygulanacak alanların son derece az olması nedeniyle atıksu arıtma tesislerinden elde edilen biyokatıların % 60’ ı yakılmaktadır. Katı atıkların ve biyokatıların yakılması sonucu oluşan küller arazi doldurma yöntemi ile

giderilmektedir. Ayrıca son yıllarda arazi doldurma alanlarının bulunmasında güçlüklerle karşılaşılması nedeni ile son giderimde yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerekliliği gündeme gelmiştir. 1980'lerden başlamak üzere organik maddelerin yüksek sıcaklıkta (1200 – 1400 °C) ergitilmesinden sonra kristallendirilerek granit benzer “yapay taşlar” elde edilmektedir. Bu sayede PTE'ler kristallendirilmiş malzeme içinde tutuklanmış duruma gelerek yıkanma riskleri engellenmekte ve atıklar geri dönüşümlü bir kaynak durumuna gelmektedirler. Günümüzde Japonya'da 30' u aşkın tesis bu teknoloji ile çalışmaktadır (4).

Biyokatıları kullanıma hazır hale getiren teknolojilerden bir diğeri ise “Dondurarak Kurutma”dır. Amerika'da Colorado Denver Atıksu Arıtma Tesisinde soğuk kış ortamından yararlanılarak biyokatılar % 70 kuru maddeye kadar kurutulmaktadır. Bu yöntemde; tesisten sıvı halde çıkan biyokatı havuzlarda toplandıktan sonra ortam sıcaklığına bağlı olarak bir süre sonra üst yüzey donmakta, alt kısımda ise donmamış olan biyokatı buz tutan yüzeyin üstüne pompalanarak bu kısımların da donması sağlanmaktadır. Havaaların ısındığı dönemde açıkta kuruyan biyokatının katı maddesi % 94'e kadar çıkmaktadır. Dondurularak kurutulmuş biyokatının gübre değeri azalmakla birlikte tesise yakın golf sahalarında kullanılmaktadır. Bu teknoloji ile susuzlaştırma giderlerinin azalması sonucu önemli ölçüde arttırım sağlanmaktadır (4).

Biyokatıların kullanımını kolaylaştıran yöntemlerden bir diğeri ise kurutularak pelet haline getirilmeleridir. Bu yöntemle biyokatıların hastalık yapıcı organizmalarının giderimi sağlanmakta ayrıca araziye taşınmaları ve uygulanmaları kolaylaşmaktadır. Pelet haline getirilen biyokatıların kullanımı tüm dünyada yaygınlık kazanmaktadır (4).

3.4. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine Ait Biyokatı İle Yürütülen Araştırmalar

3.4.1. Ankara atıksu arıtma tesisine ait biyokatının halk sağlığına uygunluğu

Ankara Atıksu Arıtma Tesisinde çamur kararlılaştırılması mezofilik anaerobik çürütme (35 °C'de 14 gün) yöntemiyle yapılmaktadır. Mezofilik anaerobik çürütme

yöntemi ile kararlılaştırma, ham çamurda 10^7 /g düzeyinde bulunabilen fekal (dışkıya ait) koliform sayısını çürütme sonucu 10^6 /g düzeyine düşürebilmektedir (4).

Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan biyokattının mikrobiyolojik özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla 9 ay boyunca ayda bir palet çıkışlarından alınan örneklerde Fekal koliform, *Salmonella* ve *Helmint* yumurtası analizleri yapılmıştır. Ankara Atıksu Arıtma Tesisinde uygulanan kararlılaştırma yöntemi sonucu çamurda mikrobiyolojik yükün azaldığı, hatta çoğu zaman fekal kaliform yükünün beklenen düzeyden çok daha fazla giderildiği belirlenmiştir. Diğer taraftan örneklerde *Salmonella* ve *Helmint* yumurtasına rastlanmamıştır. Bu özellikler tesise ait palet çıkışından alınan biyokattının USEPA'ya göre "B sınıfı", Avrupa Birliği Taslak Yönetmeliğine göre "Geleneksel Standart" biyokatı niteliğinde olduğunu ortaya koymaktadır. Ülkemizde bugün yürürlükte olan TKKY'nde çamurlara uygulanan kararlılaştırma yöntemlerine bağlı olarak bakteriyel ve paraziter standartlara ait herhangi bir sınıflandırma yer almamıştır. Yönetmeliğimizde yalnızca hastalık yapıcı organizmaları giderilmiş yani dezenfeksiyonu sağlanmış biyokattıların kullanımına izin verilmektedir. Bu özellikteki biyokattılar USEPA'da "A Sınıfı", Avrupa Birliği Taslak Yönetmeliği'nde ise "Yüksek Standart" biyokatı olarak tanımlanmaktadır. Ülkemizde bugün bulunan atıksu arıtma tesislerinin hemen hemen hiçbirinde dezenfeksiyonu da sağlayan çamur kararlılaştırma yöntemleri uygulanmamaktadır. Dünyada bu tür çamur kararlılaştırma yöntemlerinin uygulandığı tesis sayısı çok azdır (4).

Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan ve doğal şartlarda (güneş altında) kuruyan biyokattılardan (% 80-90 KM) değişik zamanlarda alınan örneklerde fekal koliform sayısı 4/gram (kuru ağırlık) - 506/gram (kuru ağırlık) arasında değişim göstermiştir. Ayrıca örneklerin hiçbirinde *Salmonella* ve *Helmint* yumurtasına rastlanmamıştır. Bu sonuç, tesise ait biyokattının doğal şartlarda kurutulması sonucu USEPA'ya göre (Bölüm 4.1, Seçenek 4) "A Sınıfı" biyokatı özelliğine sahip olabileceğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan USEPA'da güneş altında, homojen kurumayı sağlayacak şekilde karıştırma yapılarak biyokattının % 70 kuru maddeye kadar kurutulması yönteminin "A Sınıfı" biyokatı koşullarını sağladığı belirtilmiştir (Bölüm 4.1,

Seçenek 6). Buna gore; Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan biyokatının kurutulması sonucu dezenfekte edilmiş (“A Sınıfı”-“Yuksek Standart”) biyokatı zellikliğini taşıyabileceği belirlenmiştir (4).

3.4.2. Ankara atıksu arıtma tesisine ait biyokatının PTE içeriği

Ankara Atıksu Arıtma Tesis, Ankara’nın evsel nitelikli atıksularını arıtmak üzere tasarlanmıştır. Tesisten elde edilen biyokatının 10 ay boyunca PTE analizleri yapılmış ve TKKY’nde yer alan değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma izelge 3.3’de özetlenmiştir (4, 28).

Çizelge 3.3. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatının PTE içeriğinin yönetmelik değerleri ile karşılaştırılması (4, 28)

Element	TKKY’de toprakta kullanılacak biyokatılarda izin verilen maksimum PTE miktarları (ppm-kuru madde)	USEPA’ya gore önerilen limit (ppm-kuru madde)	Ankara atıksu arıtma tesisine ait biyokatının (on aylık dönem) PTE miktarları (ppm-kuru madde)	
			Minimum	Maksimum
Kadmiyum (Cd)	40	39-85	6	11
Bakır (Cu)	1 750	1 500-4 300	171	363
Nikel (Ni)	400	420-420	47	67
Kurşun (Pb)	1 200	300-840	125	180
Çinko (Zn)	4 000	2 800-7 500	2 230	4 510
Krom (Cr)	1 200	1 200-3 000	102	235
Civa (Hg)	25	17-57	0,4	1,1
Arsenik (As)	-	41-75	11,8	13,9
Selenyum (Se)	-	36-100	1,6	2,2
Molibden (Mo)	-	18-75	2,97	4,4

Ankara Atıksu Arıtma Tesisinde çıkan biyokatıda çinko hariç diğer tüm PTE’lerin miktarları yönetmeliğimizde yer alan sınır değerlerden daha düşüktür. Aynı şekilde yönetmeliğimizde yer almayan ancak son yıllarda gündeme gelen arsenik, selenyum ve molibden miktarları ise USEPA’ya göre değerlendirildiğinde tesise ait biyokatıda bu elementlerin miktarlarının da çok düşük olduğu görülmektedir. Tesise ait

biyokatının çinko kapsamının, 10 ay boyunca aylık yapılan analizlerde 8 örnekte 4000 ppm olan sınır değerin altında olduğu yalnızca iki örnekte sınır değeri geçtiği belirlenmiştir. Herhangi bir tesise ait biyokatıdan alınan örneklerde yapılan analizler, o biyokatının özelliklerini yansıtmamaktadır (4).

Biyokatının genel özelliklerinin belirlenmesi uzun bir zaman sürecinde, yeterli sayıda ve belli temellere dayalı olarak alınan örneklerin analiz sonuçlarının istatistiki olarak değerlendirilmesi ile mümkündür (16). USEPA’ da öngörüldüğü şekilde Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatıda metal değişim sınırlarının belirlenmesi ve sonuçların güvenilirliğinin istatistiki olarak değerlendirilebilmesi için 2002 yılında 5 hafta boyunca her gün alınan biyokatı (palet çıkışı) örneklerinde kadmiyum, bakır, nikel, kurşun, çinko ve krom analizleri yapılmıştır. Günlük olarak alınan bu örneklerin maksimum ve minimum değerleri ile 5 haftalık örneklerde yapılan metal analiz sonuçlarının aritmetik ortalaması Çizelge 3.4’ de verilmiştir (4).

Çizelge 3.4. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatının PTE içeriği (5 haftalık dönemde) (ppm-kuru madde) (4)

Element	Minimum	Maksimum	Ortalama
Kadmiyum (Cd)	4	8	6,4
Bakır (Cu)	244	320	286
Nikel (Ni)	65	88	76
Kurşun (Pb)	131	218	181
Çinko (Zn)	2 775	4 587	3 815
Krom (Cr)	92	192	138

USEPA’ nın öngördüğü yöntemlere göre yapılan istatistiki analiz sonucu, PTE derişimlerinin aritmetik ortalamalarının tesise ait biyokatıyı temsil ettiği belirlenmiştir. Ancak Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatının çinko kapsamını izlemek amacıyla analizlerin daha sık aralıklarla ve uzun dönemde yapılması gerekmektedir. Diğer taraftan pek çok ülkede daha kaliteli veya daha düşük PTE içeren biyokatılar elde edilmesine yönelik çalışmaların yürütüldüğü ve Avrupa Birliği Taslak Yönetmeliğinde orta ve uzun vadede PTE sınır değerlerinin azaltılmasının öngörüldüğü göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, Ankara Atıksu Arıtma Tesisine çinko yükü getiren kaynakların belirlenerek, biyokatıdaki çinko

yükünün azaltılmasına yönelik gerekli önlemlerin alınması, bu malzemenin çinko kapsamı açısından araziye daha güvenle uygulanmasını sağlayacaktır. Tarım alanları da dahil tüm kullanım alanlarına bir yılda biyokatılar ile verilebilecek toplam PTE miktarları TKKY’ nde belirtilmektedir. Söz konusu yönetmelik gereğince, Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatının 5 haftalık örneklerine ait PTE derişimlerinin aritmetik ortalamaları temel alınarak belirlenen toprağa bir yılda uygulanabilecek biyokatı miktarları Çizelge 3.5’ de verilmiştir (4, 28).

Çizelge 3.5. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatının PTE içeriğine göre bir yılda toprağa uygulanabilecek miktarları (4, 28)

Element	Tesise ait biyokatının ortalama PTE kapsamı (ppm)	Toprağa bir yılda verilebilecek PTE miktarları (g/da/yıl) (TKKY)	Bir yılda toprağa uygulanabilecek biyokatı miktarları (ton/da/yıl)
Kurşun (Pb)	181	1 500	8,2
Kadmiyum (Cd)	6,4	15	2,3
Krom (Cr)	138	1 500	10,8
Bakır (Cu)	286	1 200	4,1
Nikel (Ni)	76	300	3,9
Çinko (Zn)	3 815	3 000	0,78
Civa (Hg)	0,7	10	14,2

Çizelge 4.5’ de görüldüğü gibi, bir yılda toprağa verilebilecek biyokatı miktarları biyokatının içermiş olduğu PTE’ lerin derişimine bağılı olarak önemli ölçüde değişiklikler göstermektedir. Kullanılacak biyokatı miktarının belirlenmesinde her bir PTE için bir yılda toprağa uygulanabilecek biyokatı miktarları ayrı ayrı hesaplanmakta ve sonuçta en düşük biyokatı miktarı uygulamaya temel alınmaktadır. Buna göre Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatının toprağa uygulanabilecek miktarının, çinko derişimine bağılı olarak 780 kg (KM)/da/yıl biyokatı olduğu ortaya çıkmaktadır (4). Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çevresinde sulu tarım alanlarına yaygın olarak buğday-şeker pancarı değışimi uygulanmaktadır ve Orta Anadolu Bölgesinde sulu koşullarda buğday - şeker pancarı - fasulye rotasyonunda biyokatıların etkilerinin incelendiğı bir araştırmada 2 ton(KM)/da/yıl biyokatı uygulanmasının rotasyonda yer alan her üç bitkinin de optimum gübre ihtiyacını

karşıladığı belirlenmiştir (10). Yönetmeliğimizde belirtilen yıllık biyokatı uygulama miktarları bu malzemenin on yıl boyunca her yıl uygulanması durumunda öngörülmektedir. Belirtilen araştırmanın bulgularına göre üç yılda bir biyokatı uygulaması temel alınacak olursa, biyokatı uygulamasının yapıldığı yıl, bir yılda uygulanmasına izin verilen biyokatı miktarının üç katı olan 2,34 ton (KM)/da biyokatı ($0.78 \times 3 = 2,34$) kullanılabilir. Bu miktardaki biyokatı ise Orta Anadolu Bölgesinde sulu koşullarda yaygın bir biçimde uygulanan rotasyon için önerilen 2 ton (KM)/da biyokatı miktarını karşılamaktadır (4). Yönetmeliğimizde ayrıca, biyokatı kullanılacak toprakların PTE içeriklerinin belli sınır değerlerde olması öngörülmektedir. Ankara Atıksu Arıtma tesisi çevresinde biyokatı kullanılmamış alanlardan alınan toprak örneklerinde PTE analizleri yapılmış ve Çizelge 3.6' da TKKY' nde belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.6. Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çevresi topraklarının PTE içerikleri (ppm)
(4, 28)

Element	Tesis çevresi topraklarının PTE kapsamı (0-20 cm)		pH>6 olan topraklar için (yöre topraklarının pH' ısı >6) izin verilen sınır değerler (TKKY)
	Minimum	Maksimum	
Kurşun (Pb)	7,02	13,3	300
Kadmiyum (Cd)	0,16	0,24	3
Krom (Cr)	33,7	137	100
Bakır (Cu)	26,9	42,5	140
Nikel (Ni)	24,8	198	75
Çinko (Zn)	41,0	54,1	300
Civa (Hg)	0,02	0,08	1,5

Yapılan analiz sonuçlarına göre; kadmiyum, kurşun, bakır, çinko ve civa içerikleri açısından yöre topraklarının biyokatı kullanımına uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak bu toprakların nikel içeriği alınan örneklerin çoğunda yönetmelikte belirtilen topraklar için sınır değerin (75 ppm) üzerinde bulunmuştur. Ayrıca bazı örneklerin krom içeriği de belirtilen sınır değerin üzerinde belirlenmiştir. Türkiye topraklarının nikel, krom ve diğer PTE içeriklerinin incelendiği çalışmaların sayısı son derece azdır (4). Çarşamba Ovası topraklarında yapılan bir çalışmada bölge topraklarının toplam nikel miktarının 80-153 ppm, Tarsus yöresinde ise nikelin 63-181 ppm

arasında olduğu belirlenmiştir (17, 18). Sayıları çok az olan araştırma sonuçları, kesin bir yorum yapmak için yeterli olmamakla birlikte, ülkemizin farklı yörelerine ait toprakların doğal yapısında nikel miktarının TKKY’ de verilen limit değerden daha yüksek olabileceğini işaret etmektedir. Sonuç olarak ülke topraklarımızın oluştuğu ana kayalar temel alınarak PTE içeriklerini ortaya koyan çalışmalara gereksinim vardır; ancak bu şekilde ülke topraklarımızın özelliklerine dayalı PTE sınır değerleri TKKY’ de daha gerçekçi olarak yer alabilecektir (4).

3.4.3. Ankara atıksu arıtma tesisine ait biyokatının gübre değeri

Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilen biyokatının gübre değerini ortaya koyabilmek amacıyla 13 ay boyunca palet çıkışından alınan biyokatı örneklerinde gerekli analizler yapılmış ve bu analiz sonuçları biyokatılar için belirtilen tipik değerlerle karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.7’de Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilen biyokatının gübre değeri verilmektedir. Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilen biyokatı makro besin elementlerinden azot ve fosfor bakımından zengin, potasyumca fakir bir organik gübredir. Diğer taraftan bu malzemenin kalsiyum ve magnezyum içeriğinin biyokatılar için belirlenen tipik değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca tesise ait biyokatının karbon azot oranının (C/N) ve pH değerinin organik gübreler için ideal oranlarda olduğu belirlenmiştir (4).

Çizelge 3.7. Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatının gübre değeri (kuru madde) (4)

Parametreler	Tesisine ait biyokatı		Biyokatılar genel kapsamı
	Min.	Max.	
Organik madde (%)	46	58	50
Toplam azot (%)	2,4	3,9	3,0
Toplam fosfor (%)	1,0	1,3	1,5
Kalsiyum (%)	7,7	8,7	4,0
Magnezyum (%)	0,7	0,9	0,4
Sodyum (%)	0,1	0,2	0,7
Potasyum (%)	0,17	0,23	0,3
Çinko (ppm)	2230	4587	1200
Bakır (ppm)	171	363	750
Mangan (ppm)	452	595	250
C / N	8	11	-
pH	6	7	6-7

Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilen biyokatı yaklaşık % 25 kuru madde içermektedir. Açık havada yaz aylarında biyokatının üst yüzeyleri hızla kururken alt tabakalar ıslaklığı korumaktadır. Zamanla yüzeyde derin çatlaklar oluşmakta ve kuruyan kısımlar artmaktadır. Ancak bu şekilde biyokatının kullanıma hazır hale getirilebilmesi aylarca sürmekte ve büyük sert kesekler oluşmaktadır. Gerek kurutma süresine ve gerekse kurutma şekline bağlı olarak biyokatının azot kapsamında önemli oranlarda kayıplar oluşmaktadır. Azot kaybı yığınların kurutulması sırasında daha az, serilerek ve karıştırılarak kurutma yapıldığı taktirde çok daha fazla olmaktadır. Söz konusu azot kayıpları ve biyokatının diğer bazı özelliklerindeki değişimleri ortaya koyabilmek amacıyla tesis çevresinden alınan 6 adet değişik biçimlerde kurutulmuş biyokatı örneklerinde yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.8’ de verilmiştir (4).

Çizelge 3.8. Kurutulmuş biyokatının gübre değeri (kuru madde üzerinden) (4)

Katı madde (% ¹)	pH	Organik madde (%)	Toplam azot (%)	C / N
89	7,1	43	2,5	10
69	7,0	37	2,3	9
69	7,2	39	2,1	11
95	6,7	35	2,4	8
96	6,8	47	2,3	12
98	6,9	25	0,8	18

Kurutulma sonucu biyokatının toplam azot içeriği önemli ölçüde azalmaktadır. Çizelgede verilen ilk beş biyokatı örneği doğal şartlarda yığın halinde kuruyan biyokatlara aittir ve toplam azot içerikleri % 2.1 ile % 2.5 arasında değişmektedir. Son örnek ise, doğal şartlarda serilerek kurutulduktan sonra birkaç kez karıştırılmış ve daha sonra silindir ile ezilerek elenmiş biyokatı örneğidir. Bu işlemler ve geçen süre sonucu toplam azot kaybı çok ciddi boyutlara ulaşmış ve % 0.8 düzeyine kadar düşmüştür. Aynı şekilde bu biyokatı örneğinde daha fazla olmak üzere diğer kurutulmuş biyokatıların organik madde içeriklerinin de azaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak kurutulma sırasında toplam azot ve organik maddenin azalmasına bağlı olarak kurutulmuş biyokatının gübre değerinin palet çıkışına göre azaldığı belirlenmiştir. Ancak palet çıkışı biyokatının toprağa karıştırılabilmesi ve uygun miktarların uygulanabilmesi için dağıtıcı bir makinaya gereksinim vardır. Söz konusu kullanımdaki zorluk nedeniyle palet çıkışı biyokatının kurutulması zorunlu olmaktadır (4).

3.4.4. Biyokatının Ankara atıksu arıtma tesisi çevresinde kullanımı

Biyokatı, tesisten yarı katı, akışkan olmayan ve yapışkan bir şekilde çıkmakta, kamyonlarla şeritler halinde tarlalara yayılmaya çalışılmaktadır. Buğday hasatından sonra toprağa yayılan biyokatı bir süre tarla yüzünde kurumaktadır. Birkaç defa sürüm yapılarak biyokatının toprağa karıştırılmasından sonra buğday ekimi yapılmaktadır. Tesis çevresinde biyokatı kullanımının buğdayların PTE alımlarına etkisini belirleyebilmek amacıyla, hasat zamanı alınan buğday örneklerinde PTE analizleri yapılmış ve bitki için verilen kritik sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Çizelge 3.9' da verilmiştir. Biyokatı uygulamaları ile buğday tanesinde artışa neden olan element çinko olmuştur. Yörede biyokatı uygulanmamış buğday tarlalarından alınan tane örneklerinde çinko derişimi 20 ppm-29 ppm arasında değişiklik gösterdiği, biyokatı uygulamaları bu değerin 38 ppm-90 ppm'e ulaştığı belirlenmiştir (4).

Çizelge 3.9. Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çevresinde biyokatı kullanılarak yetiştirilen buğdayların (tane) PTE içeriği (ppm-kuru madde) (4)

Element	Tesis çevresinde biyokatı ile yetiştirilen buğdayların PTE derişimleri		Bitkide kritik değer
	Minimum	Maksimum	
Kadmiyum (Cd)	<0,03	<0,05	0,3
Kurşun (Pb)	0,2	0,4	0,5
Bakır (Cu)	5,1	12,5	15-20
Nikel (Ni)	0,9	2,5	20-30
Çinko (Zn)	38,3	90,5	150-200
Krom (Cr)	0,2	0,6	1-2
Civa (Hg)	<0,01	<0,01	0,03

Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait biyokatının çim tesis alanlarında ahır gübresine seçenek olarak kullanılma olanaklarının belirlenmesi amacıyla, Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü arazisinde bir araştırma yürütülmüştür. Tesisten yaklaşık %25 KM ile çamur şeklinde çıkan biyokatının çim tesisinde kullanılabilir hale getirilmesi için yaz aylarında açık havada kurutulmuş, bu dönem içinde zaman zaman üst yüzeyi karıştırılmıştır. Kurutma ile oluşan iri keseklerin ezilmesi için

silindir kullanılmamış daha sonra elenerek kullanıma uygun hale getirilmiştir. Bu şekilde %98 KM' ye kadar kurutulan biyokatinın doğrudan etkileşim için güvenli ("Asınıfı") kalitede olduğu, yapılan mikrobiyolojik analizlerle de ortaya koyulmuştur. Biyokatılar çim alanlarının oluşturulmasında kurutma işleminden sonra ezmeden ve elemeden kesekli bir şekilde de toprağa karıştırılabilmektedir. Ankara'daki bazı özel konut sitelerinin yeşil alan tesislerinden olumlu sonuçlar alınmıştır. Biyokatinın yeşil alanların oluşturulmasında ahır gübresi yerine kullanılmasında herhangi bir olumsuzlukla karşılaşılmamıştır. Aksine biyokatı uygulaması ile yıl boyunca renk, görünüş ve kuru madde verimi açısından olumlu etkiler belirlenmiştir. Biyokatinın çim tesis alanlarında toprak altına serilmesi ve karıştırılması yöntemi ile kullanılması, hem biyokatinın toprak yüzündeki koyu rengi hem de kokusu nedeniyle karşılaşılabilecek olumsuz tepkilere engel olabilecek bir uygulamadır. Bu uygulama aynı zamanda biyokatıdan kaynaklanabileceği düşünülen bazı hastalıkların bulaşması konusundaki endişeleri de ortadan kaldırmaktadır (4).

3.4.5. Ankara Atıksu Arıtma Tesisi' ne ait biyokatinın eğimli arazilerde kullanımının yüzey akış ve toprak kayıplarına etkisi

Biyokatılar, ciddi bir şekilde zarar görmüş marjinal alanlarda toprağın yeniden üretken bir hale dönüştürülmesini sağlamak veya toprak erozyonunu engellemek üzere bitki örtüsü oluşturmak için kullanılmaktadır. Marjinal alanlarda yeterli organik maddenin ve yeniden bir ekosistemin oluşmasını sağlamak amacıyla kuru ağırlık olarak 45 ton (KM)/da veya daha yüksek miktarda biyokatı kullanılmaktadır. Yaygın uygulanan miktar ise 12 ton (KM)/da' dır. Bu yüksek miktarların bir defada uygulanması zorunluluğu, çoğu zaman özellikle eğimli arazilerde yüzey akış suları ile yer altı sularının kalitelerinin kontrolünü zorunlu hale getirmektedir (8). Ancak, bu tür alanlara uzun zaman aralıkları ile uygulama yapılması, biyokatıların içeriğinde bulunabilecek PTE' lerin toprakta ve bitkide sebep olabileceği zarar açısından kaygı verici olmamaktadır (4).

Biyokatı uygulamalarının eğimli arazilerde kullanımının toprak kaybına ve yüzey akış sularının kalitesine etkileri konusunda, yapay yağmurlayıcılar kullanılarak

oluşturulan yağışlarla ve/veya doğal yağış koşullarında bir çok ülkede araştırmalar yürütülmüştür. Bu araştırmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir (4, 19, 20, 21).

1. Erozyonla oluşan toprak kayıpları uygulanan biyokatı miktarı arttıkça azalmaktadır. Bu etki biyokatinin su tutması ve yüzey pürüzlülüğü oluşturmasının yanı sıra toprak agregasyonuna ve infiltrasyona olan olumlu etkisi ile açıklanmaktadır.
2. Biyokatinin yüzey ve yer altı sularının kalitesine olabilecek etkileri, uygun toprak koruma tedbirleri ve bitki amenajmanı ile önlenebilmektedir.
3. Biyokatılar gübre etkisi ile yüzey vejetasyonunu geliştirmekte ve bu yolla toprağı koruyarak erozyonu engellemektedir.
4. Kar sularının oluşturduğu yüzey akışlarda kirletici derişimleri diğer dönemlere göre daha yüksektir. Bu nedenle biyokatıların eğimli alanlara kış aylarında serilmesinden kaçınılmalıdır.

Biyokatıların eğimli arazilerde kullanılmasının toprak kayıplarına ve yüzey akış sularının kalitesine etkilerinin belirlenmesi amacıyla Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü arazisinde bir araştırma yürütülmüştür (4). Araştırmada kullanılan biyokatı Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. Biyokatinin palet çıkışı ve kurutulmuş formlarında yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11’de verilmektedir.

Çizelge 3.10. Palet çıkışı ve kurutulmuş biyokatıların fiziko-kimyasal özellikleri (kuru madde üzerinden) (4)

	Katı madde (%)	pH	Organik madde (%)	Toplam Azot (%)	Fosfor (%)	Potasyum (%)	EC. 1/ 5 mmhos 25 °C	C/N
Palet çıkışı	24	6,9	52	3,30	1,1	0,35	2,66	9
Kurutulmuş	83	7,2	38	2,28	0,98	0,37	2,75	10

Çizelge 3.11. Biyokatinin PTE içerikleri (ppm-kuru madde) (4)

Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg
307	180	3980	9,47	221	63,9	1,08

Araştırma yapay ve doğal yağış koşullarında olmak üzere iki ayrı deneme şeklinde ele alınmıştır.

- Yapay yağış koşullarında % 9 eğimli bir arazide yürütülen araştırmanın konuları ve alınan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Kontrol; toprağın eğim yönüne dik sürülmesi,
2. 2 ton (KM)/da kurutulmuş öğütülmüş biyokatının toprağa karıştırılarak uygulanması,
3. 15 ton (KM)/da kurutulmuş biyokatının toprağa karıştırılarak uygulanması,
4. 15 ton (KM)/da kurutulmuş biyokatının toprak yüzüne serilerek uygulanması,
5. 15 ton (KM)/da palet çıkışı biyokatının toprak yüzüne serilerek uygulanması,
6. Palet çıkışı biyokatının şeritler şeklinde (eğim yönüne dik 2 m eninde ve yaklaşık 10 cm kalınlıkta) uygulanması.

Araştırmada parseller düşük şiddette bir yağış uygulanarak doymun hale getirilmiş ve daha sonra Ankara' nın 10 yıl yinelemeli, 10 dakika süreli ve 50 yıl yinelemeli ve 20 dakika süreli yağışları 9,5 cm/sa şiddetinde peş peşe yağdırılmıştır. Parsellerden gelen yüzey akış ve toprak kayıplarının ölçülmesi için parsel sonlarına bir seri ölçüm tankı yerleştirilmiştir. Yapay yağış koşullarında yürütülen araştırmanın sonucunda; biyokatının 15 ton (KM)/da miktarının yaş ve kuru olarak toprak yüzeyine uygulandığı ve yaş olarak serildiği parsellerden yüzey akış ve toprak kayıplarının oluşmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç, biyokatının yukarıda belirtilen şekilde uygulanmasının erozyonu önleyici etki yaptığını göstermektedir. Biyokatının 2 ton (KM)/da ve 15 ton (KM)/da miktarlarının toprak yüzüne serildiği ve çapa makinası ile karıştırıldığı uygulamada oluşan yüzey akış ve sediment miktarları kontrolden gelen miktara yakın olmuştur. Araştırmada toplanan yüzey akış sularında pH, elektriksel iletkenlik (EC), nitrat (NO_3), fosfat (PO_4), bor (B) ve PTE analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; 15 ton (KM)/da miktar biyokatı uygulaması dahil yüzey akış sularında gerek pH, EC, NO_3 , PO_4 , B, gerekse kadmiyum, krom, bakır, kurşun, nikel, çinko, civa miktarları kontrol konusu ile benzer sonuçlar vermiştir. Diğer taraftan sediment örneklerinde bulunan PTE' lerin miktarları da kontrol konusu ile benzerlik göstermiş yalnızca 15 ton (KM)/da biyokatının toprağa

kariştırılarak uygulanmasının yapıldığı konudan gelen sedimentte PTE' lerin miktarında bir artış belirlenmiştir. Bu durum biyokatinın yüzey akışla gelen sedimente karişmasının doğal bir sonucudur. Araştırmadan elde edilen bir diğeri sonuç, biyokatinın gübre etkisi nedeniyle oluşan vejetasyonun, yüzey kaplamayı arttırması dolayısıyla daha sonraki dönemde erozyonun engellenmesidir. Biyokatı uygulanan tüm parsellerde hızlı bir yabancı ot gelişimi olmuştur. Biyokatıların yer altı suyunun yüzeye yakın olduğı alanlarda yüksek miktarlarda kullanılması, yer altı sularında azot kirliliğine neden olabilmektedir. Ancak bu araştırmada yer altı suyuna olabilecek etkiler incelenmemiştir.

- Doğal yağış koşullarında yürütölen araştırma biyokatıların eğimli tarım alanlarına uygulanması durumunda doğal yağışların oluşturduğı yüzey akış ve taşınan sedimentlerde oluşturabileceğı kirlilik yüklerinin belirlenmesi amacıyla %12 eğimli bir arazide yürütölmüştür. Araştırmanın konuları ve alınan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Kontrol; toprağın eğim yönüne dik sürölmesi,
2. 2 ton (KM)/da biyokatinın buğday ekiminden önce uygulanması,
3. Buğdaya optimum ticari gübre uygulanması,
4. 2 ton (KM)/da biyokatinın toprağı kariştırılarak uygulanması,
5. 2 ton (KM)/da biyokatinın toprak yüzeyine uygulanması,

Araştırmanın yürütöldüğü 2000 su yılında 376,3 mm yağış alınmış ve yağışların erozyon indisi 35,4 olarak gerçekteşmiştir. Bu erozyon indisi Ankara koşullarında ortalama bir yıl yaşandığını göstermektedir. 2000 su yılında 68 gün yağış alınmış, bunların 16' sı yüzey akış ve toprak kaybı oluşturmuştur. Araştırma sonucunda; kontrol konusu ile biyokatinın yüzeye serildiğı ve toprağı kariştırıldığı konulardan oluşan yüzey akış ve sediment miktarları birbirine yakın olmuştur. Diğeri bir ifadeyle 2 ton (KM)/da biyokatı uygulaması erozyonu önleyici bir etki göstermemiştir. Buğday yetiştirilen konularda ise bitki gelişimi arttıķça yüzey akış ve toprak kayıpları azalmıştır. Her yağıştan sonra yüzey akış sularından alınan örneklere

yapılan nitrat, fosfat, elektriksel iletkenlik ve bor analiz sonuçları kontrol konusuna yakın değerlerde bulunmuştur (4).

4. ARITMA ÇAMURLARININ HALK SAĞLIĞI VE PTE İÇERİKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

4.1. Biyokatıların Halk Sağlığına Uygunluğu

Bakteri, virüs ve protozoa gibi hastalık yapıcı mikroorganizmalar ile helmintler (solucan, kurt) ham kanalizasyon ortamında her zaman bulunmaktadır. Mikroorganizmaların sayıları ve çeşitleri; şehirleşme derecesine, nüfus yoğunluğuna, toplumun hijyen alışkanlığına ve mevsimlere göre değişmektedir. Kanalizasyon ortamındaki hastalık yapıcı mikroorganizmalar bugün kullanılan atıksu arıtma teknolojileri ile önemli düzeyde azaltılmakta ve bu sayede arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış atıksu ve biyokatılar alıcı ortamlara verilebilmektedir. Arıtma tesislerine giren kanalizasyonun değişik arıtma yöntemleri sonucu bulundurabileceği mikroorganizma sayıları Çizelge 4.1’ de verilmiştir (7).

Çizelge 4.1. Atıksu arıtma yöntemlerine göre arıtılmış atıksu ve biyokatıda bulunabilecek mikroorganizma sayıları (7)

Mikroorganizma	Arıtılmış atıksuyun 100 ml’ sinde bulunan sayı				Gram çamurda bulunan sayı	
	Ham lağım	Birincil arıtım	İkincil arıtım	Üçüncül Arıtım ⁽¹⁾	Ham çamur	Kararlılaş- tırılmış çamur ⁽²⁾
Fekal koliform (EMS) ⁽³⁾	1 000 000 000	10 000 000	1 000 000	<2	10 000 000	1 000 000
<i>Salmonella</i> (EMS)	8 000	800	8	<2	1800	18
<i>Shigella</i> (EMS)	1 000	100	1	<2	220	3
<i>Enterik virüs</i> (PFB) ⁽⁴⁾	50 000	15 000	1 500	0,002	1 400	210
<i>Giardia lamblia</i> kistleri	10 000	5 000	2 500	3	140	43
<i>Helmint</i> yumurtası	800	80	0,08	<0,08	30	10

⁽¹⁾ Pıhtılaştırma, sedimantasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon

⁽²⁾ Mezofilik anaerobik çürütme

⁽³⁾ EMS = En Muhtemel Sayı

⁽⁴⁾ PFB = Plak Form Birim

Atıksu arıtma tesislerinden ortaya çıkan ham çamurların halk sağlığı açısından güvenle kullanımını sağlamak üzere uygulanan pek çok yöntem vardır. Kararlılaştırma ve dezenfeksiyon yöntemleri bu amaçla kullanılmaktadır. Kararlılaştırma yöntemlerinin bazıları beraberinde ham çamurun dezenfeksiyonunu da sağlarken, bazı kararlılaştırma yöntemleri ham çamurun dezenfeksiyonunu tam olarak sağlayamaz; ancak önemli oranda hastalık yapıcı organizmaların giderimine neden olur (4).

Amerika’ da biyokatılardaki hastalık yapıcı organizmalar, insan ve hayvan etkileşiminden önce kabul edilebilir düzeylere indirilmesi için kullanılan standartlar ve amenajman uygulamaları, USEPA tarafından ortaya konan yönetmeliğin ana konusu olarak ele alınmıştır. Yönetmelik biyokatıları “A sınıfı” (doğrudan etkileşim için güvenli) ve “B sınıfı” (arazide ve bitkisel üretimde kısıtlı kullanım) olmak üzere iki kategoriye ayırmıştır (8).

USEPA’ da, “A sınıfı” biyokatıların herhangi bir kısıtlama yapılmadan arazide kullanılabileceği ancak, biyokatıların “A sınıfı” olarak değerlendirilebilmeleri için aşağıda belirtilen altı seçenekten birine ait koşulları sağlamaları gerektiği belirtilmiştir (8).

Seçenek 1- Çamurun katı maddesine bağlı olarak belirlenen ısıtma işleminin yeterli zaman boyunca uygulanması; genellikle katı maddesi %7 civarında olan çamurlara uygulanmaktadır.

Seçenek 2- Çamura yüksek pH ve ısı uygulaması; çamur en az 72 saat boyunca pH>12 olacak şekilde kireçlenmelidir. Aynı zamanda bu 72 saatin en az 12 saatinde sıcaklığın >52°C olması sağlanmalıdır. Bu şekilde kireçlenmiş biyokatının ek olarak katı maddesi >%50’ ye ulaşıncaya kadar havada kurutulması da öngörülmektedir.

Seçenek 3- Kararlılaştırmadan önce *enterik* virüs ve *helmin*t yumurtası bulundurmayan daha çok besin endüstrisinden kaynaklanan çamurları kapsar.

Seçenek 4- Kararlılaştırma yöntemi bilinmeyen biyokatılar; bu seçenek daha önceden depolanmış ve kaynağının ne olduğu bilinmeyen çamurlar için geçerlidir ve <1 PFB (Plak Form Birim) *enterik* virüs/4 gr (kuru ağırlık) ve *helmin* yumurta sayısı<1canlı yumurta/4 gr (kuru ağırlık) limitlerini sağlaması gerekmektedir.

Seçenek 5- Hastalık yapıcı organizmaların giderimini sağlayan (dezenfeksiyon) kararlılaştırma yöntemlerinden biri ile kararlılaştırılan biyoktılar; söz konusu kararlılaştırma yöntemleri aşağıda verilmiştir.

- Kompostlama; kapalı yerde veya statik havalandırma ile kompostlamada çamur sıcaklığı 3 gün boyunca 55°C veya daha fazla olmalıdır. Yığın halinde kompostlamada çamurun sıcaklığı 15 gün veya daha fazla bir süre 55°C’ de kalmalıdır. Bu süre içinde yığın en az 5 defa çevrilmelidir.
- Isı ile kurutma; çamur sıcak gazlar ile doğrudan veya dolaylı olarak etkileştirilerek, katı maddesi %90 veya daha yüksek düzeye çıkıncaya kadar kurutulur. Bu sırada çamur taneciklerinin sıcaklığı 55°C’ yi aşmalıdır.
- Isıl işlem; sıvı haldeki çamur 30 dakika süreyle 180°C veya daha yüksek dereceye kadar ısıtılmalıdır.
- Termofilik aerobik kararlılaştırma; sıvı haldeki çamura, aerobik koşulları sağlamak üzere 55°C-60°C’ de 10 gün boyunca hava veya oksijen verilir.
- Beta ışını ile ışınlama; çamur oda sıcaklığında (20°C) en az 1,0 megarad dozunda beta ışınları ile ışınlanmalıdır.
- Gama ışını ile ışınlama; çamur oda sıcaklığında kobalt 60 ve sezyum 137 gibi izotop kaynaklarından en az 1,0 megarad dozunda gama ışını ile ışınlanmalıdır.
- Pastörizasyon; amurun sıcaklığı, 30 dakika veya daha uzun bir süre boyunca 70°C veya daha yüksek ısı derecesinde tutulmalıdır.

Seçenek 6- Hastalık yapıcı organizmaların giderimini sağlayan kararlılaştırma yöntemlerine eş değer olabilecek sistemlerden ortaya çıkan biyokatılar; hastalık yapıcı organizmaların giderimini “A sınıfı” olarak sağlayan kararlılaştırma yöntemleri dışında kalan ve bunlara eşdeğer hastalık yapıcı organizmaların

giderimini sağlayan uygulamalar, Amerika’ da “Hastalık Yapıcı Organizmaların Eşdeğerliliği İzin Komitesi” tarafından yerel veya űlkesel düzeyde belirlenmektedir. Söz konusu komite tarafından; Florida’ daki bir tesiste 35-37°C’ de 30 gün anaerobik olarak kararlılaştırılan ve susuzlaştırılan biyokatının, 30 gün boyunca yüksekliği 46 cm’ yi aşmayacak şekilde asfalt yataklara serilerek, güneş altında 2 gün ara ile karıştırılarak %70 kuru madde sağlanana kadar kurutulması sonrası “A sınıfı” kalitesinde olduğu kabul edilmiştir. Komite ayrıca, hastalık yapıcı organizmaların giderimine eşdeğer uygulamaların hastalık yapıcı organizmaların giderimini sürekli sağlayabildiğinin ortaya konmasını öngörmektedir.

EPA tarafından “A sınıfı” biyokatılar için öngörölen bir diğer kural ise; yukarıda belirtilen 6 seçenekten birine ait koşulları sağlayan “A sınıfı” biyokatılarda, arazide kullanılmadan önce, satılmak üzere hazırlanırken ve paketlenmeden önce Fekal koliform veya *Salmonella*’ nın belirlenmesidir. Bu kural gereği “A sınıfı” biyokatılarda; <1000EMS (En Muhtemel Sayı) Fekal koliform/gram (kuru ağırlık) veya <3 *Salmonella*/4 gram (kuru ağırlık) düzeylerinde bakteri varlığına izin verilmektedir.

“A sınıfı” biyokatılar, dezenfekte edilmiş olmaları nedeniyle insan tüketimine yönelik ürünlerin yetiştirilmesinde güvenle kullanılırken, “B sınıfı” biyokatılar halk sağlığı açısından daha düşük kaliteye sahip olarak tanımlanmaktadır. Yönetmelik gereği bir biyokatının “B sınıfı” kalitesinde olabilmesi için aşağıda verilen 3 farklı seçenekten birini sağlaması gerekmektedir.

Seçenek 1- Biyokatıdan araziye uygulandığı sırada alınan yedi ayrı örneğin Fekal koliform sayısının geometrik ortalamasının 2 000 000 EMS/gram (kuru ağırlık)’ dan daha az olması istenmektedir.

Seçenek 2- Biyokatıya aşağıda verilen hastalık yapıcı organizmaları önemli oranda azaltan kararlılaştırma yöntemlerinden birinin uygulanmış olması gerekmektedir. Bu yöntemlerin biyokatıda 2 000 000 EMS Fekal koliform/gram (kuru ağırlık) şartını sağlayacağı kabul edilmektedir.

“B sınıfı” biyokatılar için belirlenen kararlılaştırma yöntemleri:

- Aerobik kararlılaştırma; çamur hava veya oksijen verilerek 20°C’ de 40 gün veya 15°C’ de 60 gün bekletilmelidir.
- Hava ile kurutma; çamur kum yataklarında, taşla kaplanmış veya kaplanmamış havuzlarda 3 ay boyunca kurutulmalıdır. Bu üç ayın iki ayında ortalama günlük hava sıcaklığı 0°C’ nin üzerinde olmalıdır.
- Anaerobik çürütme; çamur oksijensiz ortamda 35°C-55°C’ de 15 gün veya 20°C de 60 gün bekletilmelidir.
- Kompostlama; çamur 5 gün süreyle 40°C veya daha yüksek sıcaklıkta tutulmalıdır. 5 günlük bu dönem içerisinde 4 saatlik bir süreyle kompost yığınının sıcaklığı 55°C’ yi aşmamalıdır.
- Kireç ile kararlılaştırma; çamura 2 saat süreyle pH’ ı 12 olacak şekilde kireç eklenmelidir.

Seçenek 3- Biyokatiya hastalık yapıcı organizmaları önemli oranda azaltan kararlılaştırma yöntemlerine eşdeğer kabul edilen yöntemlerin uygulanmasıdır. Söz konusu yöntemler Amerika’ daki “Hastalık Yapıcı Organizmaların Eşdeğerliliği İzin Komitesi” tarafından belirlenmektedir. Örneğin; Teksas’ da 20 gün 30°C’ de veya 15 gün 35°C’ de aerobik kararlılaştırma ile elde edilen biyokatı “B sınıfı” olarak kabul edilmiştir.

Yukarıda belirtilen seçeneklere ek olarak USEPA tarafından “B sınıfı” biyokatıların kullanımları için bazı arazi kullanım kısıtlamaları getirilmiştir. Çizelge 4.2’ de A ve B sınıfı biyokatıların arazide kullanım kısıtlamaları verilmektedir.

Söz konusu kısıtlamaların temeli *Helminth* yumurta sayısının önemli ölçüde azaltılması için gerekli zamana dayanmaktadır. *Helminth* yumurtaları çevresel bulaşma kaynakları arasında en dayanıklısı olup yeterli düzeyde giderilebilmeleri için gerekli olan süre, bakteriyel ve viral hastalık yapıcı organizmaların giderilmesi için gerekli süreden daha fazladır.

Amerika’ daki uygulamaya benzer şekilde, Avrupa Birliği Ülkeleri tarafından 2000 yılında hazırlanmış olan Taslak yönetmelikte, çamura uygulanan kararlılaştırma yöntemlerine göre biyokatılar iki gruba ayrılmıştır. Dezenfeksiyonun sağlanabileceği kararlılaştırma yöntemlerinin uygulandığı biyokatılar “Yüksek Standart”, diğer yöntemler ile kararlılaştırılan biyokatılar “Geleneksel Standart” olarak değerlendirilmiştir (4).

Çizelge 4.2. “A sınıfı” ve “B sınıfı” biyokatıların arazide kullanım kısıtlamaları (8)

	A sınıfı biyokatı	B sınıfı biyokatı
Biyokatiya veya toprakla etkileşim halinde bulunan gıda ürünlerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Biyokatı uygulaması ile hasat arasında en az 14 aylık bir süre olmalıdır.
Kök bitkilerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	-Biyokatı toprağa karıştırılmadan önce, toprak yüzeyinde 4 ay ve daha fazla kalıyorsa, biyokatının toprağa uygulanması ile bitkinin hasadı arasında en az 20 aylık bir süre olmalıdır. - Biyokatı toprağa karıştırılmadan önce, toprak yüzeyinde 3 ay ve daha az kalıyorsa, biyokatının toprağa uygulanması ile bitkinin hasadı arasında en az 38 aylık bir süre olmalıdır
Yenen kısımları toprakla etkileşim halinde bulunmayan diğer gıda, lif ve yem bitkilerinin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Biyokatı uygulaması ile bu bitkilerin hasadı arasında en az 30 günlük bir süre olmalıdır.
Otlatma alanları	Kullanılır	Biyokatı uygulamasına takip eden ilk 30 günde otlatma yapılmamalıdır.
Halkla etkileşimin yüksek olduğu yeşil alanlar (parklar, top sahaları, çocuk bahçeleri vb.)	Kullanılır	Uygulanan alanın kullanımı için bir yıl beklenmelidir.
Halkla etkileşimin düşük olduğu yeşil alanlar	Kullanılır	Uygulanan alanın kullanımı için 30 gün beklenmelidir.

“Yüksek Standart” biyokatılar için belirlenen dezenfeksiyonu da sağlayan kararlılaştırma yöntemleri:

- Isı ile kurutma; çamur taneciklerinin sıcaklığı $>80^{\circ}\text{C}$ ve katı madde $>\%90$ olacak şekilde kurutulmalıdır.

- Termofilik aerobik kararlılaştırma; çamur, kararlılaştırma süresi boyunca sisteme herhangi bir ekleme ve uzaklaştırma yapılmaksızın 55°C’ de 20 saat bekletilmelidir.
- Termofilik anaerobik çürütme; çamur, kararlılaştırma süresi boyunca sisteme herhangi bir ekleme ve uzaklaştırma yapılmaksızın 53°C’ de 20 saat bekletilmelidir.
- Pastörizasyon; sıvı çamurun 70°C’ de 30 dakika işlem görmesinin ardından 35°C’ de 12 gün mezofilik anaerobik çürütme uygulanmalıdır.
- Kireçleme; çamur pH = 12’ de ve 55°C’ de 2 saat boyunca veya pH = 12’ de 3 ay süre ile bekletilmelidir.

Yukarıdaki yöntemlerle kararlılaştırılmış biyokatılarda ayrıca, *Salmonella* spp’ nin 50 gram (yaş ağırlık) da bulunması ve E.Coli’ nin < 500 KFB (Koloniform Birim)/gram olması şartı sağlanmalıdır.

“Geleneksel Standart” biyokatılar için belirlenen kararlılaştırma yöntemleri:

- Termofilik aerobik kararlılaştırma; çamur 55°C’ de 20 gün bekletilmelidir.
- Termofilik anaerobik çürütme; çamur 53°C’ de 20 gün bekletilmelidir.
- Mezofilik anaerobik çürütme; çamur 35°C’ de 15 gün bekletilmelidir.
- Kireç ile kararlılaştırma; çamura 24 saatlik süre boyunca homojen bir şekilde kireç eklenerek, 24 saatlik sürenin 12 saatinde ortam pH’ sının 12 olması sağlanmalıdır.
- Uzun havalandırmalı kararlılaştırma; kararlılaştırma süresi boyunca herhangi bir ekleme ve uzaklaştırma yapılmaksızın çamurun çevre sıcaklığında havalanma süresinin uzatılmasıdır.

İngiltere, aşağıda verilen çamur kararlılaştırma yöntemlerinden birinin uygulanmasıyla oluşan biyokatıların, herhangi bir sınırlamaya gerek olmadan arazide kullanılabileceğini kabul etmiştir (22).

- Çamur pastörizasyonu; çamur 70°C’ de minimum 30 dakika veya 55°C’ de minimum 4 saat bekletildikten sonra mezofilik anaerobik çürütme uygulanmalıdır.
- Mezofilik anaerobik çürütme; çamur en az 12 gün, 35°C’ de veya en az 20 gün 25°C’ de bekletildikten sonra 14 gün daha bekletilmelidir.
- Termofilik aerobik kararlılaştırma; çamur en az 7 gün bekletilmeli ve bu sürenin en az 4 saatinde ısı minimum 55°C olmalıdır. Tüm çamur minimum 55°C’ de en az 4 saat bekletilmelidir.
- Kompostlama; kompost, en az 5 gün boyunca 40°C’ de muhafaza edilmeli ve bu sürenin 4 saatinde 55°C’ de bekletilmelidir.
- Sulu çamurun kireç ile kararlılaştırılması; çamur en az 2 saat süreyle pH>12 olacak şekilde kireçlenmelidir.
- Susuzlaştırma ve depolama; çamur kireç veya diğer yoğunlaştırıcı maddelerle işlenerek suyu alındıktan sonra minimum 3 ay depolanmalıdır. Eğer mezofilik anaerobik çürütme ile kararlılaştırılmış ise depolama süresi minimum 14 gün olmalıdır.

Avrupa Birliği Taslak Yönetmeliğinde biyokatıların araziye uygulanması konusundaki sınırlama ve yasaklar bu iki farklı standart temel alınarak düzenlenmiş ve Çizelge 4.3’ de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3. “Yüksek Standart” ve “Geleneksel Standart” biyokatıların arazide kullanım kısıtlamaları (4)

Arazi çeşidi	Yüksek Standart biyokatı	Geleneksel Standart biyokatı
Mera alanları	Kullanılır	Kullanılır, ancak toprağa derin enjekte edilmeli ve biyokatı uygulaması ile otlatma arasında en az 6 haftalık bir süre olmalıdır.
Yem bitkileri yetiştirilen alanlar	Kullanılır	Kullanılır, ancak biyokatı uygulamasından sonra 6 hafta geçmeden hasat yapılmamalıdır.
Tarım alanları	Kullanılır	Kullanılır, ancak derine enjekte edilmeli veya derhal sürülerek toprak altına karıştırılmalıdır.

Çizelge 4.3. (Devam) “Yüksek Standart” ve “Geleneksel Standart” biyokatıların arazide kullanım kısıtlamaları (4)

Arazi çeşidi	Yüksek Standart biyokatı	Geleneksel Standart biyokatı
Toprakla etkileşim halinde bulunan ve çiğ yenen sebze ve meyvelerin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Kullanılamaz, veya biyokatı uygulamasından sonra 30 ay geçmeden hasat yapılmamalıdır.
Toprakla etkileşim halinde bulunan sebze ve meyvelerin yetiştirildiği alanlar	Kullanılır	Kullanılamaz, veya biyokatı uygulamasından sonra 12 ay geçmeden hasat yapılmamalıdır.
Meyve ağaçları, bağlar, ağaçlandırma alanları ve ormanların yeniden ağaçlandırılması	Kullanılır	Kullanılır, ancak toprağa derin enjekte edilmeli ve uygulamadan sonra 10 ay boyunca halkla etkileşim olmamalıdır.
Halkla etkileşimin yüksek olduğu yeşil alanlar	Kullanılır, ancak iyi kararlaştırılmış olmalı ve koku yaratmamalıdır.	Kullanılamaz.
Doğal ormanlar	Kullanılamaz.	Kullanılamaz.
Arazi iyileştirmesi	Kullanılır	Kullanılır, ancak halkla etkileşim için 10 ay beklenmelidir.

4.2. Biyokatıların PTE İçerikleri

Alıcı ortamlarda zaman içerisinde birikmeleri sonucu toksikliğe neden olmaları muhtemel olan elementler PTE olarak da ifade edilmektedirler. Kentsel atıksuların arıtımı ile oluşan biyokatılar bünyelerinde önemli bir miktar PTE bulundurulur. İnsan dışkı, kozmetikler, temizlik ve mutfak artıkları ile yol yüzey akış suları PTE’lerin kaynağıdır. Endüstriyel atıksuların şehir kanalizasyon sistemine verilerek ortak arıtmadan elde edilen biyokatılar ise, yüksek miktarda PTE içerebilmektedirler (23).

Kanalizasyona giren çinko ve nikelin önemli kaynakları çamaşır, bulaşık ve dışkı gibi evsel aktivitelerdir. Kurşun ise büyük oranda araçların eksozundan çıkan gazlar nedeniyle yol yüzey akış sularından kanalizasyona karışmaktadır. Diğer taraftan; elektroliz ve kaplama endüstrilerinden kadmiyum, nikel, krom; deri tabakhanelerinden krom; araba akü imalathanelerinden kurşun; kuru pil endüstrisinden ise kadmiyum, nikel, mangan ve civa gibi metaller kanalizasyon sistemine dahil olabilmekte ve biyokatıların PTE içeriğini arttırmaktadır PTE’ler doğal ortamda her zaman vardır. Bu elementlerin toprak içindeki derişimleri; toprak

ana malzemesinin bileşimine, mineralleşme derecesine ve toprak tekstürüne bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir. Atmosferik depozisyon ve diğer yük getirici kaynaklarla toprağa ulaşan PTE'lerin çoğu toprakta yavaş bir şekilde birikebilmekte ve belli bir düzeyden sonra toprak verimliliğine, bitki gelişimine ve insan sağlığına zararlı etkilerde bulunabilmektedir (4).

Biyokatı kullanımının topraklarda metal kirliliğine yol açmaması, dolayısıyla çevresel toksisitenin önlenmesi amacıyla ülkemiz de dahil olma üzere diğer ülkelerde çıkarılan yönetmeliklerin tümünde biyokatıların toprağa verilmeden önce PTE içeriklerinin belirlenmesi konusu yer almaktadır. Bazı ülkelerin biyokatıların araziye uygulanabilmesi için belirlemiş olduğu PTE sınır değerleri Çizelge 4.4' de verilmiştir (4).

Çizelge 4.4. Toprağa uygulanacak biyokatıların, yönetmeliklere göre, izin verilen PTE içerikleri (ppm-kuru madde) (4, 28)

Element	Türkiye (T.K.K.Y)	Avrupa Birliği (86/278/EEC)	Avrupa Birliği (Taslak Yönetmelik,2000)		
	-	-	Önerilen limit	Orta vadede limit (2015)	Uzun vadede limit (2025)
Kadmiyum (Cd)	40	20-40	10	5	2
Bakır (Cu)	1 750	1 000-1 750	1 000	800	600
Nikel (Ni)	400	300-400	300	200	100
Kurşun (Pb)	1 200	750-1 200	750	500	200
Çinko (Zn)	4 000	2 500-4 000	2 500	2 000	1 500
Krom (Cr)	1 200	-	1 000	800	600
Civa (Hg)	25	16-25	10	5	2
Selenyum (Se)	-	-	-	-	-
Arsenik (As)	-	-	-	-	-
Molibden (Mo)	-	-	-	-	-

Çizelge 4.4 (Devam) Toprağa uygulanacak biyokatıların, yönetmeliklere göre, izin verilen PTE içerikleri (ppm-kuru madde) (4)

	Fransa		Almanya		Hollanda	Amerika (EPA, 1993)	
Element	Referans	Limit	Toprak pH= 5-6	pH>6	-	Önerilen limit	Tavan limiti
Kadmiyum (Cd)	20	40	5	10	1,25	39	85
Bakır (Cu)	1 000	2 000	800	800	75	1 500	4 300
Nikel (Ni)	200	400	200	200	30	420	420
Kurşun (Pb)	800	1 600	900	900	100	300	840
Çinko (Zn)	3 000	6 000	2 000	2 500	300	2 800	7 500
Krom (Cr)	1 000	2 000	900	900	75	1 200	3 000
Civa (Hg)	10	20	8	8	0,75	17	57
Selenyum (Se)	100	200	-	-	-	36	100
Arsenik (As)	-	-	-	-	-	41	75
Molibden (Mo)	-	-	-	-	-	18	75

Çizelgeden de görüldüğü gibi araziye uygulanacak biyokatılarda izin verilen PTE değerleri ülkelere göre büyük değişiklikler göstermektedir. Özellikle Amerika' nın biyokatılar için belirlediği sınır değerler diğer ülke yönetmelikleri ile kıyaslandığında önemli düzeyde yüksektir. TKKY Avrupa Birliği' nin 1986 yılında çıkardığı yönetmelikte biyokatılar için belirlenen üst sınır değerleri benimsemiştir. Yönetmeliklerde yer alan sınır değerler, o ülkenin iklimi, toprak yapısı, sanayi faaliyetleri gibi faktörler temel alınarak ve bilimsel araştırmalara dayandırılarak belirlenmektedir. Avrupa Birliği ülkeleri ayrıca kendi toprak yapılarına uygun sınır değerler ortaya koymaktadır. Diğer yandan Çizelge 4.4' de görüldüğü gibi Avrupa Birliği tarafından orta ve uzun vadede biyokatıların izin verilen metal kapsamalarının önemli ölçüde azaltılması tasarlanmaktadır.

Ülkemizde işletmeye açılan atıksu arıtma tesislerinden ortaya çıkan biyokatıların PTE düzeyleri kuşkusuz kanalizasyon sistemine verilen endüstriyel atıksuların özelliklerine bağlı olarak değişecektir. Ancak endüstriyel atıksuların kentsel nitelikli atıksu haline getirilmeden kanalizasyon sistemine boşaltılması pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yasaktır. Ayrıca belediyeler konu ile ilgili kendi deşarj yönetmeliklerini hazırlamakta ve denetimlerini kendileri yapmaktadır. Ülkemizde ve Avrupa Birliği Yönetmeliklerinde biyokatı uygulamasından önce ve uygulama

boyunca alıcı ortam olan topraklarda PTE' lerin takibi ile ilgili temeller yer almaktadır. USEPA ise topraklarda PTE takibini zorunlu tutmamakta, toprak pH' ı ve kation değişim kapasitesi gibi toprak özelliklerini dikkate alarak önerilerin oluşturulmasını öngörmektedir. Biyokatı uygulanacak topraklarda izin verilen PTE toplam miktarının sınır değerleri Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Yönetmeliklerde PTE' ler için verilen sınır değerler toprak pH' ı temel alınarak düzenlenmektedir. Ülke topraklarımızın %93' ünde toprak pH' ının >6,5 olması PTE' lerin bitkiler tarafından alınımını azaltacak doğal bir avantajdır (11).

TKKY ve 86/278/EEC Yönetmeliklerinde; bakır, nikel ve çinko sınır değerlerinin pH' ı 7' yi aşan topraklar için %50' yi geçmemek üzere yetkili kuruluşların izniyle arttırılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca bu yönetmeliklerde topraklar için belirlenen PTE sınır değerlerinin, yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığına bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda arttırılabileceği hükmü yer almaktadır (28).

Çizelge 4.5. Yönetmeliklere göre biyokatı uygulanacak topraklarda izin verilen PTE sınır değerleri (ppm) (4, 28)

Element	TKKY		86/278/EEC		AB Taslak Yönetmelik (2000)		
	pH<6	pH>6	pH<6	pH>7	5≤pH<6	6≤pH<7	pH≥7
Kadmiyum (Cd)	1	3	1	3	0,5	1,0	1,5
Krom (Cr)	100	100	-	-	30	60	100
Bakır (Cu)	50	140	50	140	20	50	100
Civa (Hg)	1	1,5	1	1,5	0,1	0,5	1,0
Nikel (Ni)	30	75	30	75	15	50	70
Kurşun (pb)	50	300	50	300	70	70	100
Çinko (Zn)	150	300	150	300	60	150	200

AB Taslak Yönetmeliği' nde; hayvanlar ve bitkiler tarafından metal alınımı, yer altı suyu kirliliği ve toprak biyoçeşitliliğine etkilerinin değerlendirilmesinden sonra uzman otoritelerin, topraktaki PTE' lerin sınır değerlerini arttırabilecekleri belirtilmiştir. Ayrıca yönetmelikte, biyokatıların uygulanacağı topraklardaki PTE'

lerin sınır değerleri aradan geçen 15 yıldan sonra önemli lde düşürülmüştür. Ülkemiz topraklarının PTE içeriklerini ortaya koyan geniş kapsamlı araştırmalara dayalı yeterli bulgular mevcut olmadığından Türkiye toprakları için TKKY’ nde Avrupa Birliğinin 86/278/EEC Yönetmeliğinde izin verilen sınır değerler aynen kabul edilmiştir (4).

Biyokatıların araziye uygulanmasında bir yılda biyokatı ile toprağa verilecek metal yükleri yasal düzenlemelerle kontrol altında tutulmaktadır. Bir yılda toprağa eklenebilecek metal yüklerinin sınırlandırılması, topraklarda metal kirliliğinin kontrolü açısından çok önemlidir. Avrupa Birliği söz konusu yıllık metal yk sınır değerlerini 10 yıllık ortalamayı temel alarak belirlemiştir ve bu değerler izelge 4.6’ da verilmiştir (4).

TKKY lkemiz topraklarına bir yılda verilebilecek PTE yüklerini belirlemede Avrupa Birliğinin 86/278/EEC Yönetmeliğinde belirtilen değerlerin aynısı kabul etmiştir (28). Ancak Avrupa Birliği, Taslak Yönetmelikte de görüldüğü gibi, 2000 yılı ve daha sonraki dönemlerde toprağa verilebilecek yıllık PTE yüklerini önemli lde azaltmayı hedeflemektedir.

Çizelge 4.6. Yönetmeliklere göre 10 yıllık ortalamalar temel alınarak bir yılda toprağa verilebilecek PTE miktarları [gr (kuru madde)/da/yıl] (4, 28)

Elementler	TKKY	86/278/EEC	AB Taslak Yönetmelik		
			nerilen	Orta vade	Uzun vade
Kadmiyum (Cd)	15	15	3,0	1,5	0,6
Krom (Cr)	1500	-	300	240	180
Bakır (Cu)	1200	1200	300	240	180
Civa (Hg)	10	10	3	1,5	0,6
Nikel (Ni)	300	300	90	60	30
Kurşun (pb)	1500	1500	225	150	60
Çinko (Zn)	3000	3000	750	600	450

4.3. Biyokatıların Deterjan ve Toksik Organik Bileşik Kapsamları

Biyokatılar 500-4000 ppm (kuru ağırlık) deterjan bileşikleri içerebilmektedirler. Ancak yapılan araştırmalar deterjanların biyodegradasyon yolu ile bitki kök bölgesinden hızla uzaklaştığını ortaya koymuştur. Bu mekanizma biyokatıların bünyesinde bulunabilecek deterjan bileşiklerinin yer altı suları ve bitki gelişimi için önemli ölçüde risk oluşturmayacağını göstermektedir. Toksik organik kimyasal maddelerin üretimi ve kullanımı bütün ülkelerde yasal düzenlemelerle kontrol altında tutulmaktadır. Bu bileşiklerin biyokatılarda genellikle derişimlerinin düşük olması, toprakta biyodegradasyona uğramaları ve toprak tanecikleri tarafından adsorbe edilmeleri gibi nedenlerle insan sağlığı ve yer altı suları için bir risk oluşturmayacağı belirtilmektedir (4).

Biyokatıların toprağa uygulanmasında bünyelerinde bulunabilecek deterjan ve toksik organik bileşikler için ortaya koyulmuş sınır değerlere çok az ülke yönetmeliklerinde rastlanmıştır. Söz konusu limit değerlerin yer aldığı Avrupa Birliğinin 2000 yılına ait Taslak Yönetmeliği Çizelge 4.7' de verilmiştir (4).

Çizelge 4.7. Araziye uygulanacak biyokatılarda izin verilen deterjan ve toksik organik bileşik miktarları (ppm-kuru madde) (4)

Parametreler	Avrupa Birliği Taslak Yönetmelik (2000)
PCB (toplam poli klorlandırılmış bifeniller) (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	0,8
PAH (poliçiklik aromatik hidrokarbon bileşikler)	6
AOX (toplam halojenlendirilmiş organik bileşikler)	500
LAS (lineer alkil benzen sülfonat)	2600
DEHP (dietil phthalate)	100
NPE (nonylphenoller ve nonylphenoethoxylates)	50

5. ARITMA ÇAMURLARININ GİDERİMİNDE UYGULANAN YASAL MEVZUAT

Ülkemizde, arıtma çamurlarının işlenmesi ve giderimi konusunu kapsayan bir yönetmelik bulunmamaktadır. Yalnızca SKKY, KAKY, TAKY ve TKKY’ nde arıtma çamurlarının giderimine ilişkin bazı hükümler yer almaktadır. Ancak belirtilen yönetmeliklerde arıtma çamurlarının giderimi konusunda açık olmayan bazı konular ve eksiklikler bulunmaktadır (24).

5.1. Mevcut Yasal Mevzuat

5.1.1. SKKY

SKKY, 4.9.1988 tarihinde 19919 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik, 9.8.1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu ile mezkûr kanunda ek ve değişiklik yapan kanun hükümlerine uygun olarak hazırlanmış olup, amacı, ülkenin yer altı ve yer üstü su kaynakları potansiyelinin her türlü kullanım amacıyla korunmasını, en iyi biçimde kullanımının sağlanmasını ve su kirlenmesinin önlenmesini ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere, su kirliliğinin kontrolü temellerinin belirlenmesi için gerekli olan hukuki ve teknik temelleri ortaya koymaktadır (25).

Bu yönetmelikte arıtma çamurları için getirilen bazı kısıtlamalar ve uygulamalar yer almaktadır.

Madde 6’ da çamur, alıcı su ortamlarında evsel, endüstriyel, tarımsal, deniz trafiği ve benzeri kaynaklardan dolayı kirlenmeye neden olan başlıca etkenler ve sorunlar arasında yer almaktadır (25).

İçme ve kullanma suyu temin edilen kıta içi yüzeysel sularla ilgili kirletme yasaklarını içeren Madde 16’ da ise, “İçme ve kullanma suyu rezervuarları içinde ve

civarında suların kirlenmesine neden olacak faaliyetler yapılamaz” denilerek dolaylı olarak çamurların bu bölgeye dökülmesi yasaklanmıştır (25).

Yer altı suları ile ilgili kirletme yasaklarını ve düzenlemelerini içeren Madde 22’ de ise, “Sınıf YAS I ve YAS II grubu yer altı sularının alındığı kuyu, pınar ve infiltrasyon galerilerinin toplu içme suyu amacıyla kullanılanlarına, 50 metreden daha yakın mesafelerde hiçbir yapıya, katı ve sıvı atık boşaltımına ve geçişe izin verilmez” hükmü yer almaktadır. Aynı maddenin bir başka bendinde ise, “Yer altı sularının kirlenmemesi için tedbir almak amacıyla her türlü kimyasal madde, proses ve arıtma çamurları ve çöp çürütme tankları, özel atıklar ve benzeri maddelerin depolama tankları sızdırmaz olarak yapılır” hükmü yer almaktadır (25).

Madde 23’ ün (e) bendinde ise; diğer ilgili yasalarla verilmiş özel izinlerle öngörülen uygulamalar dışında hafriyat artıkları, moloz, deniz dibi tarama, arıtma ve süreç artığı çamurlar ve benzeri artıkların giderim amacıyla kıyı ve denize boşaltımı yasaklanmıştır (25).

5.1.2. KAKY

14.3.1991 tarihli ve 20814 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren KAKY’ nde arıtma çamurlarının giderimine ilişkin bazı hükümler bulunmaktadır. Bu yönetmeliğin amacı; her türlü atık ve artığın çevreye zarar verecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyecek olan tüketim maddelerinin idaresini belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta olumsuz etki gösteren kirleticilerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve geliştirilmesidir (26).

Bu yönetmeliğin 3. Maddesinde arıtma çamuru; evsel ve evsel nitelikteki endüstriyel atıksuların, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri sonucunda ortaya çıkan suyu alınmış, kurutulmuş çamur olarak tanımlanmaktadır (26).

Madde 2’ de evsel atıksu arıtma çamurlarının, zararlı atık sınıfına girmeyen sanayi arıtma tesisi çamurlarının giderilmesi ve zararsız hale getirilmesi ile ilgili işlemlerin KAKY’ nde verilen temellere uygun olması zorunluluğu getirmiştir (26).

Madde 22’ de akıcılığı kayboluncaya kadar suyu alınmamış arıtma çamurlarının evsel katı atık depolama alanına depolanması yasaklanmıştır (26).

Madde 28’ de arıtma çamurlarının depolanabilmesi için, içinde bulunan su oranı %65 olarak belirtilmiştir. Aynı maddede, “Depo yeri işletmecileri, çamurun su oranının fazla olması halinde , depo kararlılığını bozmayacağı, koku sorunu ortaya çıkarmayacağı kanaatine varırlarsa, su oranı %75’ e kadar olan çamurları kabul edebilirler” hükmü de yer almaktadır (26).

Madde 31’ de evsel ve evsel nitelikli katı atık ve arıtma çamurları depo tesisine ruhsat verebilecek kişi ve/veya kurumlar verilmektedir (26).

KAKY Bölüm 7’ de “Katı Atıkların Yakılması” başlığı altında Madde 38’ de sıvı atıklar ve arıtma çamurunun da yakılması halinde, bu maddelerin kapalı kaplar içinde depolanması, üstü açık olan boşaltma yerlerinde bir hava emme tertibatı veya vakum bulunması gerekliliği ortaya konmaktadır (26).

KAKY Bölüm 9’ da “Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması” başlığı altında Madde 44’ de; arıtma çamurlarının tarımda kullanılma şartları, Madde 45’de ise arıtma çamurlarının kullanma sınırlamaları ve yasakları verilmektedir (26).

Madde 44- Evsel ve evsel nitelikli endüstri sularının arıtılması sonucu elde edilen arıtma çamurunun tarımda kullanılabilmesi için (26);

1. (R.G. 3.4.1991/22099) Her altı ayda bir çamurdaki kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko gibi ağır metaller ile azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi elementlerin tayininin yapılması ve istenmesi halinde 31. Maddede belirtilen merciye verilmesi,
2. Arıtma çamuru kullanılmadan önce, kullanılmak istenen toprağın pH değeri, kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko içerikleri yönünden laboratuvar analizlerinin yaptırılması,
3. Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluşların, arıtma çamuru verdikleri toprağa ait ağır metal analizlerini en az altı ayda bir yaptırması, ağır metal birikimlerini takip etmesi, sonuçlardan 31. Maddede belirtilen ilgili mercileri haberdar etmesi ve topraktaki ağır metal içerikleri sınır değerlerine eriştiğinde, araziye yapılan bu uygulamaların durdurulması,
4. Arıtma tesisi işletmecisi tarafından 1. ve 2. bentlerde söz konusu edilen ölçüm sonuçlarının yetkili merciye ve tarla sahibine yazılı olarak bildirilmesi zorunludur.

Madde 45- Ham çamurun tarımda ve ormanda sebze ve meyve tarımında kullanılması yasaktır. Epidemik olarak kusursuz olmayan arıtma çamurunun mera ve otlaklarda, bitki yaşadığı sürece kullanılması yasaktır. İlgili belediye başkanlığı veya bölge müdürlüğünün görüşünü alarak belirtilen yasağı, çamurun kullanılması ve hasatın alınması arasında en az üç ay süre varsa, kaldırabilir. Topraktaki ağır metal içeriklerinin (EK-IV/A)' da verilen değerlere ulaşması halinde, bu toprakta arıtma çamuru kullanılması yasaktır (26).

(R.G. 3.4.1991/20384) Arıtma çamurunun tarımda kullanılabilmesi için çamur kuru maddesindeki ağır metal içeriklerinin (EK-IV/C)' de verilen değerleri geçmemesi gerekir. İlgili belediye başkanlığı veya mahallin en büyük mülki amiri, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı' nın ilgili il veya bölge müdürlüğünün de görüşünü alarak (EK-IV/C)' de verilen değerleri (kadmiyum ve civa hariç) %5' e kadar arttırabilir. Daha yüksek artışlar için Müsteşarlığın bağlı olduğu Devlet Bakanının onayı alınır. Yönetmelikte belirtilen EK IV Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3' de verilmektedir (26).

Çizelge 5.1. KAKY Ek IV-A: Toprakta izin verilen maksimum ağır metal içerikleri (kuru toprakta mg/kg olarak) (26)

Ağır metal	Topraktaki sınır değeri
Kurşun	100
Kadmiyum	3
Krom	100
Bakır	100
Nikel	50
Civa	2
Çinko	300

Çizelge 5.2. KAKY Ek IV-B: Bir yılda araziye verilmesine izin verilecek ağır metal yükü (Yılda hektar başına gram olarak) (26)

Ağır metal	Sınır yük değeri
Kurşun	2 000
Kadmiyum	33
Krom	2 000
Bakır	2 000
Nikel	330
Civa	42
Çinko	5 000

Çizelge 5.3. KAKY Ek IV-C: Tarımda kullanılacak arıtma çamurunda izin verilebilecek maksimum ağır metal içerikleri (mg/kg çamur kuru maddesi olarak) (26)

Ağır metal	Sınır değeri
Kurşun	1 200
Kadmiyum	20
Krom	1 200
Bakır	1 200
Nikel	1 200
Civa	25
Çinko	3 000

Bu yönetmeliğin “Geçici Hükümler” bölümünde yer alan Geçici Madde 3’ de arıtma çamurlarının analizi konusuna değinilmektedir. Bu geçici maddeye göre; arıtma çamurlarını tarımda kullanan gerçek özel ve tüzel kişi ve kuruluşlar, 44. Maddede verilen analizleri altı ay içinde yaptırmak zorundadırlar (26).

5.1.3. TAKY

Bu yönetmelik, 27.8.1995 tarih ve 22387 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelikte EK 7’ de, patlayıcı, parlayıcı, suyla etkileşim halinde parlayıcı gazlar bırakan maddeler veya atıklar, oksitleyici, organik peroksitler, zehirli (akut), enfeksiyonel maddeler, korozif maddeler, hava ve suyla etkileşim halinde toksik gaz bırakan maddeler, toksik (gecikmiş veya kronik), ekotoksik ve giderilmelerinden sonra herhangi bir yoldan, yukarıda sıralanan özelliklerden herhangi birine sahip bir diğer maddenin (örneğin özütlenme sıvısı) oluşumuna neden olan maddeler tehlikeli madde olarak tanımlanmaktadır. Bu yönetmelikte, EK 6’ da ulusal tehlikeli atık olarak sayılan maddelerin listesi yer almaktadır. EK 6’ da tehlikeli atık sınıfına alınan çamurlar aşağıda liste halinde verilmektedir (27):

1. Farmasotik ürünlerin üretiminden ve hazırlanmasından kaynaklanan atıklar Y2 listesinde;
 - T-Y0206 kod numaralı organo-arsenik bileşikler veya arsenikten, eczacılığa ait farmositiklerin üretimi esnasında oluşan atıksu arıtma çamurları
2. Ahşap koruyucu kimyasalların üretiminden, hazırlanmasından ve kullanılmasından kaynaklanan atıklar Y5 listesinde;
 - T-Y0502 kod numaralı pentaklorofenol ve organik ahşap koruyucu madde içeren çamurlar
 - T-Y0503 kod numaralı anorganik ahşap koruyucu madde içeren çamurlar
 - T-Y0506 kod numaralı pentaklorofenol ve/veya kreozot kullanılan ahşap koruyucu süreçlerden çıkan atıksu arıtımı dip sediment çamuru
3. Siyanür içeren ısıt işlemler ile sertleştirme işlemlerinden kaynaklanan atıklar Y7 listesinde;
 - T-Y0701 kod numaralı siyanür içeren atıksular, banyolar ve çamurlar
 - T-Y0702 kod numaralı siyanür içeren metal hidroksit ve çamurlar
 - T-Y0705 kod numaralı siyanür içeren sertleştirme çamurları
4. Hedeflenen kullanıma uygun olmayan atık mineral yağlar Y8 listesinde;

- T-Y0818 kod numaralı yağlı depolama tanklarının temizlenmesinden ve yıkanmasından çıkan yağlı su karışımları, çamurlar
5. Atık yağ, su hidrokarbon/su karışımları emülsiyonlar Y9 listesinde;
- T-Y0904 kod numaralı yağ ve petrol gazı ayırıcılarından çıkan artıklar, tank temizleme çamurları ve yağlı çamurlar
6. Poliklorlubifeniller (PCB) ve/veya poliklorluterfeniller (PCT) ve/veya polibromlubifeniller (PBB) içeren veya bu maddelerle kirlenmiş atık maddeler ve malzemeler Y10 listesinde;
- T-Y1006 kod numaralı PCB içeren çamurlar
7. Lateks, reçine, plastize edici maddeler ile yapışkanların üretiminden, hazırlanmasından ve kullanılmasından kaynaklanan atıklar Y13 listesinde;
- T-Y1307 kod numaralı iyon değiştirme reçinelerinden çıkan yeniden üretim çamurları ve özütleme suyu
 - T-Y1307 kod numaralı lateks çamurları emülsiyonları
8. Metal ve plastiklere yüzey işlemleri uygulanmasından kaynaklanan atıklar Y17 listesinde;
- T-Y1702 kod numaralı hidrokarbon içeren metal işleme çamurları
 - T-Y1703 kod numaralı krom, kobalt, bakır, molibden, nikel ve diğer ağır metalleri veya berilyum içeren çamurlar
 - T-Y1704 kod numaralı hidrokarbon içermeyen metal işleme çamurları
 - T-Y1705 kod numaralı siyanür içermeyen nitratlı sertleştirme çamurları
9. Sınai atıkları giderimi işlemlerinden kaynaklanan atıklar Y18 listesinde;
- T-Y1801 kod numaralı suyu giderilmiş metal hidroksit çamurları
 - T-Y1802 kod numaralı siyanür veya krom-VI içermeyen katı metal hidroksit çamurları
 - T-Y1803 kod numaralı suyu giderilmemiş metal hidroksit çamurları
 - T-Y1804 kod numaralı siyanür veya krom-VI içermeyen katı olmayan metal hidroksit çamurları
 - T-Y1805 kod numaralı “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” nde belirtilen kanalizasyon arıtım çamurlarındaki ağır metal limitini aşan atıklar

- T-Y1806 kod numaralı iyon değiştirme reçinelerinden çıkan, üretiminde yeniden kullanılan çamurlar ve özütleme suyu
 - T-Y1810 kod numaralı gaz yıkama kulesi amurları
 - T-Y1811 kod numaralı karbonu alınmış amurlar
 - T-Y1814 kod numaralı atık gaz yıkamasından oluşan demir dışı metalleri içeren amur
 - T-Y1816 kod numaralı yakma fırını, duman yıkayıcılarından çıkan amurlar
10. Berilyum ve berilyum bileşikleri içeren atıklar Y20 listesinde
- T-Y2001 kod numaralı solüsyonunda berilyum H6.1 zehirli (akut) metalleri içeren çamurlar, atıksular ve banyolar;
11. Krom VI (Cr-VI) bileşikleri içeren atıklar Y21 listesinde;
- T-Y2101 kod numaralı krom içeren asitli atıksular, banyolar ve amurlar
 - T-Y2103 kod numaralı krom içeren asidik olmayan atıksular, banyolar ve amurlar
 - T-Y2104 kod numaralı krom VI içeren metal hidroksit amurları
 - T-Y2105 kod numaralı krom içeren tabaklama çamurları ve diğer ağır metalleri veya berilyum içeren amurlar
12. Selenyum ve selenyum bileşikleri içeren atıklar Y25 listesinde;
- T-Y2504 kod numaralı selenyum içeren atıksular, banyolar ve amurlar
13. Kadmiyum ve kadmiyum bileşikleri içeren atıklar Y26 listesinde;
- T-Y2601 kod numaralı kadmiyum içeren siyanürlü atıksular, banyolar ve amurlar
 - T-Y2602 kod numaralı kadmiyum içeren siyanrsz atıksular, banyolar ve amurlar
14. Civa ve civa bileşikleri içeren atıklar Y29 listesinde;
- T-Y2904 kod numaralı civa içeren atıksular, banyolar ve amurlar
15. Anorganik flor bileşikleri içeren atıklar (kalsiyum florür hariç) Y32 listesinde;
- T-Y3205 kod numaralı kalsiyum florid amuru
16. Anorganik siyanür içeren atıklar Y33 listesinde;
- T-Y3307 kod numaralı siyanürlü amur
 - T-Y3308 kod numaralı siyanür içeren galvanik amur

17. Asitli çözeltiler veya katı haldeki asitleri içeren atıklar Y34 listesinde;

- T-Y3401 kod numaralı krom içermeyen asitli atıksular, banyolar ve çamurlar

18. Bazik çözeltiler veya katı haldeki bazları içeren atıklar Y35 listesinde;

- T-Y3501 kod numaralı krom VI ve siyanürsüz atıksular, banyolar ve çamurlar
- T-Y3506 kod numaralı kirlenmiş kireç çamurları

19. Fenoller, klorofenoller dahil fenol bileşikleri içeren atıklar Y39 listesinde;

- T-Y3904 kod numaralı fenollü çamurlar

20. Özel işleme tabi atıklar listesinde;

- Tarama çamurları

5.1.4. TKKY

TKKY 10.12.2001 tarih ve 24609 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu Yönetmeliğin amacı; alıcı ortam olarak toprak kirlenmesinin önlenmesi, kirliliğin giderilmesi, arıtma çamurlarının ve kompostun toprakta kullanımında gerekli tedbirlerin alınması temellerini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde ortaya koymaktır (28).

Yönetmelikte Madde 2’ de, “Toprak kirliliğine neden olan faaliyetler ile tehlikeli maddeler ve atıkların toprağa boşaltımına, atılmasına, sızmasına ve evsel ve kentsel atıksuların arıtılması sonucu ortaya çıkan arıtma çamurlarının ve kompostun; toprağa, bitkiye, hayvana ve insana zarar vermeyecek şekilde, toprakta kontrollü kullanımına ilişkin teknik, idari temelleri ve cezai yaptırımları kapsar” hükmü yer almaktadır (28).

Madde 4’ de arıtma çamuru, 2872 sayılı Çevre Kanununa dayanılarak hazırlanan 14.03.1991 tarihli ve 20814 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ nin 3. Maddesinde yer alan arıtma çamuru tanımına giren tüm maddeleri; işlenmiş arıtma çamuru, çevre ve insan sağlığına olabilecek etkileri azaltmak amacıyla, biyolojik, kimyasal, ısıtma, kurutma, kompostlama veya

uzun süreli depolama gibi yöntemlerle kararlılaştırılan ve dezenfekte edilen arıtma çamurunu; ham çamur ise, evsel veya kentsel atıksu arıtma tesislerinden ve evsel veya evsel atıksu özelliğine sahip endüstriyel atıksuları arıtan arıtma tesislerinden arta kalan çamurlar ile fosseptik ve buna benzer diğer tesislerden kaynaklanan çamuru ifade etmektedir (28).

Madde 7’ de “Her türlü atık ve tehlikeli maddenin EK 1-A ve EK 1-B’ de verilen sınır değerlere aykırı olarak toprağa boşaltımı, depolanması yasaktır” denilmektedir. Aynı maddenin başka bir bendinde “Bu yönetmelikte geçen işlenmiş arıtma çamuru, kompost ve toprağın örnekleme yöntemleri ile parametrelerin analizleri Türk Standartları Enstitüsü Örnekleme ve Analiz Yöntemleri ya da uluslar arası kabul görmüş standart örnekleme ve analiz yöntemlerine göre yapılması zorunludur” hükmü yer almaktadır (28).

Ham Çamur, İşlenmiş Arıtma Çamuru ve Kompostun Toprakta Kullanılması ile ilgili maddeler yönetmeliğin üçüncü bölümünde yer almaktadır. Madde 8’ de işlenmiş arıtma çamurunun toprakta kullanılması, Madde 9’ da ise ham çamur ve işlenmiş arıtma çamurunun kullanma sınırlamaları ve yasakları verilmektedir (28).

Madde 8- Evsel ve evsel nitelikli endüstri sularının arıtılması sonucu elde edilen ve EK II’ de verilen sınır değerleri aşmayan işlenmiş arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için (28);

1. Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluşların, toprakta kullanılacak kararlılaştırılmış arıtma çamurunun EK V’ de yer alan Kararlılaştırılmış Arıtma Çamuru Analiz Belgesi formunda verilen parametrelerin analizlerini günlük kuru çamur miktarı elli (50) tona kadar olanlar altı ayda bir, elli (50) tonun üzerinde olanlar üç ayda bir analiz sonuçlarını belgelendirmesi zorunludur. Ancak, arıtma kapasitesi günlük beş bin (5000) kişi ya da üç yüz (300) kg biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ5) altında olan ve temelde evsel atık suların arıtıldığı arıtma tesisi işletmecileri, EK V’ de yer alan Kararlılaştırılmış Arıtma Çamuru Analiz Belgesi formunda verilen parametrelerin analizlerini 12 ayda bir yaptırmakla yükümlüdür.

2. İşlenmiş arıtma çamurlarının toprakta kullanılması Bakanlığın iznine tabidir. İşlenmiş arıtma çamuru üreticileri söz konusu arıtma çamurunun analizini EK V, uygulanacak toprağın analizlerini EK IV' deki analiz raporları ile belgeleyerek Bakanlıktan kullanıma sunacağı arıtma çamuru için Arıtma Çamuru Kullanımı İzin Belgesi talebinde bulunur. Başvuru Bakanlıkça değerlendirilir ve İzin Belgesi bir yıllığına verilir. İşlenmiş arıtma çamurlarının tarım ve orman alanlarında kullanımına yönelik yapılan başvurularda ilgili kurum ve kuruluşların uygun görüşü alınır.
3. Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluşların, işlenmiş arıtma çamuru kullanılan toprağın EK IV' deki Toprak Analiz Belgesinde yer alan parametrelerin analizlerini altı ayda bir belgelendirmesi zorunludur.
4. Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluşlar işlenmiş arıtma çamurunun toprakta kullanılmasına ilişkin kullanım talimatı hazırlayarak kullanıcıya vermekle yükümlüdür.

Madde 9- Ham çamur ve işlenmiş arıtma çamurunun kullanılmasında aşağıda belirtilen sınırlama ve yasaklara uyulması zorunludur (28).

1. Ham çamurun toprakta kullanılması yasaktır. Ham çamurun sebze ve meyve tarımında, tarla, orman, mera ve otlak alanlarında kullanılması yasaktır.
2. İşlenmiş arıtma çamurunun toprakla etkileşim halinde bulunan ve çiğ olarak yenen sebze ve meyvelerin yetiştirilmesinde kullanılması yasaktır.
3. İşlenmiş arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için EK II' de verilen değerleri aşmaması zorunludur.
4. Kararlılaştırılmış arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta ağır metal içeriğinin EK I-A' da verilen değerleri aşmaması zorunludur. Topraktaki ağır metal derişimlerinden birinin dahi EK I-A' da verilen sınır değerleri aşması durumunda, kararlılaştırılmış arıtma çamurunun toprakta kullanılması yasaktır. Atıksu arıtma tesislerinden çıkan evsel ve kentsel arıtma çamurları toprakta kullanılmayacaksa, 14.3.1991 tarihli ve 20814 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda katı atık depolama sahalarında giderilmesi gerekmektedir. Tehlikeli atık sınıfına giren

arıtma çamurları ise 27.8.1995 tarihli ve 22387 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri kapsamında giderilmesi gerekmektedir.

5. İşlenmiş arıtma çamuru, bitkilerin besin gereksinimleri ve yer üstü, yer altı sularının kalitesinin bozulmaması dikkate alınacak şekilde, su kaynaklarının korunmasıyla ilgili yasalarla düzenlenmiş hükümlere uygun kullanılmalıdır.
6. Toprağın pH değeri 5 ten küçükse işlenmiş arıtma çamuru toprağa uygulanamaz. pH değeri 5-6 arasında olan topraklarda işlenmiş arıtma çamurunun kullanılması halinde, artan taşınabilirlik dikkate alınarak gerekli görülürse EK I-A' ya göre belirlenmiş sınır değerler Bakanlık tarafından düşürülebilir.
7. İşlenmiş arıtma çamurunun uygulanmasından belli bir süre geçmeden otlatma yapılması yada hayvan yemlerinin hasadının yapılması söz konusu ise otlak yada hayvan yemi ürünlerinde özellikle coğrafi ve iklim durumları dikkate alınarak belirlenecek olan süre, hiçbir durumda üç haftadan az olmayacaktır.
8. İşlenmiş arıtma çamurlarının, içme suyu havzalarının mutlak koruma alanlarında ve diğer yüzey sularına 50 metreden yakın olan alanlara uygulanması yasaktır.
9. İşlenmiş arıtma çamurlarının, taşkın alanlarında ve taşkın tehlikesi olan alanlarda, don ve karla kaplı alanlarda toprağa uygulanması yasaktır.
10. Yüzey akış tehlikesi olan alanlarda toprak muhafaza tedbirleri alınmadan işlenmiş arıtma çamurunun uygulanması yasaktır.
11. İşlenmiş arıtma çamurunun toprakta on yıllık ortalama temel alınarak her yıl uygulanması halinde toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarları EK III' de verilen değerleri aşmaması zorunludur.
12. Eşdeğer nüfus kapasitesi bir milyon kişinin üzerinde olan tesislerde oluşan arıtma çamurlarının en az % 90 kuru madde değerine kadar kurutulması zorunludur.

Yönetmelikte belirtilen EK I-A Çizelge 5.4' de, EK II Çizelge 5.5' de ve EK III Çizelge 5.6' de verilmektedir (28).

Çizelge 5.4. TKKY Ek I-A: Topraktaki ağır metal sınır değerleri (28)

Ağır metal	pH≤6 mg/kg fırın kuru toprak	pH>6 mg/kg fırın kuru toprak
Kurşun	50 ^{**}	300 ^{**}
Kadmiyum	1 ^{**}	3 ^{**}
Krom	100 ^{**}	100 ^{**}
Bakır [*]	50 ^{**}	140 ^{**}
Nikel [*]	30 ^{**}	75 ^{**}
Çinko [*]	150 ^{**}	300 ^{**}
Civa	1 ^{**}	1,5 ^{**}

* ph değeri 7' den büyük ise Bakanlık sınır değeri %50 kadar arttırabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Çizelge 5.5. TKKY Ek II- Toprakta kullanılabilecek arıtma çamurunda izin verilecek maksimum ağır metal içerikleri (28)

Ağır metal	Sınır değeri(mg/kg fırın kuru toprak)
Kurşun	1200
Kadmiyum	40
Krom	1200
Bakır	1750
Nikel	400
Çinko	4000
Civa	25

Çizelge 5.6. TKKY Ek III- Toprakta on yıllık dönem temel alınarak bir yılda toprağa verilmesine izin verilecek ağır metal yükü (28)

Ağır metal	Sınır değeri(gr/da/yıl) ^{**}
Kurşun [*]	1500
Kadmiyum [*]	15
Krom [*]	1500
Bakır [*]	1200
Nikel [*]	300
Çinko [*]	3000
Civa	10

* İşlenmiş arıtma çamurunun topraklarda kullanılması ile hasatın alınması arasında en az üç ay süre varsa ilgili kuruluşların görüşü alınarak Bakanlıkça civa ve kadmiyum olmak üzere bu değerler %5' e kadar arttırılabilir.

**Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

5.2. Mevcut Yönetmeliklerdeki Eksiklikler

Yönetmeliklerimizden SKKY, KAKY, TAKY ve TKKY nde arıtma çamurlarının tanımı ve giderimine ilişkin hükümler yer almaktadır. Genel olarak yönetmeliklerimizde arıtma çamurlarının giderimi ile ilgili bilgiler açık olarak verilmektedir. Ancak uygulamalarda bazı eksiklikler oluşmaktadır.

KAKY' ne eklenecek olan bir yönerge kapsamında, evsel ve endüstriyel nitelikli atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar ile tehlikeli ve zararlı atık sınıfında değerlendirilen çamurların giderimi için gerekli teknik temellerin verilmesi uygulamalarda yarar sağlayacaktır.

Arıtma çamurlarının giderimine ilişkin teknik temellerin yer alacağı bu tebliğ kapsamında aşağıdaki detaylara yer verilebilir (24).

- Arıtma çamurlarının gideriminde mono deponilerin kullanılması halinde mono deponilerin sağlaması gereken koşullar belirtilmelidir. Bu koşullar, zemin sızdırmazlık önlemleri, depolama tekniği, gaz çıkışının kontrol altına alınması için gerekli düzenlemeler, sızıntı sularının toplanması ve giderimi için uygulanması gereken işlemler, periyodik olarak yapılması gerekli analizler, mono deponinin uzun depolama periyodunda izlenmesi ve denetimi, deponi kararlılığının izlenmesi, deponinin örtülmesi ve rekreasyonu gibi koşullardır.
- Arıtma çamurlarının giderimi için kentsel katı atıkların depolandığı deponilerin kullanılması durumunda uygulanacak kurallar belirtilmelidir. Bunlar, uygulanacak kentsel katı atık/arıtma çamuru oranı, kentsel atıklarla beraber depolanabilecek arıtma çamurlarının sağlaması gereken fiziksel ve kimyasal özellikler, zemin sızdırmazlık önlemleri, depolama tekniği, gaz çıkışının kontrol altına alınması için gerekli düzenlemeler, sızıntı sularının toplanması ve giderimi için uygulanması gereken işlemler, periyodik olarak yapılması gerekli analizler, uzun depolama periyodunda deponinin izlenmesi ve denetimi, deponi kararlılığının izlenmesi, deponinin örtülmesi ve rekreasyonu gibi koşullardır.

- Arıtma çamurlarının yakılarak giderimi seçeneğinde kullanılacak yakma ünitesinin özellikleri, gaz emisyonlarının özellikleri ve hava kirliliğinin önüne geçmek için emisyon kontrolünde alınacak tedbirler, çıkacak külün özellikleri ve giderim işlemleri gibi hususlar belirtilmelidir.
- Arıtma çamurlarının gideriminde kompostlaştırma işleminin uygulanması durumunda, kentsel katı atıkların kompostlaştırıldığı üniteye arıtma çamurlarının alınması için çamurun sağlaması gerekli koşullar (su oranı, organik madde içeriği, kimyasal madde içeriği vb.), kentsel katı atık / arıtma çamuru oranı, kompostlama tekniğinin tanımlanması, kompost ünitesinin tasarımına ait teknik detaylar verilmelidir.
- Yönetmeliklerimizde endüstri bazında oluşacak çamurların giderimine ilişkin herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Ana başlıklar altında her bir endüstriden çıkabilecek çamurun giderimi için dikkat edilecek parametreler çıkarılarak, giderimine yönelik işlemler belirtilmelidir. Örneğin, deri fabrikası arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları krom içermektedir ve bu çamurlar kesinlikle evsel nitelikli atıksu arıtımından gelen çamurlarla karıştırılmamalı ve suyu alındıktan sonra düzenli depolama tekniklerine uygun olarak mono deponilerde ayrı depolanmalıdır. TAKY' nde EK VI' da ulusal tehlikeli atık olarak sayılan maddelerin listesinde kromlu çamurlar yer almaktadır. Ancak, deri işleme tesislerinden gelen çamurların krom içerdiği, özel atık olarak işlem görmesi gerektiği konusu yönetmeliklerimizde açık değildir. Arıtma çamurlarının gideriminde teknik temellerin verildiği bir bildiri kapsamında, endüstriler için sektör bazında oluşacak arıtma çamurlarında izlenmesi gereken kirlilik parametrelerine göre bir sınıflandırma olması halinde, her endüstriyel sektörden kaynaklanabilecek arıtma çamurlarının özel atık olarak mı yoksa evsel nitelikli arıtma çamuru olarak mı uzaklaştırılması gerektiği temele bağlanmış olacaktır. Bu durum hem endüstriler hem de denetleyici kurum ve kuruluşlar açısından uygulamada kolaylık getirecektir. Bu sınıflandırma dahilinde izlenmesi gerekli parametrelerin yanı sıra, izleme ve denetim sıklığı ile giderim için uygulanması gerekli işlemler de belirtilmelidir.

- Arıtma çamurlarında yapılması gerekli analizler için uygulanacak standart analiz yöntemleri ayrıca verilmelidir. Bu tür temeller SKKY’ ne bağlı olarak çıkarılan “Örnek Alma ve Analiz Yöntemleri Tebliği” ne benzer bir tebliğ kapsamında yer alabilir.
- Yönetmeliklerimizde arıtma çamurlarının yakılması ile ilgili olarak yalnızca KAKY Bölüm 7’ de “Katı Atıkların Yakılması” başlığı altında Madde 38’ de sıvı atıklar ve arıtma çamurunun da yakılması halinde, bu maddelerin kapalı kaplar içinde depolanması, üstü açık olan boşaltma yerlerinde bir hava emme tertibatı veya vakum bulunması gerekliliği ortaya konmaktadır. Yönetmeliklerimizde hangi çeşit arıtma çamurunun kentsel katı atık yakma tesislerinde yakılabileceği; hangilerinin özel atık yakma tesislerinde özel teknik önlemler ile yakılması gerektiği hususu açık değildir. Yakma işlemi neticesinde oluşacak gaz emisyonlarının niteliği belirtilmeli ve gaz emisyonlarının arıtılması için gerekli arıtma teknolojileri ve hangi sınır emisyon değerlerine uyulması gerektiği verilmelidir. Bugün Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanmakta olan sınır emisyon değerleri baz olarak alınmalı; benzer sınır değerler getirilmeli, ölçüm ve kontrol parametreleri tanımlanmalıdır.
- KAKY Bölüm 9’ da “Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılması” başlığı altında Madde 44’ de arıtma çamurlarının tarımda kullanılma şartları, Madde 45’ de ise arıtma çamurlarının kullanma sınırlamaları ve yasakları verilmektedir. Ayrıca TKKY Madde 8’ de işlenmiş arıtma çamurunun toprakta kullanılabilme şartları ve Madde 9’ da ise ham çamur ve işlenmiş arıtma çamurunun toprakta kullanılması ile ilgili sınırlama ve yasaklar verilmektedir. Her iki yönetmelikte de uygulanacak çamurda ve toprakta sürekli izlenmesi gereken parametreler ve izin verilebilir sınır değerler yer almaktadır. Ancak, gerekli analizlerin hangi standart yönteme göre yapılması gerektiği hususunda bir açıklama yer almamaktadır.
- TKKY’ de; evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atıksuların arıtılması sonucu ortaya çıkan biyokatıların toprakta kullanımı ile ilgili bazı temeller belirlenmiştir. Söz konusu yönetmelikte, halk sağlığının korunması açısından yalnızca ham çamurların (kararlılaştırılmamış) sebze ve meyve tarımında, tarla, orman, mera ve otlak alanlarda kullanılmasının ve işlenmiş arıtma çamurlarının (biyokatı)

toprakla etkileşim halinde bulunan ve çiğ olarak yenen sebze ve meyvelerin yetiştirilmesinde kullanımının yasak olduğu belirtilmiştir. Diğer arazi kullanım izinlerinin ve kısıtlamalarının neler olduğu, biyokatılarda uygulanan kararlılaştırma yöntemlerinin hangi bakteriyel ve paraziter standartları sağlaması gerektiği gibi konular yer almamıştır. Ülkemiz koşullarında ortaya çıkan biyokatıların araziye uygulanmasının halk sağlığına olabilecek etkilerinin denetim altında tutulabilmesi için gerekli standartların ve amenajman uygulamalarının oluşturularak yönetmelik kapsamında yer alması sağlanmalıdır (4).

5.3. Avrupa Birliği Toprak Koruma Politikası

2001 yılı başlarında Avrupa Birliği, yeni çevre politikalarını Altıncı Çevresel Eylem Planı kapsamında ortaya koymuştur. Bu eylem planında, şu ana kadar kapsamlı bir eylem planının konusu olamayan “toprak koruma” yedi strateji konusundan biri olmuştur. Avrupa komisyonu oluşturulmaya çalışılan toprak koruma politikasının ilk adımı olarak toprak koruma stratejisinin geliştirilebilmesi için 2002’ de “Towards a Thematic Strategy for Soil Protection” başlıklı bir tebliği yayınlamıştır. Toprağın korunmasına yönelik olan bu tebliğde dikkatler erozyonun, bozulmanın, kirliliğin ve çölleşmenin engellenmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Tebliğin amacı ise gelecek yıllarda toprak korumanın tam ve sistematik olarak gerçekleştirilebilmesi için politik bir taahhütü oluşturmaktır (29).

Tebliğe göre halihazırda su ile ilgili olarak uygulanmakta olan Nitratlar ve Su Yapıları Direktifleri, hava kalitesi ve ulusal emisyonlar ile ilgili direktifler, atık yönetimi ile ilgili Arıtma çamurları, Çöplük alanları ve Yakma direktifleri, çevre yönetimi ile ilgili Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü, Stratejik Çevresel Değerlendirme, Çevresel Etki Değerlendirme, Habitat Direktifleri ve birçok direktifin toprak koruma üzerine katkıları bulunmaktadır (29). Ancak bunların toprak korumaya yönelik geliştirilmesi ve özellikle Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü ve Stratejik Çevresel Değerlendirme Direktiflerinde toprak koruma kapsamında etkinleştirilmesi, kompost, madencilik kaynaklı atıklar ile ilgili bir direktifin

oluşturulması gerekmektedir (30). Komisyonun diğer bir önemli hedefi ise üye devletler ve bölge otoriteleri ile 2007 yılına kadar bilimsel toprak kataloğunu oluşturmaktır. Bu kataloğun, toprağın doğası (özellikleri), erozyon durumu, kirlenmiş alanları hakkında bilgi içermesi amaçlanmıştır. Bununla beraber toprağın korunmasına, sürdürülebilir kullanımına, kıyaslanabilir toprak verilerinin sağlanabilmesi için analitik yöntemlerin harmonizasyonuna yönelik önerilerin belirlenmesi istenmektedir. Bilimsel toprak kataloğunun oluşturulması ile birlikte ileride toprak kullanımı için sabit gözetim mekanizmalarının meydana getirilmesi için toprak koruma ve toprak kullanımı arasında bir ilişkinin geliştirilmesi ve toprakların coğrafya, iklim, kullanım, barındırdığı risk vb. özelliklerine göre sahalara ayrılması söz konusudur.

Avrupa Çevre Ajansına ve Avrupa Bilgi ve Gözlem Ağına Türkiye Cumhuriyetinin katılımı ile ilgili olarak Avrupa Topluluğu ve Türkiye Cumhuriyeti arasında yapılan anlaşma sonucunda Avrupa Birliği mevzuatının üstlenilmesi için bir uyum programı benimsenmiştir. Bu kapsamda, Türk Çevre Mevzuatının İncelenmesi Projesinin 2002 yılında tamamlanması ile birlikte mevcut çevre mevzuatları karşılaştırılmış ve eksiklikler saptanmıştır (32). 24 Temmuz 2003’ de resmi gazetede yayınlanan “Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine ilişkin Türkiye Ulusal Programı”nın çevre ile ilgili 22. Bölümde belirtilen “Öncelik Listesi”nde her ne kadar toprak kirliliğinin önlenmesine yönelik bir madde bulunmasa da uyum sürecinde toprak kirliliği ve toprak koruma alanlarında çalışmaların devam ettiği anlaşılmaktadır (31).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde işletmeye açılan atıksu arıtma tesislerinin sayısı arttıkça ortaya çıkacak biyokatı miktarı da artacaktır. Biyokatıların alıcı ortamlara zarar vermeden yararlı kullanımını sağlanabilmesi için; üretim, depolama ve kullanım temellerine ilişkin yasal çerçeve Çevre ve Orman Bakanlığı' nın hazırladığı KAKY ve TKKY ile düzenlenmiştir. Bu yönetmeliklerde biyokatıların üretimi ve kullanımı ile ilgili yürütücü ve denetleyici kuruluş Çevre ve Orman Bakanlığı olarak belirlenmiştir. Biyokatıların özelliklerinin belirlenmesinden, uygulandığı alanlardaki etkilerinin izlenmesine kadar bir dizi görev de tesis işletmecilerinin sorumluluğundadır. Ancak, biyokatıların araziye uygulanması söz konusu olduğunda ele alınması gerekli konular halk sağlığından, toprak kirliliğine, bitki yetiştirilmeden, toplum ve birey psikolojisine kadar birbirinden çok farklı bilim dalı ve disiplinleri ilgilendirmektedir. Çevre ve Orman Bakanlığı başta olmak üzere, diğer ilgili kurum ve kuruluşların sürekli işbirliğinin sağlanması için, özellikle büyük kapasiteli atıksu arıtma tesislerinin bulunduğu alanlarda, kurum temsilcilerinden oluşan daimi komisyonların kurulmasında yarar görülmektedir.

Ankara Atıksu Arıtma Tesisinde olduğu gibi ülkemizde daha bir çok tesiste ileri çevre teknolojileri kullanılmakta ve ortaya çıkan arıtma çamurlarına hastalık yapıcı organizmaları önemli ölçüde azaltan kararlılaştırma yöntemleri uygulanmaktadır. Ancak bu tesislerin hemen hemen hiçbirinde hastalık yapıcı organizmaları gideren yani dezenfeksiyonu da sağlayan kararlılaştırma yöntemleri kullanılmamaktadır. Bu durumda diğer ülkelerde olduğu gibi, kullanılacak biyokatıya halk sağlığının korunmasına yönelik arazi kullanım sınırlamaları getirildikten sonra, hastalık yapıcı organizmaları azaltılmış biyokatılar ülkemizde güvenle kullanılabilir.

TKKY' nde, tesis işletmecilerinin her bir kullanıcı için toprak analiz belgesi ve kullanılan alana ait bilgilerle Çevre ve Orman Bakanlığı' na başvurusu öngörülmekte ve kullanıcılara biyokatıyı ne kadar, nerede ve nasıl kullanacağına dair bilginin Çevre Bakanlığı' nca verileceği bildirilmektedir. Ayrıca tesis işletmecilerinin, biyokatı kullanım talimatı hazırlaması öngörülmektedir. Ülkemizde

henüz uygulamaya temel olacak önerilerin yeterli düzeyde geliştirilememiş olması hem Çevre ve Orman Bakanlığı' nın, hem de tesis işletmecilerinin bir çok güçlüklerle karşılaşmasının kaçınılmaz olduğunu ortaya koymaktadır.

Biyokatıda ve topraklarda TKKY' nde öngörülen analizlerin (özellikle PTE analizleri) yapılacağı uluslar arası düzeyde bir laboratuvar bulunmamaktadır. Tesis işletmecilerinin bu analizleri sağlıklı olarak yaptırabilmelerinin sağlanması için, analiz yapabilecek kuruluşların yöntem ve değerlendirmede ortak hareket etmesi gerekmektedir.

Biyokatıların yararlı kullanımının sağlanması, ancak araştırma bulgularına dayalı öneriler doğrultusunda kontrollü ve bilinçli kullanımla mümkündür. Kontrollü ve bilinçli kullanımın sağlanamaması durumunda, olası riskler çevresel olumsuz etkiler haline dönüşebilir ve çözümü güç büyük sorunlar olarak karşımıza çıkabilir. Bu durumun önüne geçebilmek için, başta topraklarımızın PTE içeriklerini ortaya koyan araştırma çalışmaları olmak üzere, biyokatı kullanımına temel olacak diğer araştırmaların bir an önce başlatılması gerekmektedir.

Biyokatıların bilinçsiz kullanımları sonucu en büyük zarar tarım alanlarında oluşabilmektedir. Biyokatıların gübre özellikleri söz konusu olduğunda toprağa uygulanacak miktarın belirlenmesinde başta azot ve fosfor olmak üzere bir çok besinin değişik bitkiler tarafından, değişik bölgelerde tüketilmesi gündeme gelmektedir. Ayrıca biyokatıların gübre etkileri hem bir çok elementi, toksik olabilecekler dahil, bir arada bulundurmaları hem de organik yapıları nedeniyle çok daha karmaşıktır. Yeterli sayıda ve uzun yıllık etkileri belirleyen araştırma çalışmalarının sonuçları elde edilene kadar, bu malzemenin öncelikle yeşil alanlar, iyileştirme alanları ve ağaçlandırma alanlarına yönlendirilmelidir.

Atıksu arıtma tesislerinden biyokatı çoğunlukla susuzlaştırılmış olarak çıkmakta, bu şeklin araziye taşınmasında, dağıtımında ve uygulama miktarının ayarlanmasında büyük güçlüklerle karşılaşmaktadır. Biyokatıların tesislerde daha kolay taşınabilir ve kullanılabilir şekillerde üretilmesi veya bir çok ülkede yaygın olarak kullanılan

taşıma ve dağıtım ekipmanlarının temin edilmesiyle bu malzemenin pratik kullanımı sağlanacaktır.

Biyokatıların bilinçli kullanımı için değişik ilgi gruplarının bilgilendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Çiftçilerin ve diğer kullanıcıların eğitimine önem verilmeli, biyokatı kullanılarak yetiştirilen ürünleri işleyen gıda üreticileri ve tüketiciler görsel ve yazılı basın aracılığıyla düzenlenecek olan kampanyalar ile bilgilendirilmelidir.

Çevre kirliliğinin önüne geçmek için, arıtma çamurlarının giderimi konusuna atıksu arıtma konusu kadar önem verilmelidir. Arıtma işi ile uğraşan kişiler genellikle oluşan atıksuyu arıtıp boşaltma uygun hale getirdikten sonra görevlerinin bittiğini düşünmektedir. Ancak arıtma çamurlarının giderimi de ayrı bir uzmanlık gerektirmektedir. Arıtma çamurlarının işlenmesi ve giderimi konusunda başvurulacak bir yasal mevzuata gereksinim vardır. Mevcut yönetmeliklerimizde bu konuya yer verilmeye çalışılmıştır; ancak mevcut hükümler uygulamada yeterli olmamaktadır. Arıtma çamurlarının sınıflandırılması, analizlenmesi, arıtılması ve giderimi konularında eksikliklerin giderilmesine yönelik olarak çalışmalar başlatılmalı; arıtma çamurlarının işlenmesi ve giderimine ilişkin teknik temellerin yer aldığı, arıtma çamuru analizleri için örnek alma ve analiz yöntemlerine yer verildiği “Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Giderimine İlişkin Teknik Usuller Tebliği” çıkartılmalıdır. Bu tebliğ kapsamında yer alacak hususlar belirlenirken, dünyada ve özellikle Avrupa Birliğine üye ülkelerde uygulanan teknik temeller ve yasal mevzuat detaylı olarak incelenmeli, bu konunun uzmanı olan kişilerin denetim ve izleme ile sorumlu kurum ve kuruluşların görüşleri alınmak suretiyle yönetmeliklerimizde eksik olan hususlar yönetmelik değişikliği veya yönetmeliklere ek olarak çıkarılacak tebliğler ile tamamlanmalıdır.

Ülkemiz topraklarına yönelik mevcut toprak kirliliği ile ilgili tesbit çalışmaları ne yazık ki yapılamamış olup, bunların sayıları, boyut ve önemi, yer altı sularını kirlletme potansiyelleri, çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Sanayileşme ve kentleşme sonucu kurulan tesislerin yakın çevre arazileri için önemli kirlletici kaynağı potansiyeli oluşturduğu tahmin edilse de,

Çalışmaların çoğu akademik düzeyde olup tarımsal faaliyetlerin toprak üzerindeki etkilerinde yoğunlaşmıştır.

Avrupa Birliği' ne uyum sürecinde toprak koruma politikasının geliştirilmesi yolunda toprak kirliliğinin nlenmesine ve arazi kullanımına yönelik çevresel ve tarımsal boyutu içerecek bir stratejinin oluşturulması, bu stratejiye erozyon, lleşme, biyolojik çeşitliliğin korunması konularının dahil edilmesi önemlidir. Bunun için öncelikle mevcut kanun, yönetmelik vs.' deki boşlukların giderilmesi, uygulamaları açısından etkinliklerin arttırılması gerekmektedir. Toprak kirliliğinin belirlenmesi ve özellikle giderimi ile ilgili temelleri içerecek bir yönetmeliğin ayrıca çıkartılması veya mevcut TKKY' ne dahil edilerek Almanya rneğinde olduğu gibi arıtma amurlarının toprağa uygulanmasına ilişkin ayrı bir yönetmeliğin yayınlanması sağlanmalıdır. Toprak koruma, kirliliğin önlenmesi ve kontrolüne yönelik bütün yasal düzenlemelerin yerel bazda uygulanabilmeleri için gerekli uzman kişilerin teknik donanımlarının sağlanması ve denetlemeye ilişkin olanakların ve eğitimlerin sunulması gerekmektedir. Yasal düzenlemelere halkın katılımını arttırmak amacıyla toplumsal bilinçlenmeye destek verilerek yaptırımlar açısından önlemler alınmalıdır. Toprağın ve mevcut kirliliğin özellikleri için kriterlerin tanımlanma, yöntemlerin oluşturulması, örnekleme ve analiz standartlarının Avrupa Birliği' nin kriterlerine uygun saptanması ileriye yönelik harmonizasyonun sağlanabilmesi açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Alpaslan, N. “Arıtma Çamurları”, *Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletim Esasları Kurs Notları*, İzmir, 1 - 28 (2004).
2. Filibeli, A. “Arıtma Çamuru Tanımı ve Çamur Kaynakları”, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi*, İzmir, 1 - 25 (1998).
3. Toprak, H. “Çamurların Susuzlaştırılması”, Çevre Mühendisliği Uygulamaları, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, Ankara, 153 - 160 (2002).
4. Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H., “Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı”, *Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü – ASKİ*, Ankara, 1 – 72 (2002).
5. Filibeli, A. “Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı”, *Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletim Esasları Kursu*, İzmir, 1 – 8 (1998).
6. Ayvaz, Z. “Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi”, *ÇEVKOR dergisi*, 9 (35): 3-12 (2000).
7. Güneş, T. S. “Arıtılmış Atıksuyun ve Arıtma Çamurlarının Geri Kazanımı”, Çevre Mühendisliği Uygulamaları, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, Ankara, 188 – 189 (2002).
8. U.S. EPA, “Land Application of Biosolids, Process Desing Manual”, *USEPA*, Cincinnati Ohio, 12-21 (1994).
9. Toprak, H. “Arıtma Çamurlarının Nihai Bertaraf Yöntemleri”, Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları 2, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi*, İzmir, 1-18 (2000).
10. Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H. “İkinci Kademe Arıtılmış Kentsel Nitelikli Atıksu Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları” (toplu sonuç yayınlanmadı), *Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü*, Ankara, 12-15 (2000).
11. Eyüpoğlu, F. “Türkiye Topraklarının Verimlilik Durumu”, *Köy Hizmetleri Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları*, Ankara, T-67: 35 - 47 (1999).
12. Steffen, H. “Evsel Atıksu Nitelikli Arıtma Tesisleri Atıklarının İşlenmesine Ait Tasarılar”, *Su ve Atıksular Ekonomisi Sempozyumu*, Ankara, 24 - 29 (1995).
13. Ragazzi, M. “Production, Treatment and Disposal of Sludge in Italy”, *European Water Pollution Control*, 7(2): 42-46 (1997).

14. Davis, R., Hall, J., “Production, Treatment and Disposal of Wastewater Sludge in Europe from UK Perspective”, *European Water Pollution Control*, 7 (2): 9-17 (1997).
15. Harrison, E., McBride, M., Bouldin, D., “Land Application of Sewage Sludges: An Appraisal of the US Regulations”, *International Journal of Environment and Polution*, 11 (1): 1-36 (1999).
16. EPA-625/1-83-016, Land Application of Municipal Sludge Proces Design Manual, *USEPA*, 59 – 65 (1983).
17. Kızılkaya, R., Aşkın, T., Gülser, C., Gençoğlu, S., “Extractable Heavy Metal Constentsin Alkaline Risky Soils of Çarşamba Plain”, *2rd International Symposium and New Technologies for Environmental Monitoring and Agro-Applications*, Tekirdağ, 25-32 (2000).
18. Tarsus Atıksu Arıtma Tesisinden Çıkan Biyokatının Arazide Kullanım Olanakları, Taslak Rapor, *Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü*, Ankara, 15-18 (2002).
19. Linden, D., Larson, W., Dowdy, D. and Clapp, C., “Agricultural Utulization of Sewage Sludge” *A Twenty Year Study at The Rosemount Agricultural Experiment Station University of Minnesota*, Minnesota, 53-57 (1996).
20. Harris, P., Redente, E. F., Barbarick, K. A., “Sewage Sludge Application Effects on Runoff Water Quality in Semiarid Grassland”, *Journal of Environmental Quality*, 24:1 (1995).
21. Sort, X., Alcaniz, J. M., “Contiribution of Sewage Sludge to Erosion Control in The Rehabilitations of Limestone Quarries”, *Land-Degration and Devolopment*, 7:1 (1996).
22. FAO, “Wastewater Treatment and Use in Agriculture”, *FAO Irrigation and Drainage* , Rome, 47: 77 (1992).
23. Smith, S. R. “Agricultural Recycling of Sewage Sludge and The Environment”, *CAB International*, Guildford, 6:8 (1996).
24. Filibeli, A. ; Büyükkamacı, N. “Arıtma Çamurlarının Bertarafında Mevcut Yasal Mevzuat ve Eksiklikleri”, *3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 1-11 (1999).
25. Türk Çevre Mevzuatı, “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”, *Türkiye Çevre Vakfı Yayını*, Ankara, 2, 775-831 (1999).
26. Türk Çevre Mevzuatı, “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”, *Türkiye Çevre Vakfı Yayını*, Ankara, 2, 855-877 (1999).

27. Türk Çevre Mevzuatı, “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”, **Türkiye Çevre Vakfı Yayını**, Ankara, 2, 936-1037 (1999).
28. Resmi Gazete, “Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”, **Resmi Gazete (24609)**, Ankara (2001).
29. Avrupa Komisyonu, “Communication from Commission to The Council, The European Parliament, The Economic and Social Committee and The Committee of Regions: Towards a Thematic Strategy for Soil Protection”, **Avrupa Komisyonu**, Brussels, 179 (2002).
30. Avrupa Konseyi, “Council Conclusions on Integrated Soil Protection”, **Information Note, General Secretariat**, Brussels, 10800:02 (2002).
31. Güngör, B.Ö., “Avrupa Birliği’ ne Uyum Sürecinde Toprak Kirliliğinin Önlenmesi”, **1. Çevre ve Ormancılık Şurası Tebliği**, Ankara, 25-30 (2005).
32. Resmi Gazete, “Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programı 22-Çevre”, **Avrupa Birliği Genel Sekreterliği (25178)**, Ankara (2003).

EKLER

EK – 1. TKKY

BİRİNCİ BÖLÜM

Amaç, Kapsam, Dayanak ve Tanımlar

Amaç

Madde 1 — Bu Yönetmeliğin amacı; alıcı ortam olarak toprak kirlenmesinin önlenmesi, kirliliğin giderilmesi, arıtma çamurlarının ve kompostun toprakta kullanımında gerekli tedbirlerin alınması esaslarını sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde ortaya koymaktır.

Kapsam

Madde 2 — Bu Yönetmelik, toprak kirliliğine neden olan faaliyetler ile tehlikeli maddeler ve atıkların toprağa deşarjına, atılmasına, sızmasına ve evsel ve kentsel atıksuların arıtılması sonucu ortaya çıkan arıtma çamurlarının ve kompostun; toprağa, bitkiye, hayvana ve insana zarar vermeyecek şekilde, toprakta kontrollü kullanımına ilişkin teknik, idari esasları ve cezai yaptırımları kapsar.

Dayanak

Madde 3 — Bu Yönetmelik 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 8 inci maddesi ve 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun'un 2 nci ve 9 uncu maddesi gereğince hazırlanmıştır.

Tanımlar

Madde 4 — Bu Yönetmelikte geçen;

Bakanlık: Çevre ve Orman Bakanlığını,

Kanun: 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununu,

Atık: 2872 sayılı Çevre Kanununa dayanılarak hazırlanan yönetmeliklerle belirlenen;

EK-1 (Devam) TKKY

- a) 31/12/2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin 3 üncü maddesinde yer alan, Atık, Atıksu, Endüstriyel Atıksu, Evsel Atıksu, Fekal Atıklar, Organik Atık tanımına giren tüm maddeleri,
- b) 14/3/1991 tarihli ve 20814 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinin 3 üncü maddesinde yer alan, Katı Atık, İri Katı Atık, Evsel Katı Atık (Çöp), Zararlı ve Tehlikeli Atık tanımına giren tüm maddeleri,
- c) 20/5/1993 tarihli ve 21586 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinin 4 üncü maddesinde yer alan, Tıbbi Atık, Evsel Nitelikli Atıklar, Enfekte Atık, Patojen Atık ve Patolojik Atık tanımına giren tüm maddeleri,
- d) 14/3/2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinin 4 üncü maddesinde yer alan Tehlikeli Atık tanımına giren tüm maddeleri,

Ham Çamur:

- a) Evsel ya da kentsel atıksuları işleyen arıtma tesislerinden ve evsel ve kentsel atıksulara benzeyen bileşimdeki atık suları arıtan diğer arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurlarını,
- b) Fosseptik tanklarından ve evsel ya da kentsel atıksuları arıtmak için kullanılan diğer tesislerden gelen arıtma çamurlarını,
- c) (a) ve (b)’de atıfta bulunanlar dışındaki diğer arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurlarını,

Stabilize Arıtma Çamuru: Fermente edilebilirliğini ve kullanımından kaynaklanan sağlık tehlikelerini önemli ölçüde azaltılmak üzere, biyolojik, kimyasal ya da ısıtma işleminden, uzun süreli depolama ya da diğer uygun işlemlerden geçirilmiş arıtma çamurlarını,

Fırın Kuru Toprak: 105 °C fırında kurutularak sabit ağırlığa gelmiş toprak kütlelerini,

EK-1 (Devam) TKKY

Gübre: Toprakların verimini yükseltmek, toprak yapısını düzeltmek, ürünün nitelik ve niceliğini artırmak amacıyla toprağa verilen mineral ve organik bitki besinlerini,

Kentsel Atıksu: Evsel atıksu ya da evsel atıksuyun endüstriyel atıksu ve/veya yağmur suyu ile karışımı,

Kompost: Organik esaslı katı atıkların oksijenli veya oksijensiz ortamda ayrıştırılması suretiyle üretilen toprak iyileştirici maddeyi,

Kullanım: Stabil arıtma çamurunun ve kompostun, toprağın üzerine serilmesi veya toprağın üstüne ve içine herhangi bir biçimde uygulanmasını,

Kuru Madde: Arıtma çamuru veya kompostun kurutma fırınında 103 °C’de yaklaşık 24 saat süre ile sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulması sonucunda geride kalan katı madde miktarını,

Mikrobiyal Gübre: Bitki için gerekli olan bitki besin elementlerinin topraktan alınmasında rol oynayan canlı mikroorganizmaların tarımsal üretimde kullanılmak üzere hazırlanan ticari ürünleri,

Tarım: Hayvancılık dahil, bütün ticari gıda ürünlerinin yetiştirilmesini,

Taşkın Alanları: Normal zamanlarda su altında bulunmayan, akarsu yatağı dışında bulunan, yağıştan meydana gelen aşırı akış neticesinde taşkınlara maruz kalmış ve tekrar maruz kalması muhtemel olan alanları,

EK-1 (Devam) TKKY

Tehlikeli Madde: 2872 sayılı Çevre Kanununa dayanılarak hazırlanan 11/7/1993 tarih ve 21634 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Tehlikeli Kimyasallar Yönetmeliğinin 4 üncü maddesinde yer alan Zararlı Madde ve 31/12/2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin 3 üncü maddesinde yer alan Tehlikeli ve Zararlı Maddeler tanımına giren tüm maddeleri,

Toprak: Minerallerin ve organik artıkların parçalanarak ayrışması sonucu oluşan, yeryüzünü ince bir tabaka halinde kaplayan, canlı doğal bir kaynağı,

Toprak Kirliliği: Toprağın, insan etkinlikleri sonucu oluşan çeşitli bileşikler tarafından bulaştırılmasını takiben, toprakta yaşayan canlılar ile yetişen ve yetiştirilen bitkilere veya bu bitkilerle beslenen canlılara toksik etkide bulunacak ve zarar verecek düzeyde anormal fonksiyonda bulunmasını, toprağa eklenen kimyasal materyalin toprağın özümleme kapasitesinin üzerine çıkması, toprağın verim kapasitesinin düşmesini,

Yanma Kaybı: Arıtma çamuru veya kompostun kurutulduktan sonra kül fırınında 775 °C’de üç saat süre ile yakılması sonucu yanan veya kaybolan madde miktarını, ifade eder.

İKİNCİ BÖLÜM

Toprak Kirliliğinin Önlenmesine İlişkin Yükümlülükler

Genel Yükümlülükler

Madde 5 — Toprak kirliliğinin önlenmesi açısından bu Yönetmelikle belirlenen sınır değerlere ve getirilen yükümlülüklerle uyulması zorunludur.

Bakanlık, kirlenme riski olan alanları saptar alınacak tedbirleri belirler ve uygulatır.

Valilikler; kirlenmiş alanları saptar, alınacak tedbirleri belirler/belirletir ve uygulatır.

EK-1 (Devam) TKKY

Kirlenme riskinin bulunduğu alanlarda kirletenler kirlenmeyi önlemekle, kirlenmiş alanlarda kirlenen kirlenmeyi durdurmak, kirlenme boyutunu tespit etmek, kirlenmenin etkilerini gidermek için gerekli çalışmaları yapmak ve tedbirleri almakla yükümlüdür.

Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan toprak kirliliğinin önlenmesi ve giderilmesi konularında Çevre ve Orman Bakanlığı ile Tarım ve Köyişleri Bakanlığı birlikte çalışır. Belirlenen tedbirler valilikler tarafından uygulanır.

Toprak Kirlilik Parametrelerinin Sınır Değerleri

Madde 6 — Toprak kirlilik parametrelerinin sınır değerleri EK I-A da verilmiştir.

Toprak Kirliliğinin Önlenmesi ve Giderilmesine İlişkin Yükümlülükler

Madde 7 — Toprak kirliliğinin önlenmesine ilişkin yükümlülükler aşağıda belirtilmiştir;

- a) Her türlü atık ve artığın, toprağa zarar verecek şekilde, Çevre Kanunu ve Yönetmeliklerinde belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak ve benzeri faaliyetlerde bulunmak yasaktır.
- b) Her türlü faaliyet veya kaza sonucu kirlenmiş toprakları, bu kirliliğe neden olan faaliyet sahipleri temizlemekle yükümlüdür. Toprağın temizlenmesini müteakip, EK I-A da verilen parametrelerden Bakanlıkça talep edilenlerin analizleri yapılarak, toprağın bu Yönetmelikteki sınır değerleri sağladığını raporla belgelenir.
- c) Kirlenmiş toprakların tespiti ve temizlenmesine ilişkin usul ve esaslar Bakanlıkça belirlenir.
- d) Bu Yönetmelikte geçen toprak, stabilize arıtma çamuru ve kompostun EK I-A (b), EK II-A, EK II-B de verilen parametrelerin örnekleme ve analizlerinin akredite olmuş laboratuvarlarda, EK-IV de belirtilen esaslar çerçevesinde yapılması zorunludur.

EK-1 (Devam) TKKY

- e) Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'nca ruhsatlandırılmamış gübre ve ruhsatlandırılmış gübre üretiminin bant çıkışı her parti için ayrı ayrı uygun analiz raporu alınmamış olanların, tarım ilaçları ve kanserojen maddelerin toprağa verilmesi ve kullanılması yasaktır.
- f) Tarımsal girdileri üreten, ithal eden, pazarlayan ve hammadde olarak toprakları kullananlar toprak kirliliğine sebep olmayacak teknoloji ve prosesleri seçmekle yükümlüdür.
- g) Askeri tesisler için toprak kullanımına ilişkin esaslar ve yasaklar ile bunların denetimi, Genelkurmay Başkanlığı ile koordine edilerek Bakanlık ve Milli Savunma Bakanlığınca ayrıca belirlenir.

Toprak Kirliliğinin Mevcut Durumunun İzlenmesi

Madde 8 — Valilikler her türlü faaliyet veya kaza sonucu kirlenmiş ve kirlenme riski altında olan topraklarda durum tespiti, analizlerin yapılması/yaptırılması, kirlenmenin izlenmesi ve raporlanmasıyla yükümlüdür.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Ham Çamur, Stabilize Arıtma Çamuru ve Kompostun Toprakta Kullanılması ile İnceleme ve Değerlendirme Komisyonu

Stabilize Arıtma Çamurunda Bulunan Ağır Metallerin Sınır Değerleri

Madde 9 — Stabilize arıtma çamurunda ağır metallerin izin verilen maksimum miktarları EK I-B de verilmiştir.

Stabilize Arıtma Çamurunun Toprakta Kullanılması ile İnceleme ve Değerlendirme Komisyonunun Oluşumu

Madde 10 — Evsel ve kentsel atık suların arıtılması sonucu elde edilen ve EK I-B de verilen sınır değerleri aşmayan stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için;

EK-1 (Devam) TKKY

a) Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluşların, toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunun EK II-B de yer alan stabilize arıtma çamuru analiz belgesi formunda verilen parametrelerin analizlerini günlük kuru çamur miktarı elli (50) tona kadar olanlar altı ayda bir, elli (50) tonun üzerinde olanlar üç ayda bir analiz sonuçlarını belgelendirmesi zorunludur. Ancak, arıtma kapasitesi günlük beşbin (5000) kişi ya da üçyüz (300) kg biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ5) altında olan ve temelde evsel atık suların arıtıldığı arıtma tesisi işletmecileri, EK II-B de yer alan stabilize arıtma çamuru analiz belgesi formunda verilen parametrelerin analizlerini oniki ayda bir yaptırmakla yükümlüdür.

b) Stabilize arıtma çamurlarının toprakta kullanılması izne tabidir. Stabilize arıtma çamuru üreticileri kullanıma sunacakları stabilize arıtma çamuru için Stabilize Arıtma Çamuru Kullanım İzin Belgesi talebiyle aşağıda belirtilen bilgi ve belgelerle birlikte valiliğe başvuruda bulunurlar.

- 1) Stabilize arıtma çamurunun kullanılacağı bölgenin il, ilçe ve köy olarak yeri, parsel numarası ve kaç dekar olduğu,
- 2) Bu topraklarda yetiştirilecek ürünün cinsi,
- 3) Yıllık üretilen arıtma çamuru miktarı ve kuru madde yüzdesi,
- 4) Kullanılacak stabilize arıtma çamurunun analiz belgesi (EK II-B),
- 5) Uygulanacak toprağın analiz belgesi (EK II-A).

Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanımına yönelik yapılan başvurularda müracaat dosyası İnceleme ve Değerlendirme Komisyonu tarafından incelenir. İnceleme ve Değerlendirme Komisyonu; İl Çevre ve Orman Müdürlüğünün başkanlığında İl Tarım ve Köyişleri Müdürlüğü, İl Sağlık Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü taşra teşkilatı ve gerekli görülürse Valilikçe stabilize arıtma çamurunun kullanım alanına göre başka kurumlardan dahil edilecek üyelerden oluşur.

EK-1 (Devam) TKKY

İnceleme ve Değerlendirme Komisyonu, stabilize arıtma çamurunun toprağın fiziksel özelliklerinin düzenlenmesine etkisi ile toprağa getireceği ağır metal yük miktarı, toprağın ve yer üstü/yer altı sularının kalitesini bozucu etkisini dikkate alarak incelemeyi yapar.

Bu doğrultuda hazırlanan Stabilize Arıtma Çamuru Kullanım İzin Belgesi (EK-III) Mahalli Çevre Kurulu'nun alacağı karar doğrultusunda mahallin en büyük mülki amiri tarafından üç yıllığına verilir.

Stabilize Arıtma Çamuru Üreticilerinin Yükümlülükleri

Madde 11 — Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluş işletmecileri, stabilize arıtma çamurlarıyla ilgili analizleri yapmak ve kayıtları tutmakla yükümlüdür.

a) Tutulacak kayıtlarda aşağıdaki bilgiler bulunacaktır.

- 1) Arıtma çamurunun stabilize hale getirilmesi için uygulanan yöntem,
- 2) Stabilize arıtma çamurunun EK II-B de belirtilen parametre değerleri,
- 3) Üretilen stabilize arıtma çamuru miktarı ve toprakta kullanılmak üzere sağlanan miktar kullanım miktarları,
- 4) Stabilize arıtma çamuru alıcılarının adları ve adresleri ile çamurun kullanılacağı yer,
- 5) Stabilize arıtma çamurunun kullanılacağı alanda yetiştirilecek ürün çeşidi.

Bu kayıtlar yetkililere açık olacak ve bu Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten itibaren her üç yılda bir toprakta stabil arıtma çamurunun kullanımına ilişkin olarak; yukarıda (a) bendindeki tüm bilgileri ve uygulamada karşılaşılan güçlükleri belirten raporu arıtma çamuru üreticileri hazırlayarak valiliğe sunarlar. Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluş işletmecileri arıtma çamurunun arıtma metodları ve analiz sonuçları hakkındaki bilgileri talepleri halinde yetkililere vermekle yükümlüdür..

b) Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluşların, stabilize arıtma çamuru kullanılan toprağın EK II-A daki Toprak Analiz Belgesi'nde yer alan parametrelerin analizlerini oniki ayda bir valiliğe belgelendirmesi zorunludur.

EK-1 (Devam) TKKY

Eğer stabilize arıtma çamurunun birinci kullanım öncesinde, topraktaki tüm ağır metallerin konsantrasyonu bu Yönetmeliğin EK I-A (a) da belirtilen sınır değerlerin % 50 sinden daha az ise stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanımında topraktaki ağır metal analizlerinin izin verilen süre içerisinde ikinci ve üçüncü yıl tespiti yapılmayabilir.

c) Stabilize arıtma çamuru üreticileri, stabilize arıtma çamurunun kullanıma sunulmasından önce kullanıcılara aşağıdaki belgelerin bir örneğini vermekle yükümlüdür. Gerektiğinde kullanıcılar denetimler esnasında yetkililere belirtilen belgeleri ibraz etmekle yükümlüdürler.

1) Stabilize Arıtma Çamuru Kullanım İzin Belgesi (EK-III),

2) Stabilize Arıtma Çamuru Analiz Belgesi (EK II-B),

d) Ancak arıtma kapasitesi günlük beşbin (5000) kişi ya da üçyüz (300) kg biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ5) altında olan ve temelde evsel atık suların arıtılması için tasarımlanmış arıtma tesisleri işletmecileri bu maddenin birinci fıkrasının (a) bendinin (3) numaralı alt bendi ve (c) bendinin (1) numaralı alt bendi hariç olmak üzere (a), (b), (c) bentlerinden valiliğin izniyle muaf tutulabilir.

e) Stabilize arıtma çamuru üreticileri tuttıkları kayıt ve belgeleri en az 10 yıl saklamakla yükümlüdürler.

Ham Çamurun Kullanma Yasakları

Madde 12 — Ham çamurun toprakta kullanılması yasaktır.

Stabilize Arıtma Çamurunun Kullanma Sınırlamaları ve Yasakları

Madde 13 — Stabilize arıtma çamurunun kullanılmasında aşağıda belirtilen sınırlama ve yasaklara uyulması zorunludur.

a) Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için EK I-B de verilen değerleri aşmaması zorunludur.

EK-1 (Devam) TKKY

b) Stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta ağır metal içeriğinin EK I-A(a) da verilen değerleri aşmaması zorunludur. Topraktaki ağır metal konsantrasyonlarından birinin dahi EK I-A(a) da verilen sınır değerleri aşması durumunda, stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılması yasaktır.

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan evsel ve kentsel arıtma çamurları toprakta kullanılmayacaksa, 14/3/1991 tarihli ve 20814 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda katı atık depolama sahalarında bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Tehlikeli atık sınıfına giren arıtma çamurları ise 14/3/2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri kapsamında bertaraf edilmesi gerekmektedir.

c) Stabilize arıtma çamuru meyve ağaçları hariç olmak üzere toprağa temas eden ve çiğ olarak yenilen meyve ve sebze ürünlerinin yetiştirilmesi amacıyla kullanılan topraklarda kullanılması yasaktır.

d) Stabilize arıtma çamuru, bitkilerin besin gereksinimleri ve yer üstü, yer altı sularının kalitesinin bozulmaması dikkate alınacak şekilde, su kaynaklarının korunmasıyla ilgili yasalarla düzenlenmiş hükümlere uygun kullanılmalıdır.

e) Toprağın pH değeri 5 ten küçükse stabilize arıtma çamuru toprağa uygulanamaz. pH değeri 5-6 arasında olan topraklarda stabilize arıtma çamurunun kullanılması halinde, artan taşınabilirlik dikkate alınarak gerekli görülürse EK I-A(a) ya göre belirlenmiş sınır değerler Bakanlık tarafından düşürülebilir.

f) Stabilize arıtma çamurunun uygulanmasından belli bir süre geçmeden otlatma yapılması yada hayvan yemlerinin hasadının yapılması sözkonusu ise otlak yada hayvan yemi ürünlerinde özellikle coğrafi ve iklim durumları dikkate alınarak belirlenecek olan süre, hiçbir durumda üç haftadan az olmayacaktır.

g) Stabilize arıtma çamurlarının, içme suyu havzalarının mutlak koruma alanlarında ve diğer yüzey sularına 50 metreden yakın olan alanlara uygulanması yasaktır.

h) Stabilize arıtma çamurlarının, taşkın alanlarında ve taşkın tehlikesi olan alanlarda, don ve karla kaplı alanlarda toprağa uygulanması yasaktır.

EK-1 (Devam) TKKY

- ı) Yüzey akış tehlikesi olan alanlarda toprak muhafaza tedbirleri alınmadan stabilize arıtma çamurunun uygulanması yasaktır.
- i) Stabil arıtma çamurunun toprakta on yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarları EK I-C de verilen değerleri aşmaması zorunludur.
- k) Eşdeğer nüfus kapasitesi bir milyon kişinin üzerinde olan tesislerde oluşan arıtma çamurlarının en az % 90 kuru madde değerine kadar kurutulması zorunludur.

Kompostun Toprakta Kullanılması

Madde 14 — Kompostun toprakta kullanılabilmesi için;

- a) C/N oranının 35 den daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda cereyan edebilmesi için reaktörde komposta azot beslemesinin yapılması,
- b) Kompostun, organik madde muhtevasının kuru maddenin en az % 35 i oranında olması,
- c) Piyasaya sürülen kompostun su muhteva oranının % 50 yi geçmemesi,
- d) Piyasaya sürülen kompost içinde, cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığın % 2 sini geçmemesi,
- e) Üretilen kompostun ağır metal muhtevaları, en az altı aylık aralarla, ihtiva ettikleri kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa ve çinko yönünden analizlerinin yapılması,
- f) Kompostun kullanılacağı toprağın, EK II-A daki Toprak Analiz Belgesi'nde yer alan parametre analizlerinin oniki ayda bir belgelendirilmesi,
- g) Toprak ve kompost numunelerinin usulüne ve tekniğine uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olması,
- h) Toprak analizleri sonucu, topraktaki ağır metal içeriklerinin EK I-A(a) da yer alan değerleri aşması halinde söz konusu toprakta kompostun kullanılmaması,
- ı) Kompostun toprakta 10 yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, ağır metaller itibari ile toprağa verilen yükün EK I-C de verilen değerleri aşmaması, gerekir.

EK-1 (Devam) TKKY

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Özendirme, Eğitim, Denetime İlişkin Esaslar ve Yaptırımlar

Özendirme ve Eğitime İlişkin Esaslar

Madde 15 — Bakanlığın koordinasyonunda, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, mahallin en büyük mülki idare amirliği ve belediyeler;

- a) Tarımsal zararlılarla entegre mücadele ilkeleri çerçevesinde kimyasal mücadeleye alternatif mücadele metodlarından biyolojik mücadele, genetik mücadele, biyoteknolojik mücadele, kültürel tedbirler, dayanıklı çeşitler, fiziksel ve mekanik mücadelelerden birinin başlatılmasına,
- b) Stabilize edilmiş hayvan gübrelerinin gübreleme amacıyla kullanılmasına,
- c) Toprak analizine dayalı olarak söz konusu toprak için en uygun gübre ile hastalık ve zararlılara göre en uygun tarım ilacının kullanılmasına,
- d) Kimyasal mücadelenin kaçınılmaz olduğu durumlarda, toprağın yapısı, etken ilacın formülasyonu ve benzeri özellikler dikkate alınarak en uygun ilaçlama aletinin kullanılmasına,
- e) İnsan ve çevre sağlığına uygun mikrobiyal gübre kullanımına,
- f) Arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluşlar stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılmasına ilişkin kullanım talimatı hazırlayarak kullanıcıya vermekle,
- g) Toprak kirliliğinin önlenmesi ve toprağın kullanımı ile ilgili çiftçiler ve faaliyet sahiplerinin eğitime, ilişkin özendirici faaliyetlerde bulunmakla, yükümlüdür.

Denetim

Madde 16 — Bu Yönetmelik uyarınca stabilize arıtma çamurunun ve kompostun toprak ortamındaki her türlü kullanımı ve toprak kirliliği denetiminde Kanun uyarınca Bakanlık yetkilidir. Ancak mahallin en büyük mülki amirliği mevzuatlarında belirlenen usul ve esaslar çerçevesinde denetim yaparlar.

Kurum, kuruluş, işletme ve toprak sahipleri ile işletmeciler denetimle yetkili kişilere;

- a) Taşınmaza veya tesislere girmesi için izin vermekle,

EK-1 (Devam) TKKY

- b) Numune alınmasına ve yerinde ölçümler yapılmasına izin vermekle,
- c) Yetkili kişilerin istedikleri kayıt ve bilgileri sağlamakla, yükümlüdürler.

Denetleme işlemleri ile ilgili olarak yapılan analiz ve ölçümlerin masrafları denetlenen kurum, kuruluş ve işletme, toprak sahibi ile işletenler tarafından karşılanır. Valilikçe denetimler sırasında kurum, kuruluş ve işletmelerden elde edilen ticari sır mahiyetindeki bilgi ve belgeler başka amaçlar için kullanılamaz.

Yaptırımlar

Madde 17 — Bu Yönetmelikte yer alan yasaklara uymayan ve yükümlülükleri yerine getirmeyenler hakkında Kanunun 20, 21, 23 ve 26 ncı maddesi uygulanır.

Raporlama

Madde 18 — Valilik aşağıda belirtilen belgelere ait bilgileri hazırlayarak Bakanlığa raporlamakla yükümlüdür.

- a) Stabilize arıtma çamurlarının toprakta kullanımıyla ilgili verilen kullanım izin belgesinin bir nüshasını,
- b) Stabilize arıtma çamuru üreticilerinin 11 inci madde (a) bendindeki tüm bilgileri ve uygulamada karşılaşılan güçlükleri belirten rapor,
- c) 8 inci maddede belirtilen kirlenmiş alanlarda kirlenmenin etkilerinin giderilmesi için yapılan çalışmalar, alınan önlemler ve kirliliğin izlenmesi ile ilgili hazırlanacak rapor.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Çeşitli ve Son Hükümler

Yürürlükten Kaldırılan Yönetmelik

Madde 19 — 10/12/2001 tarihli ve 24609 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği yürürlükten kaldırılmıştır.

EK-1 (Devam) TKKY

Geçici Madde 1 — 10/12/2001 tarihli ve 24609 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği 9 uncu maddesi gereğince verilen "Arıtma Çamuru Kullanımı İzin Belgesi" izin süresi bitimine kadar geçerli olup, tekrar Stabilize Arıtma Çamuru Kullanımı İzin Belgesi almak isteyen özel ve resmi kuruluşlar bu Yönetmeliğe göre başvuruda bulunmak zorundadırlar.

Geçici Madde 2 — Bu Yönetmeliğin 7 nci maddesi birinci fıkrasının (c) bendinde belirtilen parametrelerin örnekleme ve analizlerinin akredite olmuş laboratuvarlarda yapılması zorunluluğu, Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten itibaren iki yıl sonra geçerlidir.

Geçici Madde 3 — Bu Yönetmeliğin 13 üncü maddesi birinci fıkrasının (k) bendinde belirtilen eşdeğer nüfusu bir milyon kişinin üzerinde kapasiteye sahip tesisler Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten itibaren dört yıl içerisinde arıtma çamurlarında en az % 90 kuru madde değerini sağlamakla yükümlüdür.

Yürürlük

Madde 20 — Bu Yönetmelik yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

Yürütme

Madde 21 — Bu Yönetmelik hükümlerini Çevre ve Orman Bakanı yürütür.

EK-1 (Devam) TKKY

Ek I-A Toprak Kirlilik Parametreleri Sınır Değerleri

a)Topraktaki ağır metal sınır değerleri

Ağır Metal (Toplam)	PH 5- 6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	pH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır*	50 **	140 **
Nikel*	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Civa	1 **	1,5 **

*pH değeri 7'den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

b)Kirlenmiş toprakta arıtma sonucu uyulması gereken sınır değerler

Kirlilik Parametreleri	Sınır Değerler
Klorür İyonu (mgCl/l) (Toplam)	25
Sodyum (mg Na/l) "	125
Kobalt (mg/kg Fırın Kuru Toprak)	20
Arsenik "	20
Molibden "	10
Kalay "	20
Baryum "	200
Florür "	200
Serbest siyanid "	1
Kompleks siyanid "	5
Sülfür "	2
Brom "	20
Benzen "	0,05
Bütil benzen "	0,05
Toliol "	0,05
Xylol "	0,05
Fenol "	0,05
Selenyum "	5
Talyum "	1

EK-1 (Devam) TKKY

b)Kirlenmiş toprakta arıtma sonucu uyulması gereken sınır değerler (Devam)

Kirlilik Parametreleri	Sınır Değerler
Uranyum "	5
Polisiklik aromatik hidrokarbon bileşikleri "	5
Organo klorlu bileşikler "	0,5
Tarımsal Mücadele İlaçları –Bireysel "	0,5
Tarımsal Mücadele İlaçları –Toplam "	2
PCB Poliklorlandırılmış bifeniller "	0,5
Hexaklor benzol "	0,1
Pentaklor benzol "	0,1
Ψ- HCH (lindan) "	0,1

Ek I-B Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg/kg fırın kuru materyal)
Kurşun	1200
Kadmiyum	40
Krom	1200
Bakır	1750
Nikel	400
Çinko	4000
Civa	25

Ek I-C Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Yük Değeri (gr/da/yıl, kuru maddede) *
Kurşun	1500
Kadmiyum	15
Krom	1500
Bakır	1200
Nikel	300
Çinko	3000
Civa	10

* Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

EK-1 (Devam) TKKY

EK II-A Toprak Analiz Belgesi

Toprak Örneğinin Alındığı	İl	
	İlçe	
	Köy	
Faaliyet Sahibi (Adı Soyadı)		
Faaliyet Türü		
Toprak Örneğinin Alındığı Derinlik		
Numunenin Alındığı Tarih		
Numune Alan Kişinin Adı		
Yetiştirilecek ürün çeşidi		
Parsel No		
Numune Alınan Alanın Büyüklüğü (Dekar)		

Toprak Analizleri	Sonuçlar	Analiz Metodu
Kurşun (mg/kg Fırın Kuru Toprak)		
Kadmiyum "		
Krom "		
Bakır "		
Nikel "		
Civa "		
Çinko "		
Azot "		
Fosfor "		
PH		
Organik Madde		

Numune Analiz Tarihi: .../.../....

Açıklama:

Analizi Yapan

.....

Analizi Yapan Kontrol Eden

.....

Onaylayan

EK-1 (Devam) TKKY

EK II-B Stabilize Arıtma Çamuru Analiz Belgesi

Ağır Metaller	Arıtma Çamuru Analizi	Analiz Metotları
Kurşun (mg/kg Fırın Kuru Toprak)		
Kadmiyum "		
Krom "		
Bakır "		
Nikel "		
Civa "		
Çinko "		
Azot "		
Fosfor "		
pH		
C/N		
Kuru Madde		
Yanma Kaybı		
Organik Madde		
Arıtma çamurunun stabilizasyonu için uygulanan arıtma yöntemi		

Numune Analiz Tarihi: .../.../....

Açıklama:

Analizi Yapan

Analizi Yapan

Kontrol Eden

.....

.....

Onaylayan

EK-1 (Devam) TKKY

EK-III Stabilize Arıtma Çamuru Kullanım İzin Belgesi

İzin belgesinin		Tarihi:../../... Sayısı:.....
Arıtma çamuru üreticisinin	Adı Soyadı	
	Ticari Ünvanı	
	Adresi	
Arıtma tesisinin	Adı	
	Adresi	
Kullanılacak arazinin	Adresi	
	Parsel No	
	Alanı (da)	
Yetiştirilecek ürün çeşidi		
Kullanılmasına İzin Verilen Maksimum Stabilize Arıtma Çamurunun Kuru Madde Miktarı (ton/da/yıl)		
İzin Verilen Alanda Stabilize Arıtma Çamuru Kullanımının Tekrarlanma Süresi (yıl)		

Açıklama:

Bu izin belgesi yukarıda adı ve soyadı/ünvanı yazılı müracaat sahibine ../../.....tarih ve sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nin 10 uncu maddesine istinaden 3 (üç) yıllığına verilmiştir.

Yetkili Amir
İmza-Mühür-Tarih

EK-1 (Devam) TKKY

EK-IV Örnek Alma ve Analiz Metodları

Toprak Örneği Alma: Analiz için alınan temsili toprak örnekleri normalde, aynı amaçla tarım yapılan 50 dekarı aşmayan bir arazi üzerinden alınan 25 örneğin karıştırılmasıyla meydana getirilecektir. Ancak büyük ölçekli aynı amaçla tarım yapılan alanlardan Valiliğin onayı ile 200 dekarı aşmayan bir arazi üzerinden 25 örneğin karıştırılmasıyla temsili toprak örneği alınabilir. Örneklerin toprak derinliği 25 cm'nin altında olması hali hariç, 25 cm derinlikten alınması gereklidir. Toprak derinliğinin bu değerin altında olması halinde örneğin alındığı derinlik 10 cm'nin altına düşmemelidir.

Stabilize Arıtma Çamuru Örneği Alma: Stabilize arıtma çamuru örneği stabilizasyon işleminden sonra, kullanıcıya gönderilmesinden önce ve çamur üretimini temsil edecek şekilde en az 25 farklı numunenin karıştırılmasıyla oluşturulur.

Analiz Metodları: Ağır metal analizi kuvvetli asit parçalanmasını takiben gerçekleştirilmelidir. Referans analiz metodu asgari atomik absorpsiyon spektrometri olmalı ve her bir metal için tespit sınırı uygun sınır değerin % 10'undan yüksek olmamalıdır.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ankara’ da doğdu. 1997 yılında Ankara Cumhuriyet Lisesi’ nden mezun oldu. 1999 senesinde Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2003 yılında bu bölümden bölüm üçüncüsü olarak mezun oldu. 2004 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı’ nda yüksek lisans eğitimine başladı.