

83112

**İSTANBUL'UN ARITMA ÇAMURLARININ YÖNETİMİ VE
UZAKLAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Aysun KESAL SALTER
(F195Y418)**

83112

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Şubat 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Şubat 1999**

Tez Danışmanı

: Doç . Dr. Lütfi AKÇA

Lutfi Akca

Diğer Jüri Üyeleri

Prof. Dr. H. Zuhuri SARIKAYA

H. Zuhuri Sarikaya

Doç. Dr. Cumali KINACI

Cumali Kinaci

**EC. YÜKSEKÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON MÜHÜRÜ**

ŞUBAT 1999

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yapılmasında yardımlarını esirgemeyen ve tezin her safhasında bilgi ve deneyimleriyle katkıda bulunan değerli hocam Sn. Doç. Dr. Lütü AKÇA 'ya kıymetli desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Sn.Recep Hayri EREN'e teşekkürümü bir borç bilirim.

Herzaman desteğini esirgemeyen sonsuz sevgi ve şefkatle destek olan aileme ve tez çalışmam esnasında sabırla yardımcı olan eşim Levent SALTER'e;

Çalışmalarım sırasında bana yardım ve desteklerini esirgemeyen EKOL ARITMA Genel Müdürü Sn. Sadun OCAKÇIOĞLU'na çalışma arkadaşlarım Sn. Eyüp GÖRGÜN, Sn. Hale KALK'a teşekkürlerimi sunarım.

Şubat,1999

H. Aysun Kesal SALTER

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Amaç ve Kapsam	2
2. ÇAMUR KAYNAKLARI, MİKTAR VE ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Çamur Kaynakları.....	3
2.2 Çamur Üretimi ve Miktarları.....	3
2.2.1 Aktif Çamur Prosesinde Çamur Üretimi ve Miktarı.....	4
2.3 Çamur Özellikleri	5
2.3.1 Fiziksel Özellikler	6
2.3.1.1 Özgül Ağırlık (Birim Hacim Ağırlığı).....	6
2.3.1.2 Katı Madde Konsantrasyonu	7
2.3.1.3 Partikül Tipi ve Boyut Dağılımı	8
2.3.1.4 Çamurdaki Suyun Dağılımı.....	8
2.3.1.5 Akış Özellikleri	10
2.3.1.6 Reolojik Özellikler	10
2.3.1.7 Çamur Çökebilirliği	10
2.3.1.8. Çamurun Susuzlaşabilirliği	11
2.3.2 Kimyasal Özellikler	11
2.3.2.1 Nutrientler	11
2.3.2.2 Alkalinite.....	12
2.3.2.3. Ağır Metaller	12
2.3.2.4 Çamurun Yakıt Değeri (Kalorifik Değeri).....	12
2.3.2.5 Gübre Değeri	13
2.3.2.6 Besin Değeri.....	14
2.3.3 Biyolojik Özellikler	14
3. ÇAMUR ARITIMI VE UZAKLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ.....	15
3.1 Temel İşlem ve Prosesler	15
3.2 Çamur Arıtma Sistemlerinin Verimleri.....	18
3.3 Yoğunlaştırma	18
3.3.1. Gravite İle Yoğunlaştırma.....	19

3.3.2 Yüzdürme Yoğunlaştırma	20
3.3.3 Santrifüj İle Yoğunlaştırma	20
3.4 Çamur Stabilizasyonu	21
3.4.1 Çamur Stabilizasyon Yöntemlerinin Tanımı	23
3.4.1.1 Anaerobik Çürütme	23
3.4.1.2 Aerobik Çürütme	27
3.4.1.3 Kireç Stabilizasyonu	28
3.4.1.4 Yüksek Sıcaklıkta Kireç Stabilizasyonu	28
3.4.1.5 Isıyla Kurutma	29
3.4.1.6 Yakma	30
3.4.1.7 Kompostlaştırma	30
3.5 Şartlandırma	34
3.5.1 Kimyasal Şartlandırma	34
3.5.2 Çamur Şartlandırmayı Etkileyen Faktörler	35
3.5.3 Dozaj	35
3.5.4 Çamur Karıştırma	37
3.5.5 Isıl İşlem	37
3.5.6 Diğer Yöntemler	38
3.6 Çamur Susuzlaştırma	39
3.6.1 Kurutma Yatakları	41
3.6.2 Kurutma Lagünleri	41
3.6.3 Filtre Pres	41
3.6.4 Bant Pres İle Filtrasyon	42
3.6.5 Vakum Filtrasyon	42
3.6.6 Santrifüj	42
4. BAZI ÜLKELERDE ÇAMUR YÖNETİMİ	43
4.1. Batı Avrupa'da Çamur Yönetimi	43
4.1.1. Çamur Uzaklaştırma Yöntemleri	43
4.1.2 Danimarka	44
4.1.3 Almanya	49
4.2 Polonya	51
4.3 Japonya	52
4.4 Yeni Zellanda	58
4.4.1 Yoğunlaştırma	60
4.4.2 Biyolojik Stabilizasyon ve Termal Proses	60
4.5 Kanada	61
4.6 Norveç	62
4.6.1 Atık Çamurdaki Ağır Metal Ölçümü	64
4.6.2 Atık Çamurun Stabilizasyonu ve Dezenfeksiyonu	64
4.6.2.1 Kireç Arıtımı	64
4.6.2.2 Kompostlaştırma	64
4.6.2.3 Termofilik Aerobik Çürütücü (Islak Kompostlaştırma)	65
4.6.2.4 Termofilik Aerobik Ön Arıtma ve Aerobik Çürütücü	65
4.6.2.5 Ön Pastörizasyon ve Anaerobik Çürütücü	65
4.6.2.6 Anaerobik Çürütücü ve Termal Kurutma:	65
4.6.3 Sonuçlar	66

5. İSTANBUL'DA ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ ARITILMASI VE UZAKLAŞTIRILMASI.....67

5.1 Genel	67
5.2. İstanbul Arıtma Tesisleri.....	69
5.2.1 Mevcut Deniz Deşarjları.....	69
5.2.2 Kısa Vadeli Çözümler	70
5.2.3 Uzun Vadeli Arıtma ve Uzaklaştırma Sistemleri.....	73
5.3 İstanbul'da Çamur Yönetimi	76
5.4 Atıksu Çamur Miktarları	77
5.4.1 Giriş.....	77
5.4.2 Çamur Miktarı Hesabı.....	82
5.4.2.1 Birinci Derece Arıtma Durumunda Çamur Miktarı	91
5.4.2.2 Kimyasal Madde Takviyeli Birinci Derece Arıtma Durumunda Çamur Miktarı	91
5.4.2.3 İkinci Derece Arıtma Durumunda Çamur Miktarı	92
5.4.2.4 Üçüncü Derece Arıtma Durumunda Çamur Miktarı	93
5.4.3 İstanbul Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarları.....	93
5.5. Çamur Yönetim Çalışması Teklifleri.....	95
5.5.1 Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Sistemleri Çamurları.....	95
5.5.1.1 Avrupa Yakası	95
5.5.1.2 Asya Yakası.....	96
5.5.1.3 Yakma Tesisleri.....	97
5.5.1.4 Susuzlaştırılmış Çamurun Taşınması :	97
5.5.1.5 Susuzlaştırılmış Çamurun Adalardan Uzaklaştırılması:	97
5.5.1.6 Terkos'dan Susuzlaştırılmış Çamurun Düzenli Depolama Alanına Taşınması:.....	101
5.5.2 Endüstriyel Arıtma Sistemleri Arıtma Çamurları ve Zararlı Atıklar İçin Çalışma Teklifleri.....	101
5.5.3 Drenaj Kanalları Çamurları.....	104
5.5.4 Su Arıtma Tesisleri Çamurları.....	105
5.5.5 Çamur Yönetim Stratejileri Genel Kriterleri.....	105
5.5.5.1 Güvenirlik	105
5.5.5.2 Esneklik.....	105
5.5.5.3 Düzenli Depolama Politikasına Etkisi	106
5.5.5.4 Trafiğe Etki	106
5.5.5.5 Yönetmeliklere Uygunluk	106
5.5.5.6 Sorumluluk Minimizasyonu	106
5.5.5.7 Karmaşıklık	107
5.5.6 Çamur Yönetim Stratejileri Kanuni Faktörleri.....	107
5.5.7 Çamur Yönetim Stratejilerinin Ekonomik ve Pazarlama Faktörleri.....	107
5.5.8 Çamur Yönetim Stratejilerinin Arazi Kullanımı Açısından Değer.	108
5.6 Çamur Yönetim Stratejileri	108
5.6.1 Tarım Alanlarına Uzaklaştırma	109
5.6.2 Orman Alanlarına Uzaklaştırma	109
5.6.3 Tahsis Edilmiş Alanlara Uzaklaştırma ve Tek Tip Dolgu	109
5.6.4 Dağıtım ve Pazarlama	110
5.6.5 Düzenli Depolama Alanlarına Katı Atıklarla Birlikte Uzaklaştırma.....	110
5.6.6 Çözümler	110
5.6.6.1 Mevcut Durum	110

5.6.6.2 Master Plan Teklifleri	111
5.7 İstanbul Çamur Yönetim Planı	118
5.7.1 İst. Atıksu Arıtma Çamurlarının Bertarafı İçin Önerilen Seçenekler	119
5.7.1.1 Çamur Yönetim Planı (1993)	119
5.7.1.2 Master Plan Önerileri ve Eleştirileri	124
5.7.1.3 Yeni Öneriler	127
5.8 Paşaköy Arıtma Çamurlarının Maliyet Analizleri Üzerine Bir Çalışma	128
5.8.1 1. Alternatif	129
5.8.2 2. Alternatif	130
6. SONUÇLAR.....	133
KAYNAKLAR.....	136
EKLER.....	137
ÖZGEÇMİŞ.....	141



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Avrupa’da Çamur Üretim Oranları	4
Tablo 2.2. Çeşitli Kullanılmış Su Tasfiye Tesislerinden Çıkan Çamur Miktarları ve Fiziksel Öz.	6
Tablo 2.3. Çeşitli Tasfiye İşlemleri ve Proseslerin Çamur Katı Madde Konsantrasyonu	9
Tablo 2.4. Çürümüş ve Çürümemiş Çamurların Kimyasal Bileşimi	11
Tablo 2.5. Atıksu Çamurundaki Tipik Metal Miktarları	13
Tablo 3.1. Çamur Arıtımında Kullanılan Temel İşlem ve Prosesler :	17
Tablo 3.2. Çamur Arıtımında Kullanılan Temel İşlem ve Proseslerin Verimleri.....	20
Tablo 3.3. Yoğunlaştırıcılardaki Katı Madde İçerikleri ile Katı Madde Yükleri	21
Tablo 3.4. Çamur Stabilizasyon İşleminin Etkileşimleri.....	25
Tablo 3.5. Tipik Anaerobik Çürütücü Dizayn Kriterleri	26
Tablo 3. 6. Aerobik Çürütme İçin Dizayn Değerleri.....	30
Tablo 3.7. Çeşitli Susuzlaştırma Metodları ve Çeşitli Çamurlar İçin İlave Edilmesi Gereken Polimer Miktarı	38
Tablo 3.8. Atıksu Çamurlarında Katı/Sıvı Ayırımı İçin Kullanılan Yöntem ve Teknikler	40
Tablo 4.1. Avrupa Topluluğu Ülkelerinde Uygulanan Çamur Uzaklaştırma Yöntemleri	47
Tablo 4.2. Avrupa Ülkelerindeki Stabilizasyon Prosesleri.....	48
Tablo 4-3. Danimarkada Çamur Uzaklaştırma Yöntemleri.....	49
Tablo 4.4. Ağır Metaller İçin Sınırlar	47
Tablo 4.5. Susuzlaştırma Ekipmanlarına Paylaştırılan Çamur Miktarları.....	48
Tablo 4.6. Almanya’daki Çamur Üretiminin Tarımsal Kullanımla Karşılaştırılması.....	49
Tablo 4.7. Almanya’da Çamur Bertarafı.....	50
Tablo 4.8. Toprakta Ağır Metal Sınırlandırması	50
Tablo 4.9. Japonyadaki Arıtma Proseslerine Göre Sınıflandırılan Atıksu Arıtma Tesis Sayıları.....	55
Tablo 4.10. Japonya’da Çamur Tipleri, Miktarları ve Arıtma Alternatifleri	56
Tablo 4.11. Japonya’da Kullanılan Susuzlaştırma Ekipmanları Ve Sayıları	57
Tablo 4.12. Japonya’da Kurulan Yakma Tesisleri	57
Tablo 4.13. Japonya’da Atıksu Çamurlarının Yararlı Kullanımı	58
Tablo 4.14. Evsel Çamurların Uzaklaştırma Şekli ve Miktarı.....	61
Tablo 4.15. Kanada Nüfusu Ve Tahmin Edilen Evsel Çamur Miktarı	62
Tablo 5.1. Kısa Vadeli Master Plan Çözüm Önerileri (İstanbul Su Temini Kanalizasyon ve Drenaj Atıksu Arıtma ve Uzaklaş. Master Plan Etüdü	72
Tablo 5.2. Uzun Vadeli Master Plan Çözüm Önerileri (İstanbul Su Temini Kanalizasyon ve Drenaj Atıksu Arıtma ve Uzaklaş. Master Plan Etüdü	75
Tablo 5.3.a. Çamur Yönetim Çalışması – Avrupa Yakası Master Plan Evsel Çamur Miktarları Karşılaştırılması.....	78
Tablo 5.3.b. Çamur Yönetim Çalışması – Asya Yakası Master Plan Evsel Çamur	

Miktarları Karşılaştırılması.....	79
Tablo 5.4. Çamur Miktarlarının Karşılaştırılması.....	80
Tablo 5.5. İstanbul Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarları Tahmini.....	81
Tablo 5.6. Birinci ve İkinci Derece Arıtmada Kullanılan Prosesler ve Birim İşlemlerin Arıtma Dereceleri	91
Tablo 5.7. Fe(III) ile Fosfor Çökeltimi Esnasında Oluşan Çamur Miktarını Belirlemek İçin Gerekli Reaksiyonlar	92
Tablo 5.8.a. Çamur Yönetim Çalışması – Avrupa Yakası Çamur Arıtma ve Uzaklaştırma Alternatifleri ve Maliyetleri.....	98
Tablo 5.8.b. Çamur Yönetim Çalışması – Asya Yakası Çamur Arıtma ve Uzaklaştırma Alternatifleri ve Maliyetleri.....	99
Tablo 5.9. Evsel ve Uygun Nitelikte Olan Zararsız Endüstriyel Çamurun Birlikte Uzaklaştırılması.....	104
Tablo 5.10. Master Plan'ın Kısa Vadeli Stratejisine Uygun Olabilecek Çamur Yönetimi	113
Tablo 5.11. Master Plan'ın Uzun Vadeli Stratejisine Uygun Olabilecek Çamur Yönetimi (Avrupa Yakası).....	114

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Katı ve Sıvı Ayırımında Üç Temel Prensipten	15
Şekil 4.1 Yıllık Arıtılmış Su ve Çamur Miktarı	54
Şekil 4.2 Yıllık Arıtılan ve Yararlı Kullanılmış Çamur Hacim Miktarları	54
Şekil 4.3 ACE Plan Akışı	59
Şekil 5.1 Tuzla ve Küçükçekmece Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı	83
Şekil 5.2 Baltalıman ve Riva Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı	84
Şekil 5.3 Büyükçekmece ve Paşaköy Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı	85
Şekil 5.4 Büyükada ve Terkos Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı	86
Şekil 5.5 Burgazada ve Tepeören Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı	87
Şekil 5.6 Baltalıman ve Riva Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı	88
Şekil 5.7 Asya Avrupa Yakası Arıtma Tesislerinden Çıkacak Toplam Çamur Mik.	89
Şekil 5.8 İstanbul Bölgesi Arıtma Tesislerinden Çıkacak Toplam Çamur Miktarı	90
Şekil 5.9 Atıksu ve Drenaj Sistemi Çamurları Arıtma ve Uzak. Sistematiği	116
Şekil A.1 İstanbul Bölgesindeki Bazı Kum ve Taş Ocakları	143

ÖZET

Bu çalışmanın amacı İstanbul için planlanan atıksu arıtma tesislerinin verilerini kullanarak her bir arıtma kademesi için her bir atıksu arıtma tesisinde oluşacak çamur miktarını belirlemek, günümüzde dünyada uygulanan çamur arıtma proseslerini tanıtarak ve ülkelerle örnekleyerek önerilen çamur arıtma sistemlerinin dahaiyi anlaşılmasını sağlamak ve çeşitli alternatiflerin maliyet açısından karşılaştırılmalarında yararlı olacak veriler üretmektir.

Yukarıdaki amaç doğrultusunda mevcut çamur arıtma prosesleri ve sistemleri tek tek tanıtılmış, miktarlarına yönelik yapılan çalışmalar karşılaştırılmış çamur üretiminin değişimleri grafiklerle gösterilmiştir. Böylece herbir atıksu arıtma sisteminde ortaya çıkacak çamurun nasıl bertaraf edebileceğine karar vermeyi kolaylaştıracak çok miktarda veri üretilmiştir. Örnek olması açısından Paşaköy tesisinden çıkacak çamurlar için bir maliyet çalışması da yapılmıştır.

Evsel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamuru için kompostlaştırma alternatifi bu çalışmada kayda değer bir alternatif olarak önerilmiştir. Kompostlar parkların oluşturulmasında, bozulmuş ve işlenmiş arazilerin yeniden bitkilendirilmesinde, sebze ve meyvelerin yetiştirilmesinde, bahçecilik ve fidancılık mahsullerinde kullanılır.

Çamurların tahsis edilmiş alanlara depolanması da kısa vadede uygulanabilecek bir çözüm olarak görülmüştür. İstanbul Büyükşehir Belediyesinin yapmış olduğu bir araştırmaya göre İstanbul Bölgesinde 118 tane taş ocağı bulunmaktadır. Bunların içinde Kartal Maden Ocağı en büyük olanıdır. Özellikle su havzalarının dışındaki alanlar ve yine özellikle kömür ocakları arıma çamurlarının depolanması için oldukça uygun alanlardır. Özellikle kömür ocaklarında taban zemini geçirimsiz olarak yapılmalıdır. Bu çamur deposu olarak kullanılması bakımından çok idealdir. Çamurların terkedilmiş bölgelere, taş, kum ve maden ocaklarına depolanması için Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliğine göre stabilize edilmesi gerekir. Böylece çamurun taşınması ve depolanması esnasında ve sonrasında sinek, haşere v.s. üremesi de engellenmiş olur. Çürütücü olmayan tesislerde çamur stabilizasyonu için oldukça ucuz bir malzeme olan kireç kullanılabilir. Bu durumda çamur miktarındaki artış gözardı edilmemelidir. Ayrıca çamurların bu dolgu alanlarına taşınması kapsamlı bir planlama çerçevesinde yapılmalı; özellikle trafiğin daha yoğun olduğu bölgelerde taşımacılığın, trafiğin daha az olduğu saatlerde yapılarak trafiği minimum etkileyecek önlemler alınmalıdır.

SLUDGE MANAGEMENT AND DISPOSAL FROM TREATMENT PLANTS IN ISTANBUL

SUMMARY

The target of this study, is to compare the sludge amount from each wastewater treatment plant of some previous studies and is to offer some alternatives according to these data. Another target is to produce the necessary data to the evaluate the different alternatives in respect of both economical conditions and technological basis.

For determining and selecting the alternatives, the pre -studying had been done. First off all, some studies done in some countries had been investigated. In the mentioned countries, subject of sludge treatment methods based on social, economic, geographic and technical features for each country are investigated.

The point that the investigated countries take care while they are planning the sludge managing and not enough utilization area is provided in our country is recovering the treatment sludge. Except this, using the sludge in agricultural areas, and sanitary land filling are the other alternatives.

For the target mentioned above, first the existing sludge treatment processes and systems have been explained one by one. First off all, the studies done for the treatment sludge in Istanbul are investigated one by one. The mentioned studies are master plan, sludge management study done for ISKI in 1993 and determining the treatment sludge quantity coming from the Istanbul Waste Water Treatment Plant (Master Study-1998)

The result of the comparison is that the values calculated and estimated in the master study are the most suitable values for the other studies interested in the sludge quantity. For the management strategy, the evaluation based on the in Master Plan is done. The results are shown in a table, and the graphs based on sludge quantity for one plant and also the total sludge quantity for Asia, Europe and is table are presented separately.

The Istanbul Sludge Management Project conducted in 1993 has suggested that the sludge from primary sedimentation tank first be taken to gravity thickener, and that from biological treatment to floatation thickener and then passing through anaerobic digestion process and centrifugal dewatering be taken to landfill or be incinerated without passing through digestion process as to burn them with the ashes be sent to landfill for Riva, Tuzla, Küçükçekmece and Baltalimanı. For Büyükada, Heybeliada , Kınalıada, Burgazada and Terkos; gravity thickening + Aerobic digestion +

centrifugal dewatering + landfill are used; for Pasaköy the sludge from primary sedimentation tank first pass through gravity thickener, and that from biological treatment first through floatation thickener and then be taken to landfill. For Tepeören it has been suggested the sludge be processed in anaerobic digestion and centrifugal dewatering stages after treated in thickener and then be sent to landfill as last stage.

In the master plan study that was started in 1997 and it is still continuing floatation. This study summarized as follows:

For Yenikapı , Baltalimanı, Terkos, Kilyos, Batı Marmara it has been suggested that the sludge be treated as thickening + anaerobic digestion + centrifugal dewatering + landfill. For Kadıköy + Göksu , Büyükaada, Kınalıada, Burgazada and Heybeliada gravity thickening + centrifugal dewatering + landfill ; Büyükçekmece and Pasaköy it has been suggested that sludge from primary sedimentation tank shall first go through gravity thickener, that from biological treatment through floatation thickener and then be taken to landfill; floatation thickening + anaerobic digestion + sludge drying + landfill. For Küçükçekmece and Tuzla it has been suggested as sludge from primary sedimentation tank first be treated in gravity thickener, that from biological treatment in floatation thickener, and then by passing through anaerobic digestion and centrifugal dewatering processes be sent to landfill or be incinerated without digestion process as to send the ashes to landfill.

The pilot study was determined in this paper, is a master project about sludge amount from Waste Water Treatment Plant in Istanbul . In this study, sludge amount coming from treatment plant of Istanbul is compared with previous project and showed as a table. Determining of strategy of sludge treatment process for this study is based on Master Plan Study. The last study about sludge management of treatment plant in Istanbul written by Ebru Gökğöz is more available for amount sludge calculation. For that reason amount sludge was based on mentioned study. In mentioned study, after existing sludge treatment process and system had been explained one by one, the amount of sludge due to come from the primary sedimentation tank, primary sedimentation tank with chemical addition biological treatment and advanced treatment system in wastewater treatment plants has been calculated for each of the plants, the change in the production of sludge.

In Istanbul catchment area results is got as follows the disposal of treatment sludge is an important issue in Istanbul Waste Water Management Policy that should be studied carefully and ,

1. Through the subject of waste water treatment has been widely negotiated, the disposal of sludge subject is limited with only a few studies and investigations. It requires more studies for sludge treatment and disposal for Istanbul.
2. There are many deficiencies in the sludge treatment legal constitution. There are unclear points regarding the final disposal of treatment sludge.

As a natural consequence of this, we haven't got sufficient amount of knowledge about the sludge disposal of existing treatment systems.

3. Composting has not offered for treatment sludge from municipal wastewater plant until now. It is the important alternative. Composts can be used for building parks, reusing degenerated areas, growing up vegetables and fruits. Composting is used in U.S.A and Scandinavia country successfully for a long time.

4. Though incineration of the sludge is an expensive alternative, it is an advantageous method for Istanbul since there remains only a little amount of matter to be sent to landfill. But either in "Sludge Management Study" conducted in 1993 or in the Master Plan still continuing, there exists no information regarding the calculation of dry solid weight and volume for the ashes and the sludge to be sent to landfill. Execution of this calculation, is an important concept for comparison of alternatives, for determining the landfill place and landfill area.

5. In the previous studies, various alternatives have been presented for sludge treatments two alternatives, so contrary to each other have been put down as follows;

- * Construction of sludge treatment plants next to each of the wastewater treatment plants,

- * Collection of sludge from Asian Side in one center, and collection of sludge from European Side in another center, and the disposal of the sludge there. Collecting the sludge in a certain center and treating them there is a very difficult thing technologically. We need more studies for evaluation and investigation of feasibility as how to execute transfer the transfer the sludge.

6. The total investment cost of sludge treatment systems suggested in Master Plan (1997) is about 235×10^6 USD, and the operational cost is about 70×10^6 USD /year The investment cost itself is 5 trillion USD as one USD equals to 210.000 TL. Adding the operational cost on this, we reach high costs.

The end of the research , a case study which including cost analyses of Paşaköy treatment sludge with two alternatives. The first alternative is building a thickening, stabilization and dewatering unit in Paşaköy and transferring to landfill. The second alternative is sludge dewatering in Paşaköy and transferring to Tuzla and then stabilizing and dewatering in Tuzla's exist unit. And finally transferring dewatered sludge to landfill. Results shows that the first alternative is more feasible than the second one.

It is important point to supply the finance and to execute the work program together with the construction of wastewater treatment plants. If we need to make an order of processes, this would be as first putting down the criteria and considering the investment timing to together with economical actuation.

Ça:nur Miktarların Belirlenmesi

İTİSİS	YILLAR	İSKİ (1993) kuratın/gün		GÖKÖZ, E., (1998) kuratın/gün			MASTERPLAN (1997) kuratın/gün			
		İKİNCİ	ÜÇÜNCÜ	BİRİNCİ	KİMYASAL	İKİNCİ	ÜÇÜNCÜ	BİRİNCİ	İKİNCİ	ÜÇÜNCÜ
RİVA	1998	308		130,36	286,63	195,329	221,02	204,3		
	2010			174,9	380,92	259,255	294,89			
	2020			222,56	484,36	327,566	373,84			
	2040			94,4	212,39	141,354	160,02			
TUZLA	2000		126	148,2	330,59	219,369	249,64	186		322,2
	2010			189,2	416,74	278,484	317,83			
	2020			94,4	212,39	141,354	160,02			
	2040			148,2	330,59	219,369	249,64			
PAŞAKÖY	2000	51		44,5	109,17	66,39	75,2	79,3		
	2010			51,1	123,02	65,69	86,1			
	2020			59,6	136,1	87,83	100,19			
	2040			44,5	109,17	66,39	75,2			
TEPEÖREN	2000	9,9		9,3	22,82	13,87	15,71			
	2010			12,2	29,5	18,15	20,64			
	2020			14,3	32,66	21,19	24,12			
	2040			9,3	22,82	13,87	15,71			
BÜYÜKADA	2010		2,74	1,6	3,77	2,39	2,71	2,8		
	2020			1,9	4,36	2,81	3,2			
	2040			2,2	4,91	3,2	3,66			
	2010			1,6	3,65	2,34	2,64			
HEYBELİADA	2020		1,51	1,8	4,24	2,73	3,1	2,8		
	2040			2,1	4,76	3,1	3,55			
	2010			0,9	2,15	1,37	1,56			
	2020			1,1	2,49	1,65	1,83			
KINALIADA	2020		1,12	1,2	2,79	1,84	2,09	1		2,2
	2040			0,5	1,18	0,77	0,86			
	2010			0,6	1,37	0,89	1,01			
	2020			0,7	1,53	1,01	1,15			
BURGAZADA	2000		236	129,2	284,51	193,5	219,07	232		
	2010			166,7	364,02	247,1	281,56			
	2020			209	461,62	307,44	350,96			
	2040			61,1	133,93	91,62	103,63			
BLİMANI	2010		148	74,1	161,83	109,9	124,99	13,1		
	2020			96,4	209,37	142,05	162,06			
	2040			16,8	39,02	25,38	28,65			
	2000			29,2	66,5	43,36	49,32			
B.ÇEKMECE	2020		48,4	68,9	152,07	101,427	115,77	88,8		117,3
	2040			16,8	39,02	25,38	28,65			
	2000			0,21	0,89	0,59	0,68			
	2010			0,28	1,44	0,93	0,97			
TERKOS	2020		0,35	1,62	2,9	1,92	1,07	0,7		
	2040			0,11	0,26	0,18	0,2			
	2010			0,17	0,37	0,23	0,27			
	2020			0,28	0,62	0,42	0,48			
KİLYOS	2040			111,8	247,31	167,65	198,68			
	2010			140,4	310,67	208,02	236,67			
	2020			175,8	385,21	258,84	295,37			
	2040			2,97	7,49	4,45	5,04			
YENİKAPI	2010			5,58	13,51	8,27	9,41			
	2020			10,74	24,69	15,66	17,95			
	2040			2,97	7,49	4,45	5,04			
	2010			5,58	13,51	8,27	9,41			
B.MARMARA	2020			10,74	24,69	15,66	17,95			
	2040			2,97	7,49	4,45	5,04			
	2010			5,58	13,51	8,27	9,41			
	2020			10,74	24,69	15,66	17,95			

İstanbul Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarları Tahmini

Tesisler	Yıllar	Çamur Miktarları (Kuru ton/gün)		
		Birinci	İkinci	Üçüncü
Riva	2040	222.56		
Tuzla	2010		141.354	
	2040		278.484	317.839
Paşaköy	2010		66.39	
	2040		87.83	100.191
Tepeören	2040			24.12
Büyükada	2010		2.39	
	2040		3.2	3.66
Heybeliada	2010		2.34	
	2040		3.10	3.55
Kınalıada	2010		1.37	
	2040		1.84	2.09
Burgazada	2010		0.77	
	2040		1.01	1.15
Baltalimanı	2010	61.1		
	2040	96.4		
Küçükçekmece	2010		193.5	
	2040		307.44	350.95
Büyükçekmece	2010		25.38	
	2040		101.43	115.77
Terkos	2010		0.59	
	2040		1.92	

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Çevre Mühendisliğinde, su ve kullanılmış su arıtımı sırasında önemli ölçüde çamur meydana gelir. Çoğu zaman bu çamurların çevreye zarar verilmeden uzaklaştırılması büyük problemler çıkarmasının yanında mali açıdan da ilave bir yük getirir. İçme suyu arıtma tesislerinden çıkan çamur uzaklaştırılırken, organik olmadıklarından zararları az olur veya hiç olmaz. Ancak depolama ve yer işgali yönünden problem doğururlar.

Kullanılmış su tasfiye tesisinden çıkan çamurlar ise organik asıllı olduklarından zamanla çürürler, etrafa kötü koku yayarlar ve hastalık yapan mikroorganizmaları üreterek tehlikeli olmaya başlarlar. Bu çamurları zararsız hale getiren ünitelerin yapımında büyük hacimli çamurlar, büyük hacimde üniteler gerektireceğinden tesis maliyetini artırırlar. Kullanılmış su tasfiyesinde meydana gelen çamur, tasfiye edilen suyun % 1-6'sını teşkil etmekle beraber, çamur tasfiye ünitelerinin maliyeti tüm tesis için ilk yatırım maliyetinin % 30 - 40'ına, işletme masrafı ise tüm işletme masrafının %50'sine ulaşabilir. Bu bakımdan hacminin düşürülmesi, çamur tasfiye ve uzaklaştırma maliyetini azaltacaktır.

Bu amaçla çamur yoğunlaştırma veya çamur suyunun alınması işlemleri uygulanır. Çamur yoğunlaştırmada katı madde muhtevası % 15'e kadar çıkarılabilir; bu durumda çamur sıvı özelliğinde olup pompa ile basılabilir. Çamur suyunun alınması işlemleri ile katı madde muhtevası % 20'nin üzerine çıkarılır ki; bu durumda çamur katı özelliğinde olup kürek veya başka bir aletle kolayca uzaklaştırılabilir.

1.2 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada arıtma çamurlarının arıtılması, susuzlaştırılması ve uzaklaştırılmasına yönelik yöntemler araştırılmış derlenmiş ve İstanbul'daki arıtma çamurları yönetimi ve uzaklaştırılması için alternatifler incelenmiştir.

Çalışmanın amacı İstanbul için planlanan atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların yönetimine yönelik çalışmalarda belirlenen çamur miktarlarını kıyaslayarak çeşitli alternatiflerin maliyet açısından karşılaştırılmalarını sağlayacak veriler üretmektir. Bazı ülkelerde uygulanan çamur yönetim uygulamalarını tanıtarak İstanbul için önerilen çamur arıtma sistemlerinin hem daha iyi anlaşılmasını sağlamak hem de yeni alternatifler üretmek de hedeflenmiştir.

Yukarıdaki amaç doğrultusunda bu çalışmada öncelikle çamur kavramı tanıtılmış, kaynakları, miktar ve özellikleri belirtilmiş, çamur arıtma prosesleri ve sistemleri tanıtılmış ve uzaklaştırma yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu problemin dünya ülkelerindeki çözüm yolları incelenmiş ve bazı ülkelerde arıtma çamurlarının gerek arıtımı gerek uzaklaştırılması veya değerlendirilmesi için yapılan çalışmalar tanıtılmıştır.

Sonraki bölümde İstanbul'daki atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların yönetimi için yapılan çalışmalar tek tek incelenmiştir. Ayrıntılı olarak incelenen üç kaynak (ISKI Domestic and Industrial Waste Sludge Management Study for Greater Istanbul, Environmental Eng. & Technology,Inc. ve Sistem Planlama, Mayıs 1993; İstanbul Su Temini, Kanalizasyon ve Drenaj, Atıksu Arıtma ve Uzaklaştırma Master Plan Etüdü ,1997, İstanbul Atıksu Arıtma Tesislerinden Ortaya Çıkacak Çamur Miktarlarının Belirlenmesi; Gökgöz. E., 1998) arasında bir takım değerlendirmeler yapılarak çamur miktarları ve uygulanan arıtma yöntemleri yeniden incelenmiştir. Ekonomi, teknoloji ve halk sağlığı öğeleri ön planda tutularak İstanbul'da çamur uzaklaştırma için alternatifler önerilmiştir.

2. ÇAMUR KAYNAKLARI, MİKTAR VE ÖZELLİKLERİ

2.1 Çamur Kaynakları

Arıtma işlemleri sırasında meydana gelen, katı maddelerce zenginleşmiş artıklara çamur denir. Çamur, atıksu arıtımı tesisleri planlamasında ve projelendirilmesinde etkili bir faktördür. Evsel Atıksu çamurunun iki önemli kaynağı; Ön Çöktürme ve Biyolojik Arıtma prosesleridir.

Kullanılmış su tasfiyesinde ön çökelme havuzlarında meydana gelen çamura ham primer çamur denir. Son çökelme havuzundan meydana gelen çamur ise tasfiye tipine göre aktif çamur veya biyolojik çamur adını alır. Bunların ham primer çamurla karıştırılmasıyla karışık çamur elde edilir. Yine kullanılmış su tasfiye tesislerinde bu çamurlar çürümeye tabi tutulur. Çürütme işleminden geçen çamura da çürümüş çamur denir. Ayrıca tasfiye esnasında çökeltim verimini artırmak için kimyasal madde ilave ediliyorsa, tasfiye ön çöktürme havuzunda meydana gelen çamura kimyasal çamur denir.

2.2 Çamur Üretimi ve Miktarları

1. Arıtma Tesisi Tipine,
2. Atıksuyun kalite ve miktarına ve üniteye girişine,
3. Çamur işleme prosesinden çıkan ve üniteye geri döndürülen atıksuyun kalite ve miktarına, bağlıdır.

Kimyasal çöktürmede çamur oluşumu daha fazladır.

Çamur miktarının tahmini atıksu arıtma tesisi işletmecileri ve mühendisler için zor değildir. Mevcut tesisin genişletilmesi veya yeni tesisin kurulması durumlarında çamur miktarının ve tahmini önemli bir husustur.

Bazı ülkelerde atıksu çamuru için Tablo 2.1'deki gibi verilmektedir. (Vesilind, 1988)

Tablo 2.1. Avrupa'da Çamur Üretim Oranları

Ülke	Çamur Üretimi
	<u>gr/kşi/gün*</u>
Hollanda, İrlanda	30-40
Belçika, Danimarka, Fransa	
İtalya, Lüksemburg	70-85
Finlandiya, Norveç, İsveç	
<u>İsviçre</u>	<u>97-124</u>

* Kuru ağırlık

Tablo 2.1'deki bazı Avrupa ülkelerinde çamur üretimindeki değişiklikler aşağıdaki sebeplerden kaynaklanır.

- Bazı çamur üretim şekilleri nüfus eşdeğeri temelinde ifade edilir. Genelde nüfus eşdeğeri Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) olarak verilir. Fakat bir çok endüstri tipinde yüksek BOİ yüksek miktarlarda çamur üretimi anlamına gelmemektedir.
- Septik tank gibi bazı çamur kaynakları çamur içerebilir veya içermeyebilir.
- Ülkeden ülkeye dizayn standartları (çamur yaşı vb.) değişebilir.
- Arıtma sistemleri çok iyi tanımlanmamış olabilir. Örneğin bir oksidasyon hendeği anoksik bölgesi veya anoksik bölgesiz olarak işletilebilir. Bu çamur üretimini etkiler.
- Çamur şekilleri çamur uzaklaştırmaya göre rapor edilirken bazıları üretime göre rapor edilir.
- Arıtma tesislerinde çamur üretiminin ölçümü basit değildir. Bu yüzden işletmecilerin tahminleri kullanılır.

2.2.1 Aktif Çamur Prosesinde Çamur Üretimi ve Miktarı

Biyolojik arıtma proseslerinde çamur üretimi, mikroorganizma çoğalmasının bir sonucudur.

Organik substrat konsantrasyonu ile net mikrobiyolojik çoğalma oranı arasındaki kinetik bağlantı aşağıdaki gibidir:

$$dX/dt = Y (dS/dt) - bX \quad (2.1)$$

Y = Biyokütle üretimi/giderilen substrat

b : içsel solunum hızı katsayısı

$$dS/dt = kSX/(K_s + S) \quad (2.2)$$

S : Substrat Konsantrasyonu mg/l BOI veya KOI

X : Biyokütle Konsantrasyonu

k : Substrat giderimi / biyokütle max oran

K_s : $k/2$ durumunda substrat konsantrasyonu

Monod ifadesi, havalandırma tankındaki biyolojik çamurun konsantrasyonunun hesaplanması için kullanılır.

Kullanılmış su tasfiye tesislerinde biyokimyasal oksidasyon sırasında çoğalan mikroorganizmalar ortamdaki katı madde miktarının esasını teşkil eder. Bunun bir kısmı iç solunum olayı sırasında ortadan kalkacağından, meydana gelen katı madde miktarı biyolojik olay sonunda ortaya çıkan katı madde ile iç solunum yolu ile yok edilen katı madde miktarı farkına eşittir.

Tasfiye tesislerinden çıkan çamurların miktarı ve bazı özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

2.3 Çamur Özellikleri

Kullanılmış suların tasfiye tesisi planları ve işletmeleri birbirinden farklı olduğundan bu tesislerden çıkan çamurların özellikleri de birbirinden çok farklıdır. Çamurların bazı özelliklerinin ölçülmesi, sistemin planlanmasında ve işletilmesinde önem kazanır.

Tablo 2.2 Çeşitli Kullanılmış Su Tasfiye Tesislerinden Çıkan Çamur Miktarları ve Fiziksel Özellikleri (Metcalf&Eddy, 1991).

Tasfiye İşlemi	Çamur Katı		Kuru Katı Madde,	
	Maddesi	Özgül Ağ. Kg/m ³	kg/ 10 ³ .m ³	
			Alt-Üst Sınırlar	Ort.
Ön Çöktürme	1.4	1.02	110-170	150
Aktif Çamur	1.25	1.005	70-100	85
Damlatmalı Filtre Çamuru	1.45	1.025	55-90	70
Uzun Havalandırma Çamuru	1.3	1.015	80-120	100 ^a
Havalandırılmalı Lagün Çamuru	1.3	1.010	80-120	100 ^a
Filtrasyon	1.2	1.005	10-20	15
Alg Kazanma	1.2	1.005	10-25	15
Fosfor Gidermek İçin Kimyasal Madde İlaveli Ön Çöktürme				
Düşük Kireç (350-500 mg/lt)	1.9	1.04	250-400	300 ^b
Yüksek Kireç (800-1600 mg/lt)	2.2	1.05	600-1280	800 ^b

(a) Ön Çöktürme Yok

(b) Ön Çöktürme Çamuru

2.3.1 Fiziksel Özellikler :

2.3.1.1 Özgül Ağırlık (Birim Hacim Ağırlığı)

Bir maddenin ağırlığının eşdeğer su hacmine olan oranına özgül ağırlık denir.

Çamurun özgül ağırlığı yaklaşık olarak 1.0 kg/m³'tür.

Değişik bileşenlerden oluşan çamurun özgül ağırlığı aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$1/S_s = \sum (w_i/S_i) \quad (2.3)$$

Burada ;

S_s = Çamurun net özgül ağırlığı, kg/m³

w_i = Çamurun i'nci bileşeninin ağırlık oranı veya katı madde % si

S_i = Çamurun i'nci bileşeninin özgül ağırlığı, kg/m³

2.3.1.2 Katı Madde Konsantrasyonu

Çamur, ayrıca bir sıvıda sulu çözelti içeren asılı faz olarak isimlendirilebilir. Çamurun birincil karakteristiği katı maddenin sıvıya oranıdır.

$$C_1 = \text{mg kuru madde} / \text{litre çamur} = \text{mg} / \text{l} \quad (2.4)$$

C_1 , suyun veya herhangi bir sıvının litre başına katı madde miktarının mg olarak değeri şeklinde düşünülmemelidir.

Katı Madde Konsantrasyonu yeteri kadar yüksek olduğu zaman katı madde miktarını belirlemek için katı madde miktarı tanımı ASTM (American Society for Testing and Materials) tarafından şu şekilde tavsiye edilmektedir :

$$C_2 = \text{g kuru madde} / \text{g çamur} = \text{g} / \text{g} \quad (2.5)$$

Bu sayı 100 ile çarpılıp % katı miktarı bulunur. Burada da bu eşitliğin gram su başına gram kuru madde olarak hesaplanmadığına dikkat edilmelidir.

İlk eşitlik bir kütle / hacim ilişkisidir. İkincisi ise kütle / kütle ilişkisidir. Eğer katının yoğunluğu suyun yoğunluğu gibi 1.00 kabul edilirse iki bağıntı arasındaki bağlantı şu şekildedir.

$$C_1 = \text{mg} / \text{l} = 10,000 \times \% \text{ katı} = C_2 \quad (2.6)$$

Bu durum sadece katının yoğunluğu suyun yoğunluğu gibi 1.00 kabul edildiğinde geçerlidir.

Çamurun içindeki toplam katı madde süspansiyon ve çözünmüş olarak iki kısımda bulunur.

Süspansiyon maddeden, 400-600 °C sıcaklıkta kaybedilen madde miktarı uçucu madde miktarını verir. Uçucu madde miktarını Toplam katı madde miktarından çıkartmak suretiyle de kalıcı madde miktarı bulunur. Bir çamur kütlesindeki katı maddeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir :

TKM : Toplam Katı Madde

ÇKM : Çözünmüş Katı Madde

AKM : Askıda Katı Madde (Süspansiyon Madde)

UKM : Uçucu Katı Madde (Uçucu Süspansiyon Madde)

SKM : Sabit Katı Madde (Kalıcı Süspansiyon Madde)

Tablo 2.3'te çeşitli tasfiye işlemleri ve proseslerin çamur katı madde konsantrasyonu verilmektedir.

2.3.1.3 Partikül Tipi ve Boyut Dağılımı

Çamur içindeki daneler sadece boyut bakımından değil şekilleri bakımından da değişkendir. Bu bakımından çamurların dane boyutları ile karakterize edilmesi oldukça zordur. Çamur, sadece farklı boyutlu danelerden meydana gelmiş olmayıp, dane boyutları zamanla ve deney şartlarına bağlı olarak değişmektedir.

Partikül tipi direk olarak çamurun susuzlaştırılma yöntemine bağlıdır. Bu konuda çalışan bilim adamlarından P. Karr' a göre çamurda 100 μm ' den 1 μm ' ye kadar olan partikül tipleri incelenmiş ve susuzlaştırılabilirlikle direk ilişkili olduğu saptanmıştır. Eğer çamur büyük partiküllerden oluşuyorsa susuzlaştırılması zordur. (Karr, P., 1976)

2.3.1.4 Çamurdaki Suyun Dağılımı

Çamur özelliklerinin bir diğeri de çamur suyunun partiküllerine nasıl bağlandığıdır. Bir araştırmaya göre çamurdaki su dört kategoride incelenmiştir:

- a) Serbest su : Bu tip sular partiküllere herhangi bir şekilde bağlı değildir. Çamurdaki serbest su yerçekimli yoğunlaştırma ile uzaklaştırılır.
- b) Flok Suyu : Bu sular floklarda hapsolmuştur. Flokların sıkıştırılması ile çıkarılır. Flok suyu mekanik susuzlaştırma yardımıyla uzaklaştırılabilir.
- c) Kapiler su : Su kapiler kuvvetler tarafından partiküle bağlanmıştır. Yüksek seviyede basınç kullanılmadıkça mekanik olarak uzaklaştırılamaz.
- d) Partiküler su (Kimyasal bağlı su) : Su partiküle kimyasal olarak bağlıdır. Sadece kimyasal veya termal yollarla uzaklaştırılabilir.

Tablo 2.3. Çeşitli Tasfiye İşlemleri ve Proseslerin Çamur Katı Madde Konsantrasyonu (Robert Dick ve Diğ. 1978)

İşlem veya tatbik edilen proses	Çamur katı madde kons. % kuru madde	
	Aralık	Ortalama
<u>Ön Cöktürme Tankı:</u>		
Primer çamur	4-8	5
Sulandırılmış primer çamur	0.3-3	1.5
Primer ve aktif çamur	3-10	4
Primer ve damlatmalı filtre çamuru	4-10	5
Fosfor gidermek için demir ilave edilmiş primer çamur	2-8	4
Fosfor gidermek için yüksek dozda kireç ilaveli primer çamur	4-16	10
<u>Son Cöktürme Tankı :</u>		
Ön cöktürme ile aktif çamur	0.5-1.5	0.75
Aktif Çamur	0.75-2	1.25
Saf Oksijen aktif çamur ile ön cöktürme	1.25-3	2
Saf Oksijen aktif çamur	1.5-3	2.5
Damlatmalı filtre çamuru	1-3	1.5
Köpüklü çamur (scum)	3-10	5
<u>Gravite ile yoğunlaştırıcılar :</u>		
Primer çamur	6-12	8
Primer ve aktif çamur	3-10	4
Primer ve damlatmalı filtre çamuru	4-10	5
<u>Yüzdürmeli yoğunlaştırıcılar:</u>		
Aktif çamur	3-6	4
<u>Anaerobik çamur çürütücü :</u>		
Primer çamur	5-10	7
Primer ve aktif çamur	2.5-7	3.5
Primer ve damlatmalı filtre çamuru	3-8	4
<u>Aerobik Cürüme :</u>		
Aktif çamur	0.75-2.5	1.25
Aktif çamur ve primer çamur	1.5-4	2.5
Primer çamur	2.5-7	3.5

2.3.1.5 Akış Özellikleri

Çamur karakterizasyonu fiziksel akışkanlık özelliklerine göre de yapılır. Bu bakımdan çamur davranışı dört şekilde sınıflandırılabilir:

- 1) Sıvı : Çamur kendi ağırlığının etkisi ile akar.
- 2) Plastik : Çamur rahatça akmayacak kadar konsantredir. Fakat eğer yeterli basınç uygulanırsa hareket ettirilebilir.
- 3) Büzüşebilir Katı Madde : Çamur pompalanmayacak kadar konsantredir ve kurutulduğu zaman hacmi azalır.
- 4) Büzüşmez Katı Madde : Daha fazla su çekmez ve hacmi daha fazla küçülmeksizin kurur.

2.3.1.6 Reolojik Özellikler

Bütün akışkanlar, kendi akış özelliklerine veya reolojilerine göre sınıflandırılabilirler. Reolojinin en uygun ölçümünden biri, klasik olarak verilen bir kayma kuvvetine akışkanın birim zamandaki deformasyon hızı olarak ifade edilen viskozitedir.

2.3.1.7 Çamur Çökebilirliği

Çökelme hızı katı madde konsantrasyonuna bağlı olarak değişmekle birlikte aynı konsantrasyona sahip farklı çamurların çökelme hızları farklı olabilir. Çökelme hızları ve yoğunlaştırıcılarda çamurlar bölgesel çökelme özelliği gösterirler. Çökelme hızı;

$$V = V_0 \exp(-nX) \quad (2.7)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

V : çökelme hızı

X : çamur konsantrasyonu

V_0, n : çökelme hızı sabitleri

2.3.1.8. Çamurun Susuzlaşabilirliği

Çamurlar susuzlaşabilirlik açısından da farklılık gösterir Dolayısıyla bu özellik de ayırdedici bir özelliktir. Susuzlaşabilirlik, özgül direnç, kapiler emme süresi, filtrasyon süresi gibi parametrelerle ifade edilir.

2.3.2 Kimyasal Özellikler

Arıtma çamurlarının kimyasal özellikleri hakkında bir genelleme yapmak oldukça güçtür. İçme suyu ve evsel kullanılmış sular için istatistiki değerler vermek mümkündür. Ancak endüstrinin kullanıldığı hammadde ve işlem şekline göre farklı kimyasal özelliklerde çamur meydana geleceğinden endüstriyel atıksular için ortalama değerler vermek mümkün değildir. Tablo 2.4'de çürümüş ve çürümemiş evsel atıksu çamurunun kimyasal bileşeni verilmektedir. (Vesilind, 1988)

Tablo 2.4. Çürümüş ve Çürümemiş Çamurların Kimyasal Bileşimi

Parametre	Çürümemiş Primer Çamur		Çürümüş Çamur	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
Yağ ve Gres (Eterde Çözülebilir) %(TK)	6-30	-	5-20	-
Protein %(TK)	20-30	25	15-20	18
Azot (N) % (TK)	1.5-5	4	1.6-6	4
Fosfor (P ₂ O ₅) % (TK)	0.8-3	2	1.5-4	2.5
Potasyum (K ₂ O) % (TK)	0-1.0	0.4	0-3	1
Selülöz % (TK)	8-15	10	8-15	10
Demir (Sülfat Olmayan)	2-4	2.5	3-8	4
Silika (SiO ₂)	15-20	-	10-20	-
pH	5-8	6	6.5-7.5	7
Alkalinite (mg/lt, CaCO ₃)	500-1500	600	2500-3500	3000
Organik Asit (mg/lt, HAC)	200-2000	500	100-600	200

2.3.2.1 Nutrientler

Fosfor atıksuda ve çamurda ortofosfat, polifosfat ve organik bağlı fosfat olarak bulunur. Ham atıksuda değişik fosfat tiplerine bağlı konsantrasyonlar oldukça farklı değerlerde bulunabilir. Evsel atıksularda toplam fosfor konsantrasyonu 10 mg/lt

olarak verilmiştir.(Metcalf&Eddy; 1991). Toplam fosfor 3 mg/lt partikül ve 7 mg/lt çözünmüş kısım olarak ayrılır. Biyokütlenin fosfor miktarı % 2 ya da 3 oranında ölçülmüştür. Fakat fosfor bakımından zayıf atıksularda % 1'den az olabilir. Bu değerler bazen de % 7'ye kadar çıkabilir.

Atıksudaki ve çamurdaki azot; partikül azot, çözünmüş organik azot, NH_4^+ , NH_3 , nitrit, nitrat olarak sınıflandırılır. Atıksu yüksek miktarda NH_4^+ içerir. Oksidasyon şartlarının az olmasından dolayı atıksularda genelde nitrit ve nitratlar bulunmaz. Fakat okside edilmiş azot formları aerobik arıtma prosesinde üretilebilir. Amonyum ve nitrat konsantrasyonu nitrifikasyonun olup olmamasına bağlıdır.

2.3.2.2 Alkalinite

Alkalinite çamur şartlandırmada önemlidir. Şartlandırmayı etkileyebilir, anaerobik çürütücü tarafından etkilenir. Evsel atıksuda alkalinite 100 mg/lt CaCO_3 olarak verilir. Anaerobik çürütücü çamurlarının alkalinitesi 1000 - 2000mg/lt civarındadır.

2.3.2.3.Ağır Metaller

Ağır metal muhtevası, çamurun arıtma proseslerindeki davranışından çok, nihai uzaklaştırma alanlarındaki davranışı açısından önemlidir. Tarım alanlarına ve diğer araziye uzaklaştırılan çamurlarda bulunabilecek ağır metal konsantrasyonları birçok ülkede yönetmeliklerle sınırlandırılmıştır. Evsel atıksularda rastlanan ağır metal konsantrasyonları aşağıdaki Tablo 2.5'de verilmiştir.

2.3.2.4 Çamurun Yakıt Değeri (Kalorifik Değeri)

Arıtma çamurlarının yakıt değeri genellikle kalorimetre ile ölçülür. Evsel atık çamurları için gözlenen yakıt değerleri ile uçucu katı maddelerin yakıt değerleri arasında oldukça iyi bir ilişki kurularak aşağıdaki ifade elde edilmiştir. (Soylu, N.,1994)

$$Q = 555.269 \frac{a(100P_v - b)}{(100 - P_e)} \cdot \frac{(100 - P_e)}{100} \quad \text{kcal/kg} \quad (2.8)$$

Tablo 2.5. Atıksu Çamurundaki Tipik Metal Miktarları (Metcalf&Eddy, 1991)

Ağır Metal	Kuru Çamur, mg/kg	
	Aralık	Ortalama
Arsenik	1.1 - 230	10
Kadmiyum	1 - 3410	10
Krom	10 - 99000	500
Kobalt	11.3 - 2490	30
Bakır	84 - 17000	800
Demir	1000 - 154000	17000
Kurşun	13 - 26000	500
Manganez	32 - 9870	260
Civa	0.6 - 56	6
Molibden	0.1 - 214	4
Nikel	2 - 53000	80
Selenyum	1.7 - 17.2	5
Kalay	2.6 - 329	14
Çinko	101 - 49000	1700

Bu ifade de;

Pv : % olarak uçucu katı madde oranı

Pc : % olarak kimyasal pıhtılaştırıcı oranı

a, b : çeşitli çamurlar için katsayı

Formül ile elde edilen sonuçlar fosil yakıtları ile mukayese edilebilmektedir. Çamur ne kadar iyi kurutulursa kurutulsun içerisinde % 10 civarında nem bulunduğundan çamurların yakıt değeri düşüktür ve yakmak için ayrıca yakıcı maddeye ihtiyaç göstermektedir. Bundan dolayı böyle bir uygulama genellikle ekonomik olmamaktadır.

2.3.2.5 Gübre Değeri

Arıtma çamurlarını gübre olarak kullanmak bir çok ülkede halen uygulanmaktadır. Evsel kullanılmış sularda potasyum ve sodyum miktarları ortalama olarak bilindiğine göre bu tip suların tasfiyesi sonucu meydana gelen çamurlardaki potasyum ve

sodyum miktar ve oranları uygunsa tarımda gübre olarak kullanılabilir. Endüstri kullanılmış suları içinde zehirli maddelerin varlığı söz konusu olduğu zaman gübre olarak kullanılmaları doğru değildir. Bu bakımdan çamurların gübre değerlerini tespit ederken içerisindeki zehirli maddelerin konsantrasyonunun da gübre olarak kullanılmasını önleyecek seviyeden düşük olması gerekmektedir.

Suni gübrelerde potasyum ve sodyumun yanında büyük oranlarda azot ve fosfat bileşikleri de bulunacağına göre, bu elementlerin gübre yapılacak çamurlarda hangi oran ve miktarda bulundukları, o çamurun ticari gübre olarak kullanılıp kullanılmayacağını tayin eder.

2.3.2.6 Besin Değeri

Aktif çamurlar protein açısından zengin oldukları için, uygun bir teknoloji ile aktif çamurlardaki proteinlerden hayvan yemi yapmak mümkündür. Fakat çamurun sağlık yönünden elverişli şartlara getirerek yem olarak kullanılabilmesi yüksek maliyet gerektirdiğinden yem yapımında kullanılması tercih edilmemektedir.

2.3.3 Biyolojik Özellikler

Kullanılmış suların tasfiyesinde meydana gelen çamurlarda iki önemli konu; toxonomi (organizmaların sınıflandırılmaları) ve patojen organizmaların varlığıdır.

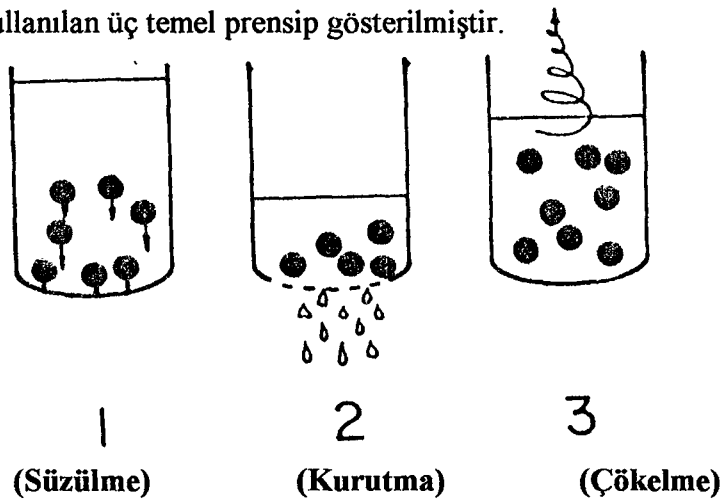
Bir çamur kütesinin sayılamayacak kadar çok farklı kaynağı olabileceği ve her bir kaynaktan gelen besin ile değişik organizmaların bu kütlede yeralacağı düşünülürse bu kütlede, hastalık yapan (patojen) mikroorganizmaların üremesi mümkündür. Bunların cins ve miktarlarının tespit etme zorluğundan dolayı, biyolojik ve biyokimyasal özelliklerin çamur için bir genellemesinin yapılması zordur. Çamurda bulunan su giderici enzimlerin varlığı ile çamurların su verme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu tahmin edilmektedir. Bu sebeple, doğal sızma özellikleri iyi olmayan çamurlara enzim ilave edilerek sızma kolaylaştırılabilir (Aral, 1980).

3. ÇAMUR ARITIMI VE UZAKLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Çeşitli arıtma birimlerinden ortaya çamurların uygun şekilde arıtımı ve uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır. Atıksuyun katı kısmı, ızgara üzerinde tutulan kaba maddeler, kum, köpük ve organik çamurlardan ibarettir. Çamur % 0.5-5 nispetinde katı madde ihtiva eder ve ciddi arıtma ve uzaklaştırma problemlerine yol açar. Arıtma çamuru, bünyesinde büyük miktarda su ihtiva eden kokulu bir maddedir. Çamur arıtma ve uzaklaştırma maliyeti yüksek olduğundan, çamur arıtımı atıksu arıtma tesisi tasarımının en kritik hususlarından biridir.

3.1 Temel İşlem ve Prosesler

Genelde çamur arıtımı ve uzaklaştırma metodları yoğunlaştırma, stabilizasyon, suyunu alma ve nihai uzaklaştırma işlemlerini ihtiva eder. Çamur arıtma ve uzaklaştırma işlemlerinin muhtelif safhalarında pek çok temel işlem ve proses kullanılır. Ekonomik bir çamur arıtma sistemi geliştirilebilmesi için arıtma proseslerinin en uygun kombinezonu teşkil edilmelidir. En çok kullanılan çamur arıtma sistemlerinin özellikleri Tablo 3.1' de verilmiştir. Şekil 3.1'de ise katı sıvı ayırımında kullanılan üç temel prensip gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Katı sıvı ayırımında üç temel prensip: (1) katılar daha ağırdır. (2) Katılar daha büyüktür. (3) Katılar uçucu değildir.

Tablo 3.1. Çamur Arıtımında Kullanılan Temel İşlem ve Prosesler :

Temel İşlem ve Prosesler	Fonksiyonu ve Tatbik Yeri
<u>İlk Operasyonlar</u>	
Çamur öğütme	Azaltma
Çamur parçalama	İri taneler (iri kum) çıkarma
Çamur karıştırma	Karıştırma
Çamur depolama	Depolama
Yoğunlaştırma	Yoğunlaştırma, çamurun hacmini azaltmak ve kesafetini artırmak için kullanılır.
Cazibeli Yoğunlaştırma	Hacim azaltmak için kullanılır.
Çözünmüş Hava ile Yüzdürme	Çamurun kesafeti yüzdürme ile arttırılabilir. Hava yüksek basınçta çözülür. Basınç serbest bırakıldığında hava kabarcıkları katı maddeleri yüzdürür.
Santrifüj	Çamurlar santrifüj kuvvetlerin tesiri altında yoğunlaşır veya suyu alınır.
Kimyevi Oksidasyon	Çamur patojen mikroorganizmaları azaltmak, istenmeyen kokuları gidermek için stabilize edilir. Klor, hidrojen peroksit ve ozon en çok kullanılan kimyevi maddelerdir.
<u>Stabilizasyon</u>	
Kireç ile Stabilizasyon	pH değerini 12 veya daha büyük bir değere yükselterek yapılır. Yüksek pH değerinde çamurlar stabilize olur.
Aerobik Çürütme	Çamur 10 - 15 günlük bir sürede havalanmak suretiyle stabilize edilir.
Anaerobik Çürütme	Çamurlar, havasız ortamda stabilize edilir. Metan enerji kaynağı olarak geri kazanılır.
Kompostlaştırma Suretiyle Toprak Islahı	Çamur keki kompostlaştırılır ve sonra ziraat alanlarına serilebilir.
<u>Sartlandırma</u>	
Piroliz	Piroliz, 300 - 700 °C' de çamurun ısıtılmasıdır.

Tablo 3.1. (Devamı)

Temel İşlem ve Prosesler	Fonksiyonu ve Tatbik Yeri
Islak Oksidasyon	Çamur katıları, yüksek sıcaklık (200 - 300 °C) ve yüksek basınçta (5 - 20 MN/m ²) sıvı ortamda oksitlenir.
Kimyevi Şartlandırma	Çamur, suyunu bırakma özelliğinin iyileştirilmesi için şartlandırılır. Polielektrolit, alum, demir tuzları ve kireç kullanılır.
Çamur Yıkama (Elütrasyon)	Elütrasyon, alkaliniteyi gidermek için çamurların yıkanmasıdır. Yıkanmış çamurun şartlandırma için daha az kimyevi maddeye ihtiyacı vardır.
Isı İşleme	Çamurlar 140 - 200 °C'de ısıtılmak suretiyle şartlandırılır ve stabilize edilir.
<u>Susuzlaştırma</u>	
Kurutma Yatakları	Çamurlar, kum yatakları üzerine serilir. Sıvının bir kısmı alt drenaj sistemiyle alınır, bakiyesi buharlaşır.
Lagünler	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Santrifüj	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Vakum Filtre	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Pres Filtre	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Bant Pres Filtre	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Araziye Serme	Suyu alınmamış veya suyu alınmış çürütülmüş çamur ziraat alanlarına serilebilir.
Kurutma Suretiyle Toprak Islahı	Çamur keki, takriben 370 °C' de kurutulur. Bu sıcaklıkta uçucu maddelerden bir kısmı giderilir. Çamur toprak ıslahı için kullanılır.
Dezenfeksiyon	
Pasterizasyon	
Uzun Süreli Depolama	
Isı ile Kurutma	
Sıcak gaz ile kurutma	Ağırlık ve hacim azaltımı
Sprey Kurutucu	Ağırlık ve hacim azaltımı
Döner Kurutucu	Ağırlık ve hacim azaltımı
Çok Gözlü Kurutucu	Ağırlık ve hacim azaltımı

Tablo 3.1. (Devamı)

Temel İşlem ve Prosesler	Fonksiyonu ve Tatbik Yeri
Çoklu Buharlaştırıcı	Ağırlık ve hacim azaltımı
<u><i>Termal İşlem</i></u>	
Çok Gözlü Fırın	Hacim azaltımı, geri kazanım
Akışkan Yataklı Fırın	Hacim azaltımı, geri kazanım
Nemli Hava Oksidasyonu	Stabilizasyon, hacim azaltımı
<u><i>Nihai Uzaklaştırma</i></u>	
Araziye Uygulama	Son Uzaklaştırma
Dağıtım ve Pazarlama	Yararlı Kullanım
Kimyasal Sabitleme	Yararlı Kullanım, Son Uzaklaştırma
Düzenli Depolama	Son Uzaklaştırma

3.2 Çamur Arıtma Sistemlerinin Verimleri

Çamur arıtma tesislerinde genellikle iki tür atık çıkışı söz konusudur. Bunlar arıtılmış çamur ve sıvı kısımdır. Sıvı kısmın (duru su) yeniden arıtılması gerekir ve bu yüzden atıksu arıtma tesisinin girişine verilir. Çamur arıtımından çıkan bu sıvı faz yüksek oranda AKM ve BOİ ihtiva eder ve sisteme önemli bir yük getirir. Dolayısıyla tesise geri dönen çamur üst fazının getireceği yük, tasarım esnasında dikkatle değerlendirilmelidir. Çeşitli çamur arıtma sistemlerinin işletme verimleri Tablo 3.2.'de özetlenmiştir.

3.3 Yoğunlaştırma

Çamurun akışkan özelliklerini sabit tutup, çamurdaki su miktarını azaltmak için kullanılır. Temelde üç tip yoğunlaştırma vardır:

1. Gravite ile yoğunlaştırma : Birincil ve ikincil çamurları yoğunlaştırmak için kullanılır.
2. Yüzdürme : Aynı amaçla fakat ikincil çamurun yoğunlaşması için kullanılır.
3. Santrifüj : Evsel çamurlar için çok yaygın olmayan bir uygulamadır.

Tablo 3.2. Çamur Arıtımında Kullanılan Temel İşlem ve Proseslerin Verimleri
(Eroğlu, V., 1988)

Çamur Arıtma Sistemi	Çamur Cinsi	Ham Çamurda % AKM	Aritılan Çamurda % AKM	BOI ₅	Su Fazı AKM
Yoğunlaştırıcı	Ham (primer)	3-6	8-10	160-600	300-1000
Yerçekimli	Ham+fazla aktif	2-5	4.5-8.5	166-600	300-800
	Fazla aktif	0.5-1.2	2.5-3.5	100-400	200-600
Çözünmüş Hava ile Yüzdürme	Fazla aktif	0.5-1.2	2-4	160-600	400-1000
Santrifüj	Fazla aktif	0.5-1.2	2-6	50-500	100-1000
Stabilizasyon					
Aerobik	Yoğunlaştırılmış Karışık	3-8.5	-	100-1000	1000-10000
Anaerobik	Yoğunlaştırılmış Karışık	3-8.5	-	1000-10000	3000-15000
Suyunu Alma	Kimyasal şartlandırma (çürütülmüş)	3-8	15-25	500-5000	1000-20000
Vakum Filtre	Kimyasal şartlandırma (çürütülmüş)	3-8	20-25	500-4000	1000-15000
Filtrepres	Kimyasal şartlandırma (çürütülmüş)	3-8	10-35	1000-10000	2000-15000
Santrifüj	Kimyasal şartlandırma (çürütülmüş)	3-8			

3.3.1. Gravite İle Yoğunlaştırma

Çamurun yoğunlaştırıcı içindeki çökelme hareketine dayanır. İşletilmesi basit olduğu için yerçekimi ile çamur yoğunlaştırma oldukça fazla tatbik alanı bulmuştur. Tablo 3.3.'de yoğunlaştırıcılardaki katı madde içerikleri ile katı madde yükleri görülmektedir.

Yoğunlaştırma çamurun hacmini azaltılması için içindeki suyun giderilmesi olarak tanımlanabilir. Ancak, yoğunlaştırılmış çamurlar genelde % 4 ila % 6 katı madde içerirler ve halen akışkandır. Yoğunlaştırma sayesinde ileri arıtma gerektiren çamurların hacmi azaltılarak ilk yatırım ve işletme maliyetleri azaltılır. Yoğunlaştırıcılar gelen çamurların debi ve salınımlarını düzenler. Ayrıca anaerobik stabilizasyondan önce kullanılması durumunda çürütücü verimini ve gaz üretimini artırırken, ısıtma gereksinimini ve bakım masraflarını azaltır. Buna karşın koku problemine sebep olabilirler. Çamur bayatlayacağı için şartlandırma için gereken kimyasal gereksinimi artabilir. Ayrıca oluşturduğu üst suyu (süpernatant) genellikle geri devredildiği için arıtma sistemine ek bir yük getirir.

Tablo 3.3. Yoğunlaştırıcılardaki Katı Madde İçerikleri ile Katı Madde Yükleri

Çamur Çeşidi	Katı Madde Muhtevası		Katı Madde yükü kg/m ² .gün
	Yoğunlaş. Önce	Yoğunlaş. Sonra	
Ön Çöktürme Çamuru	2.5-10	5-12	100-150
Fazla Aktif Çamur	0.5-2.5	1.5-4.0	20-40
Damlatmalı Filtre Çamuru	1.0-8.0	4.0-10	40-50
Karışık Çamur (Ön çök+aktif çamur)	2.5-10	3-10	40-80
Karışık Çamur (Ön çök + damlatmalı filtre)	4.0-10	4.0-10	60-100

3.3.2 Yüzdürme Yoğunlaştırma

Atıksu çamuru bazen çok hafif olabilir. Bu sebeple yerçekimi ile çökelebilmeleri zor olur. Örneğin aktif çamur flokları 1.08'den daha az yoğunlukta olabilirler. Bu tip çamurların yüzdürülmesi suretiyle sıvıdan ayrılması daha kolaydır.

Yüzdürme ile yoğunlaştırma aktif çamur floklarını yoğunlaştırmak için kullanılmaktadır. Flotasyon ünitesi, basınç altında çözünmüş hava gerektirmektedir. Bu hava ile sisteme giren sulu çamur karıştırılır. Basınç kesildiği zaman çamur partiküllerini tutan hava kabarcıkları yukarı doğru yükselirler. Yüzdürmeyle yoğunlaştırma suretiyle aktif çamurların konsantrasyonunun % 6.5'a kadar çıkarılması mümkündür.

Hemen hemen bütün uygulamalarda yoğunlaştırılan çamur, polielektrolit gibi kimyasallar ile şartlandırılır.

3.3.3 Santrifüj İle Yoğunlaştırma

Gravite ve flotasyon ile yoğunlaştırma 'da olduğu gibi santrifüj ile katıyı sıvıdan ayırma işlemi de yoğunluk baz alınarak yapılır. Bu yöntemin farkı, gravite ile

yoğunlaştırma kullanılırken, santrifüj yerçekimi kuvvetinin 1000 katı daha fazla güçle çalışmaktadır.

Çamur yoğunlaştırmada iki tip santrifüj kullanılır.

1.Solid Bowl Santrifüj

2.Deliksiz Sepet tip Santrifüj

Solid Bowl Santrifüjlerin işletimi sürekli olup, yatay eksenli ve bir uçtan daralan, uzun bir gövdeye sahiptir. Çamur üniteye sürekli olarak verilir ve katılar gövdenin etrafında yoğunlaşır. Gövde içinde farklı hızlarla dönen helezonik kıvrımlardan oluşan yatay bir mil dönerek çamurun, daralan uç kısma doğru hareket edip, çamurun orada yoğunlaşmasını sağlar. Burada biriken yoğunlaşmış çamur daha sonra dışarı alınır.

Deliksiz sepet Tip Santrifüj kesikli çalışan bir sistemdir. Sıvı çamur, düşey monte edilmiş döner bir gövde (havuz) içine verilir. Katılar havuzun duvarına doğru birikir ve süzüntü suyu dışarı alınır. Sistemin çamur tutma kapasitesi maksimum derinliğin % 60 ila % 85'i olduğundan gövdenin hızı düşer ve gövdeye (havuz) yerleştirilmiş bir sıyırıcı ile biriken katılar sistemden uzaklaştırılır.

Normal şartlar altında, santrifüj ile yoğunlaştırmada, yoğunlaştırma işlemi polimer ilavesiz gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerin bakım ve enerji maliyetleri yüksektir. Bu sebeple, proses sadece kapasitesi $0.2 \text{ m}^3/\text{sn}$ ' den fazla, kalifiye elemanı mevcut ve alanı sınırlı olan veya diğer konvansiyonel çamur yoğunlaştırma prosesleri ile çamur yoğunlaştırmanın zor olduğu büyük tesislerde kullanılır.

3.4 Çamur Stabilizasyonu

Çamurun stabilizasyonu, çamurda bulunan patojenleri, organik maddeleri dolayısıyla kokuyu azaltan bir prosestir. Patojen azaltımı yüksek ısılarda veya uygun kimyasal koşullarda (yüksek pH) patojenleri öldürmek suretiyle gerçekleştirilebilir. Patojen azalımı, mikrobik gelişmeleri desteklemeyecek şekilde çamur yapısını değiştirerek sağlanır. Evsel çamurların stabilizasyonu anaerobik, aerobik çürütme, kompostlaştırma ve kimyasallar ile yapılır.

Çamur stabilizasyon uygulamaları 100 yıldan daha fazla bir sürede uygulandığı, atıksu arıtma tesisinin maliyetinin büyük bir kısmını oluşturduğu halde stabilizasyon ile ne kastedildiği tam olarak anlatılamamıştır.

Atıksu çamuru başlıca dört temel problem doğurur :

1. Koku yapabilirler.
2. Patojenik organizma bulundurabilirler.
3. Kimyasal toksin içerebilirler.
4. Susuzlaştırılması zor veya pahalı olabilir.

Stabilizasyon, çamurun bu özelliklerin iyileştirilmesi olarak tanımlanır.

Çamur stabilize yöntemi de önemlidir. Örneğin anaerobik çürütücüde bazı bileşiklerden toksin üreyebilir. Patojen azaltımı mikrobik gelişmeleri desteklemeyecek şekilde çamur yapısını değiştirerek sağlanır. Bu ayrıca koku ve çürüme potansiyelini de azaltır.

Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca parametreler şunlardır:

- Uçucu katılar
- Filtrata ait BOI_5 değeri
- Depolama ile BOI_5 'deki artış
- Oksijen kullanımı
- Gaz üretimi
- Uçucu asitler
- pH değişikliği
- ATP, DNA ve enzimatik aktiviteler.

Yukarıdaki parametrelerin hepsi indirekt ölçülerdir. Mesela yüksek uçucu katı maddeli çamurlar kokarlar. Böylece uçucu katılar ölçüm stabilitesinin bir parametresi olarak kullanılabilirler.

Ham çamurların atılması veya kullanılması koku, patojenler, toksinler, az susuzlaştırılabilme olmak üzere dört problem yaratır.

Koku ; Çamur stabilizasyonu organik maddeyi dolayısı ile kokuyu azaltmak için yapılır. Anaerobik çürütme metan üretir, toplam çamur kütlesinin ve koku

seviyesinin azalmasını sağlar. Kötü koku üretmeyen aerobik çürütücüler, düşük AKM, BOI_5 ve NH_3 konsantrasyonlarına sahip süpernatant oluştururlar.

Patojenler ; Patojenlerin varlığının göstergesi olarak E.coli kullanılır. Esasında E.coli kirliliğin göstergesi olarak isimlendirilir. Çamurlarda genelde patojen bulunur fakat E.coli bulunmayabilir. Bu yüzden bu organizmalar patojen miktarının tahmini için uygun bakteri değildirler.

Toksin ; İnorganik ve organik olarak bilinen iki önemli toksin tipi mevcuttur. İnorganikler içinde ağır metallerin yeri çok büyüktür. Ölçümleri, atomik adsorbsiyon spektrofotometri veya diğer analitik yöntemlerle yapılır.

Susuzlaştırılabilirlik; Susuzlaştırma üç mekanizmadan biri ile yapılır :

1. Filtrasyon,
2. Santrifüj
3. Buharlaştırma

Tablo 3.4'de Çamur stabilizasyon işleminin etkileşimleri gösterilmektedir.

3.4.1 Çamur Stabilizasyon Yöntemlerinin Tanımı

3.4.1.1 Anaerobik Çürütme

Anaerobik çamur çürütme en eski biyolojik atıksu arıtma yöntemlerinden biridir. Günümüzde, enerji korunumu ve geri kazanımı sayesinde, atıksu çamurunun faydalı kullanılması sebebiyle, anaerobik çürütme prosesi hala en önemli çamur stabilizasyon prosesidir.

Anaerobik Çürütücünün prosesi mikroorganizma sayısının etkisine bağlıdır. Proses aşağıdaki gibi karakterize edilir:

Ham çamur organik katılar → Çok hücreli enzimler → çözülmüş organik katıların üretimi → Organik asitler → Metan former üretimi → Metan, karbondioksit v.b.

Bekletme süresi en az 10 gün olmalıdır. Genelde 20 ila 60 gün arasında değişir. PH değeri 6'nın üstünde kalmalıdır. CO_2 çok önemli bir parametredir. % 25'in altına inmesi ve % 45'in üstüne çıkması tehlike yaratabilir.

Tablo 3.4. Çamur Stabilizasyon İşleminin Etkileşimleri

Metod	Etkileşim			
	Koku Azaltma	Patojen Bozulması	Toksin Giderimi	Susuzlaştırılabilirlik
Anaerobik Çürütücü	+	+	***	+
Aerobik Çürütücü	+	+	0	+
Kireç(Ca(OH) ₂) Arıtımı	+	+	***	+
Kireçtaşı (CaO)	+	++	***	+
Kompost laştırma	+	+	0	uygulanamaz
Lagünler	0	+	0	+
Klorlama	+	++	0	+
Pasterizasyon	-	++	0	+
Kurutma	++	++	0	uygulanamaz
Yakma	++	++	0	uygulanamaz

0= etkili değil, += etkili, ++= çok etkili,

* Sadece kum yataklarında

** Supernatant giderimi

*** Çözücü metalin azaltımı

Sıcaklık diğer önemli bir parametredir. Mikroorganizmalar performanslarına göre iki gruba ayrılmışlardır. 27-43 C arasında kalanlar mezofilik, 45-65 C arası termofilikdir.

Anaerobik çürütücü metan üretir, toplam çamur kütlesinin koku ve seviyesinin azalmasını sağlar. Anaerobik çürütücü ile toprak şartlandırıcısı olarak

kullanılabilecek katı atık üretmek mümkündür. Ayrıca anaerobik çürütme patojenleri etkisiz hale getirir. Buna karşın yüksek sermaye maliyeti vardır ve bozulmalara karşı hassastır. Tablo 3.5’de tipik anaerobik çürütücü dizayn kriterleri verilmiştir.

Tablo 3.5. Tipik Anaerobik Çürütücü Dizayn Kriterleri

Parametre	
Katı madde bekleme zamanı (gün)	10 - 20
Katı madde yüklemesi (kgUAKM/m ³ /sn)	0.021 - 0.055
Hacim Kriteri (m ³ /kişi)	
Birincil Çamur	0.8 – 1.
Birincil Çamur + Filtre Çamuru	0.8 - 1
Birincil Çamur + Aktif Çamur	0.8 - 1.2
Çürütücü altakiş konsantrasyonu (kg/m ³)	1.2 – 1.8

Anaerobik çamur çürütme olarak en yaygın kullanılan prosesler standart hızlı, tek kademeli yüksek hızlı, iki kademeli ve ayrı çürütücülerdir. Bu prosesler normalde 30-38 °C’ de mezofilik sıcaklıklarda işletilir. Termofilik çürütme üzerinde de çalışmalar mevcuttur.

Standart Hızlı Çürütme : Bu proses genellikle tek kademeli olarak uygulanır. Çürütme, çamur yoğunlaştırma ve supernatant (sıvı kısım) oluşumu aynı anda gerçekleşir. Tek kademeli bir çürütme tesisinde ham çamur, çürümenin ve gaz oluşumunun gerçekleştiği bölgeye verir. Bu sırada çamur dışarıdan bir ısıtıcı ile ısıtılır. Çürüyen çamurlardan dışarı çıkan gaz yukarıya doğru yükselirken, yağ, gres, köpük gibi çamur partikülleri ve diğer maddeleri de beraberinde götürür. Bu şekilde en üstte yüzücü maddelerin (yağ, köpük, gres) meydana getirdiği bir tabaka oluşur. Bu tabakanın altında, sıvı kısmın oluşturduğu bir tabaka yer alır. Daha ağır ve çökebilen maddelerden meydana gelen ve çürümekte olan çamurlar ise daha altta yer alırlar. Tabanda ise çürümüş ve konsantre hale gelmiş çamurlar toplanır. Tabakalaşma (katmanlaşma) ve sınırlı karıştırma sonucu, standart hızlı tek kademeli çürütücünün hacmi ancak %50’si kullanılmaktadır. Bu tür sınırlamalar sebebiyle standart hızlı bu proses daha çok küçük sistemlerde kullanılmaktadır.

Tek Kademeli Yüksek Hızlı Çürütme : Tek kademeli yüksek hızlı çürütme prosesinde standart hızlı tek kademeli çürütücüden farklı olarak katı yükleme hızı oldukça yüksektir. Çamur, mekanik karıştırıcılar ile veya basınçlı çürümüş gazın geri devrilmesi suretiyle karıştırılır ve optimum çürütme hızına ulaşana kadar ısıtılır. Yüksek yükleme hızı ve karışımın daha iyi sağlanması haricinde, tek kademeli yüksek hızlı karıştırıcı ile konvansiyonel iki kademeli ön çürütücü arasında, hemen hemen fark bulunmamaktadır. Bu proseste karıştırma elemanları oldukça büyük kapasiteye sahip olmalı ve tank tabanına kadar ulaşabilmelidir ve hatta eğer uygulanabilirse tank, karıştırma prosesini sağlayacak derinlikte olmalıdır.

Reaktördeki sabit koşulları sağlamak için çamur, çürütücüye sürekli olarak ya da bir zaman rölesi yardımıyla 30 dk ile 2 saatlik çevrimlerle pompalanmalıdır. Yüksek hızlı çürütücüde supernatant ayrımı yoktur ve toplam katı madde % 45 - 50 arasında ayrıştırılarak ortaya çıkan gaz kullanılmak üzere dışarı alınır. Bu şekilde çürümüş çamur, ham çamurun yarısı kadar konsantre edilmiş demektir. Çürütme tankları, yüzer veya sabit kapaklı olabilir. Yüzer kapakların hepsi veya bir kısmı, fazla gazı depolama kapasitesine sahiptir. Çürüyen çamurlardan dışarı çıkan gaz, yükselerek bu kapakta toplanır. Bir diğer alternatif olarak, ortaya çıkan gazın bir toplama tankında depo edilmesi veya sıkıştırılıp basınç altında depolanmasıdır.

İki Kademeli Çürütme : Tek kademeli basit çürütücülerde taze çamur ile çürümüş çamur nispetlerini ayarlamak zordur. Böyle tesislerde sıvı kısım ve çamur iyi bir şekilde birbirinden ayrılmaz. Yani sıvı kısım ile birlikte bir miktar çamur da gidebilir. Ayrıca devamlı karıştırmak gerektiğinde çamur giriş ve çıkışında güçlükler olur. Bu sebeple büyük tesislerde, yüksek hızlı çamur çürütücü, 2. bir çürütme tankı ile seri olarak bağlanır. Bu şekilde anaerobik çürütme ile yoğunlaştırma ve depolama fonksiyonları birbirinden ayrılır. İlk tank yüksek hızlı anaerobik bir çürütme yapısı olup, çamur çürütme için kullanılır. Optimum bakteriyel ayrışmanın gerçekleşebilmesi için ısıtılır. Karıştırma işlemi, çamur sirkülasyon pompası ile, mekanik statik mikserler ile, mekanik karıştırıcılar ile ya da bir veya birkaç statik mikser veya tabana monte difüzörler kullanılarak basınçlı çürütme gazının geri devrettirilmesi yolu ile sağlanır. Yüksek hızlı çamur çürütücülerde, sürekli karışım sebebiyle, çürümüş çamurun dinlenmesi ve sıvı kısmın çamurdan ayrılması mümkün değildir. Bu sebeple ikinci bir çürütme kademesine ihtiyaç vardır. Bu ikinci tank, depolama, çürümüş çamurun yoğunlaştırılması ve nispeten berrak bir sıvının

oluşması için kullanılır. Bu çürütücü yüzer kapaklı olur. İklim ve birinci kademedede elde edilen stabilizasyona bağlı olarak ekseriye ısıtılmaz. Çürümüş çamurların bir kısmı taze çamurları aşlamak için kullanılırken (geri devrettirilirken), fazlası drenaj yatakları üzerinden kurutulmak üzere sistemden dışarı alınır.

Ayrı Çamur Çürütme : Bir çok arıtma prosesinde, biyolojik ve ön çökeltim çamuru karışımının çürütülmesi için aynı anaerobik tank kullanılmaktadır. Bu sistemlerde anaerobik koşullar altında reaksiyon hızı biraz daha yavaştır. Son zamanlarda yapılan bazı dizaynlarda, ön çökeltim çamuru ve biyolojik çamurun çürütülmesi işlemi birbirinden ayrılmıştır. Bazı durumlarda biyolojik çamurlar anaerobik yerine aerobik olarak çürütülmektedir. Ayrı olarak çürütme işleminin kullanım amacı şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Çürütülmüş ön çökeltim çamuru için çok iyi susuzlaştırma özellikleri elde edilir.
- 2) Çürütme prosesi, atılan çamura belli bir biçim verir.
- 3) Optimum proses kontrol koşulları sağlanır. Biyolojik çamurun ayrı olarak anaerobik arıtımı için dizayn kriterleri ve verimi ile ilgili veriler oldukça sınırlıdır.

3.4.1.2 Aerobik Çürütme

Anaerobikteki bütün olumsuz noktalardan kaçınılabilir. Fakat metan gibi enerji kaynaklarının üretimi bu sistemlerde söz konusu değildir. Çoğunlukla fazla aktif çamur için kullanılır. Aerobik çürütmenin anaerobik çürütmeye göre avantajları şunlardır:

1. Uçucu katı madde giderimi, anaerobik çürütmedeki giderime hemen hemen eşittir.
2. Supernatanttaki BOI konsantrasyonu daha düşüktür.
3. Humusa benzer, kokusuz, biyolojik olarak stabil olmuş son ürün oluşur.
4. Çamurdaki gübre değerlerinin geri kazanımı daha yüksektir.
5. İşletimi nispeten daha kolaydır.
6. İlk yatırım maliyeti düşüktür.

Dezavantajları ise şöyle sıralanabilir:

1. Gerekli oksijeni sağlamak için enerji maliyeti yüksektir.
2. Proses, sıcaklıktan, yerden, tank malzemesinin özelliklerinden önemli derecede etkilenmektedir.

3. Metan gibi faydalı yan ürünler, geri kazanılmamalıdır.

Aerobik çürütücü katı bekleme zamanının bir fonksiyonudur. Geri döngüsü olmayan tanklarda hidrolik bekletme süresi ile katı bekleme zamanı aynıdır.

Aerobik çürütme yoğunlaşmış çamur ile sıvının ayrıldığı bir ünedir. Kötü koku üretmeyen aerobik çürütücüler, düşük AKM, BOI₅ ve NH₃ konsantrasyonlarına sahip düşük supernatantlar oluşturur, iyi susuzlaşmış karakterde çamur üretir. Bu sistemler, patojen miktarlarını azaltır, anaerobik sistemlerle yaklaşık eşit miktarlarda uçucu katı madde giderimi sağlar ve ayrıca çamurdaki yağ ve çözünmüş hekzanların azaltılmasında etkili olur. Bu avantajlarına karşın aerobik çürütücülerin oksijen takviyesi için yüksek enerji maliyetleri söz konusudur. Mekanik susuzlaştırma için son derece zayıf karakteristikli çürümüş çamur üretirler. Bu tip sistemlerde sıcaklık, konum, tank imalatında kullanılan malzemenin türü performansı etkiler. Ayrıca aerobik çamur çürüdükten sonra kolayca susuzlaşmaz. Anaerobik çürütücülerin tasarımında gözönünde bulundurulması gereken faktörler sıcaklık, katı madde giderimi, hidrolik bekletme süresi, oksijen ve karıştırma için enerji gereksinimidir. Aerobik çürütme için tipik dizaynı değerleri Tablo 3.6' da verilmiştir.

3.4.1.3 Kireç Stabilizasyonu

Kireç Stabilizasyonu düşük maliyetli, susuzlaştırılması kolay çamur üreten, tekil bir prosestir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı kireç ilavesiyle kimyasal olarak kararlı olmayan ve daha fazla kütleye sahip çamur çıkarır. Dolayısıyla kireç stabilizasyonu daha yüksek ulaşım ve uzaklaştırma maliyetlerini gerektirir.

3.4.1.4 Yüksek Sıcaklıkta Kireç Stabilizasyonu

Kirecin yüksek sıcaklıkta stabilizasyonunda pH ve sıcaklığı arttırmak için çamura kireç katılır. PH ayarlaması kirecin alkali yapısına bağlı olarak yapılabilmektedir. Sıcaklığın artması ise kirecin çamurdaki su ile karıştırılması veya bir tür ekzotermik reaksiyon olan kirecin hidrasyonu sonucudur. Bu amaçla iki yöntem izlenir: ya kireç tek başına sıcaklığı arttırmak için kullanılır ya da çamurun sıcaklığı kirece ek olarak elektrik ısısıyla arttırılır. Bu iki yöntem de yüksek derecede stabilize çamur üretilmesini sağlayacak niteliktedir.

Yüksek sıcaklıkta kireç stabilizasyonu son derece güvenilir bir prosestir. Kireç stabilizasyonu daha optimum maliyetler sağlamakta, daha az kireç sarfederek daha az çamur üretmektedir. Fakat daha fazla kimyasal madde ve daha büyük alan gerektirmektedir, açık proses koku problemini gündeme getirir.

Tablo 3. 6. Aerobik Çürütme İçin Dizayn Değerleri

Parametre	Değerler
Hidrolik Bekletme Süresi (20 °C), gün ^b	
Sadece Aktif Çamur İçin	10 - 15
Ön Çökeltimsiz Aktif Çamur	12 - 18
Ön Çökeltim + Aktif Çamur veya damlatmalı Filtre Çamuru ^c	15 - 20
Katı Madde Yükleme Hızı, kgUAKM/m ³ .gün	1.6 - 4.8
Oksijen İhtiyacı, kg O ₂ /kg (giderilen katı madde hücre dokusu) ^d	~ 2.3
Ön Çökeltim Çamurundaki BOI ₅	1.6 - 1.9
Karıştırma İçin Enerji gereksinimi	
Mekanik Aeratorler, kW/10 ³ .m ³	19.8 -39.5
Difüzörlü Hava İle Karıştırma, m ³ /m ³ .dak.	0.02 -0.04
Sıvıdaki Kalıntı Oksijen Miktarı, mg/l	1 - 2
Uçucu Katı Madde Miktarındaki Azalma,%	40 - 50

^b 20 °C' nin altındaki sıcaklıklarda bekletme süresi arttırılmalıdır.

^c Aynı bekletme süreleri sadece ön çökeltim çamuru için de kullanılır.

^d Karbonlu maddelerin nitrata oksidasyonu esnasında üretilen amonyak

3.4.1.5 Isıyla Kurutma

Isıyla kurutma, çamurdan suyun ısısal yollarla buharlaşması prosesidir. Bu tür kurutma işleminde sıcaklık, suyu buharlaştıracak düzeyde olmasına rağmen organik maddeyi uzaklaştırmaya yetecek kadar yüksek değildir. Bu gibi koşullar sıcaklığın % 80'ine erişildiğinde ve nem % 10'un altına indirildiğinde sağlanır.

Bu tip proseste % 98'lere varan katı madde elde edilmektedir. Nihai ürün toprak şeklindedir. Temassız kurutmada öğütücü çamur geri çevrimi gerekli değildir ve gaz

emisyonları azaltılmıştır fakat kondanse sularının oluşturduğu yan akıntılar mevcuttur. Temaslı kurutmada ise öğütücü çamur geri çevrimi gereklidir ve bol miktarda gaz emisyonları bulunmaktadır.

3.4.1.6 Yakma

Bir yakma sisteminin amacı tüm uçucu katıları yok ederek yakıt yardımı ile ısı açığa çıkarmak ve bunu gerçekleştirirken yanma ve ısınma prosesleri ile ilgili sorunları en aza indirmektedir. Yakma önce kurutma daha sonra da yanmadan oluşan iki adımlı bir oksidasyon prosesidir. Kurutma, genellikle yakmadan önce yapılan ön susuzlaştırma işlemi ile karıştırılmamalıdır. Girişteki çamur keki normalde % 55-85 su içerir. Kekin nem oranı % 50'nin altına düşürülmediği sürece yanması mümkün değildir. Çamurun yakılmasının genel olarak 4 adımda gerçekleştiğini söylemek mümkündür:

- Genel çamur sıcaklığının 100 °C'ye çıkarılması
- Çamur suyunun buharlaştırılması
- Su buharı ve hava sıcaklığının yükseltilmesi
- kurumuş çamur uçucuları sıcaklığının ateşleme noktasına kadar arttırılması

Yakma, fırın içinde değişen zamanlarda, sıcaklıklarda ve yerlerde meydana gelen ısı ve kimyasal reaksiyonları içeren karmaşık bir prosestir. Çamurun yakılması ile açığa çıkan ısı, enerji üretimi, mekanik ekipmanlara enerji temini veya elektrik üretimi ile değerlendirilebilir. Çok gözlü fırınlar, akışkan yataklı fırınlar genellikle tercih edilen yakma fırınlarıdır.

Yakma steril, kokusuz ve inorganik atık üreten bir prosestir. Organik kirleticiler klorlu hidrokarbonlar dahil olmak üzere etkili olarak yok edilirler. Hacimde maksimum azalma sağlanmış olur. Bunlara karşın, yüksek ilk yatırım, işletme ve bakım masrafları gerektirir. Ayrıca sisteme giriş çamuru iyi susuzlaştırılmış olmalıdır.

3.4.1.7 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, termofilik bakterilerce organik maddelerin nispeten stabil, humusa benzer son ürünlere dönüşümü için, aerobik olarak parçalanması ile sağlanan bir

stabilizasyon prosesidir. Çamurun, bazı yardımcı maddelerle karıştırılarak, daha iyi havalandırma sağlamak üzere porozitesi artırılır, nem oranı azaltılır ve C/N oranı yükseltilir. Çoğunlukla her üç amaç tek bir madde ile sağlanır, örneğin; saman, ağaç yongası, pirinç kabuğu veya evsel katı atıklar gibi. İlaveten pek çok kompostlaştırma işleminde, bir miktar önceden kompost haline dönüşmüş malzeme de kullanılır. Kompostlaştırma proseslerinin çoğunda kompostlaştırma işleminin sonunda elde edilen ürünün bir bölümü prosese geri döndürülerek tekrar kullanılır. Buna göre kompostlaştırma çamurların azaltılması ve geri kazanımı ile ilgili olarak uygulanabilecek bir yöntemdir.

Kompostlaştırma işleminde mikroorganizmalar, aerobik olarak organik maddeleri karbondioksit ve suya ayrıştırır. Çağdaş kompostlaştırma sistemlerinde, optimum nem ve oksijen konsantrasyonunu sağlamak ve sıcaklığı denetlemek için mekanik havalandırma ve karıştırma kullanılır. Kompost karışımının içinde meydana gelen biyolojik aktivite ısı üretir ve üç gün süre ile sıcaklık 55 °C de tutularak ileri seviyede patojenik stabilizasyon sağlanır. Uçucu katıların yaklaşık % 20-30'u karbondioksit ve suya dönüştürülür. Doğru bir şekilde işletildiği takdirde kompostlaştırma sırasında ulaşılan yüksek sıcaklıklar tüm patojen ve parazitlerin ortadan kaldırılmasını sağlar. Bununla birlikte, bu organizmaların yeniden üremesi de olasıdır. Uçucu katıların ve suyun proses sırasında giderilmesine karşın kompost hacmi, kompostlaştırmada katkı maddesi ilavesi ve kompostun düşük yoğunlukta oluşu nedeniyle daha büyüktür.

Kullanılan kompostlaştırma sistemlerinin yaygın olan üç tipi vardır.

1. Havalı Statik Kümeler
2. Windrow
3. Kapalı Sistemleri

Havalı Statik Yığın : Havalı statik kümeler üzerine susuzlaştırılmış çamurun yerleştirilmiş olduğu havalandırma ızgarasından veya hava borusundan oluşur. Tipik statik küme sisteminde kabartıcı maddeler döner tambur veya değirmen tip mikserlerle susuzlaştırılmış çamur ile karıştırılmış talaşlardan oluşur. Malzeme 21 ile 28 günde kompostlaştırılır, daha sonra 30 gün ya da daha uzun süre olgunlaşmaya bırakılır. Tipik küme yükseklikleri yaklaşık 2-2.5 m dir. Izgaradan geçirilmiş kompost tabakası, genellikle yalıtım için kümenin üstüne konur. Oluklu plastik drenaj borusu genellikle hava temin etmek için kullanılır ve her bir kümenin etkin bir

havalandırma kontrolü için özel blowerlara sahip olması tavsiye edilir. Olgunlaşmış kompostun elenmesi, genellikle nihai uzaklaştırma gerektiren son ürün miktarını azaltmak için ve kabartıcıların geri kazanılması için yapılmaktadır. Proses kontrolü için bir çok yeni tesislerin önemli bir kısmının ya da tamamının üzeri örtülmüştür.

Windrow : Windrow sistemlerde, karıştırma ve eleme işlemleri havalı statik küme sistemindeki gibidir. Windrow'lar 1 ila 2 m yüksekliğinde ve 2 ila 4.3 m taban genişliğinde kümelenir. Bu kümeler kompostlaştırma süresi boyunca periyodik olarak karıştırılır. Bazı uygulamalarda mekanik havalandırma kullanılır. Tipik işletme koşullarında, windrow'lar 55 °C ya da üstü sıcaklık sağlandığı zaman en az 5 defa aktarılırlar. Windrow'ların karıştırılması esnasında rahatsız edici kokular serbest kalır. Kompostlaştırma süresi 21 ila 28 gündür. Son yıllarda, çamuru ve kabartıcı maddeleri aktarmak için özel ekipmanlar geliştirilmiştir. Bazı windrow'ların üstü havalı statik kümelerde olduğu örtülmektedir.

Kapalı Kompostlaştırma Sistemi : Kapalı tank içinde kompostlaştırma sistemleri kapalı hücre veya reaktörlerde gerçekleştirilir. Mekanik sistemler kokuyu minimize etmek ve hava debisi, sıcaklık, ve oksijen konsantrasyonu gibi çevresel koşulları kontrol altına almak suretiyle proses zamanını kısaltmak için dizayn edilmişlerdir. Kümeler genellikle homojenliği sağlamak ve mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu besin maddelerine ulaşımını sağlamak üzere karıştırılmaktadır. Sıcaklık ve nem kontrolü de uygulanmaktadır. Kapalı reaktör içinde kompostlaştırma sistemleri koku kontrolü sağlar; proses hızlıdır; işçilik maliyeti düşüktür ve alan ihtiyacı azdır.

Kapalı reaktör içinde kompostlaştırma sistemleri, piston akımı ve dinamik (karıştırılmış yatak) olmak üzere 2 ana kategoriye ayrılır. Piston akımlı sistemlerde, kompost kütlesindeki partiküller arasındaki ilişki proses boyunca aynı kalır ve sisteme ilk giren ilk çıkar prensibi ile çalışır. Dinamik sistemlerde ise, kompost malzemesi proses esnasında mekanik olarak karıştırılmaktadır.

Kompostun bir miktar gübre değeri vardır ancak çoğunlukla toprağın organik içeriğinin ve nem tutma potansiyelinin arttırılmasında kullanılır. Son ürün genellikle satışa sunulur.

Kompostlaştırmanın geçerli bir çamur arıtma alternatifi olabilmesi için aşağıdaki kriterlerin sağlanması gerekmektedir.

- (i) Son ürün patojen içermemelidir.
- (ii) Değerlendirilebilir bir ürün ortaya çıkarmalıdır.
- (iii) Güvenilir olmalıdır.
- (iv) Enerjiyi verimli kullanmalıdır.
- (v) Optimum maliyette olmalıdır.
- (vi) Estetik olarak kabul edilebilir olmalıdır.

Atıksu çamurlarının kompostlanmasında temel husus patojenlerin imha edilmesi olmalıdır. Uçucu katı maddelerin ayrışması ve koku kontrolüne karşı stabilizasyon bu nedenle birinci önem sırasında, ortaya çıkacak nihai malzemelerin değerlendirilmesi de ikinci sırada gelmektedir.

Kompostlaştırmaya karar verme aşamasındaki en önemli hususlardan ve ekonomik faktörlerden biri nihai ürün için uygun bir pazarın var olup olmadığıdır. Üretilen malzemenin yararı, faaliyetin bulunduğu yere, ağır metal içeriğine ve diğer yerel kompost kullanımlarına bağlıdır. Kompostlar parkların oluşturulmasında, bozulmuş veya işlenmiş arazilerin yeniden bitkilendirilmesinde, sebze ve meyve yetiştirilmesinde, bahçecilik ve fidanlık mahsullerinde, özellikle ABD ve İskandinav ülkelerince uzun yıllardır uygulanmaktadır.

Avantajları;

- * Özellikle sınırlanmamış kompost sistemleri (havalandırılmış yığınlar) düşük maliyette arazi bulunabilirse son derece ekonomiktir.
- * Yatay sistemler sınırlanmamış sistemlere göre daha az yer gerektirirken, dikey sistemler arazi kullanımında en verimli olan sistemlerdir.
- * Dikey sistemlerdeki kapalı reaktörlerde koku tutulur ve kontrol edilir.
- * Dikey sistemler yatay sistemlerden daha az düzeltme gerektirir.

Dezavantajları;

- * Kompostlaştırma büyük hacimli bir nihai ürün ortaya çıkarır.
- * Sınırlandırılmamış sistemler geniş alan gerektirmektedir.
- * Sınırlandırılmamış sistem işletimi mevsimsel koşullardan etkilenir.
- * Yatay sistemler ve “windrow” sistemlerde koku problemi ile karşılaşılabilir.

* İşletilen ekipmanlar nedeniyle yatay ve düşey sistemlerde ilk yatırım maliyetleri yüksektir.

3.5 Şartlandırma

Çamur, susuzlaştırma özelliklerinin iyileştirilmesi için şartlandırılır. Bu amaçla kimyasal ve fiziksel prosesler tatbik edilir. Kimyasal metotlarla organik ve inorganik flokülant maddeler ilave edilir. Fiziksel metotlardan ısıtma ve dondurma işlemleri yapılır. En çok kullanılan iki yöntem kimyasal madde ilavesi ve ısıl işlemdir. Dondurma, radyasyon, uygulama ve solvent ekstraksiyonu gibi diğer metotlar henüz araştırma aşamasındadır. Elutrasyon, günümüzde pratikte nadiren kullanılan, fiziksel bir yıkama işlemidir ve kimyasal şartlandırma gereksinimlerini azaltmada kullanılır.

3.5.1 Kimyasal Şartlandırma

Kimyasal maddelerin susuzlaştırma amacıyla şartlandırmada kullanımı, susuzlaştırma verimini artırması ve uygulamada sağladığı esneklik sebebiyle oldukça ekonomiktir. Kimyasal şartlandırma, arıtılan çamurun yapısına bağlı olarak ham çamurun % 90 ila 99' luk nem muhtevasını, % 65 ila % 85' e düşürür. Kimyasal şartlandırmada, katı maddelerin koagülasyonu gerçekleşir ve absorblanmış su açığa çıkar. Şartlandırma vakum filtrasyonu, santrifüjleme, belt filtre pres, basınçlı filtre pres gibi mekanik susuzlaştırma sistemlerinden önce kullanılır. Kimyasal madde olarak; (FeCl_3), kireç, alum (Aluminyum sülfat) ve organik polimerler (polielektrolit) kullanılır. Şartlandırıcı kimyasalların çamura ilave edilmesi çamurun katı madde ihtivasını artırır. Polimerler katı madde muhtevasını önemli derecede arttırmakla beraber, demir tuzları ve kireç katı madde muhtevasını % 20 ila 30 oranında artırmaktadır. Kimyasal maddeler sıvı formda daha kolay bir şekilde uygulanır ve ölçülür. Eğer kimyasallar toz halinde geliyorsa, çözelti hazırlama tanklarına gerek duyulur. Bir çok tesiste, bu tanklar en az bir günlük kimyasal madde temin edecek büyüklükte ve iki adet olmalıdır. Büyük tesislerde bir vardiya için tanka kimyasal madde depolaması yeterlidir. Bu tanklar fabrikasyon veya anti korozyon malzemesinden imal edilmelidir. Asit çözeltileri için en uygun boru ve tank malzemeleri PVC, polietilen (PE) ve kauçuktur. Dozaj pompaları da anti korozyon olmalıdır.

3.5.2 Çamur Şartlandırmayı Etkileyen Faktörler

Çamur şartlandırıcıların dozajını ve tipini etkileyen temel faktörler, kullanılan susuzlaştırma ve karıştırma ekipmanlarının tipi ve çamurun özelliğidir. Önemli çamur özellikleri, çamurun kaynağı, çamurun konsantrasyonu, çamurun yaşı, pH ve alkalinitedir. Ön çökeltim çamuru, atık aktif çamur ve çürümüş çamur gibi çamur kaynaklarını bilinmesi, uygulanması gereken kimyasal madde dozaj aralıklarının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Katı madde konsantrasyonları, şartlandırıcıların yayılmasını ve dozajını etkileyecektir. pH ve alkalinite özellikle inorganik şartlandırıcıların verimini etkileyecektir. Susuzlaştırma için pH'ı yükseltmede kireç kullanıldığı zaman, kuvvetli amonyak kokusu ve taşlaşma (kireçtaşı) problemleri meydana gelir. Seçilen yöntem, susuzlaştırma yöntemlerinin karakteristiklerindeki ve kullanılan karıştırma ekipmanlarındaki farklılıklar, şartlandırmada kullanılacak kimyasalların seçimini etkileyebilir. Örneğin polimerler santrifüj ve belt pres susuzlaştırma işlemlerinde çok sık kullanılmakla beraber, vakum ve basınç filtrasyonlarında çok az kullanılmaktadır. Özellikle susuzlaştırılması zor olan çamurlar için laboratuvar ve pilot ölçekli deneyler yapılarak, gereken kimyasal şartlandırıcının tipinin belirlenmesi, tavsiye edilmektedir.

3.5.3 Dozaj

Her hangi bir çamuru şartlandırmak için gereken kimyasal madde dozajı laboratuvarda hesaplanır. Kimyasal madde dozajı seçimi için kullanılan testler, kapiler emme süresi testi, jar test ve çamurun spesifik direncinin belirlenmesi için yapılan Bucher Hunisi testidir. Buchner Hunisi testi; çeşitli şartlandırıcıların çamur susuzlaştırma özelliklerini veya test edilen çamurun drene edilme kabiliyetini ölçme yöntemidir. Kapiler emme testi, şartlandırılmış bir miktar çamur numunesinden su çekmek için, bir parça kalın filtre kağıdının kapiler emme ve gravitesine dayanan bir testtir. Standart jar test, kullanımın en kolay yöntemidir. Bu teste farklı şartlandırıcı konsantrasyonları ve farklı hacimlerdeki (çoğunlukla 1 lt) çamur numuneleri kullanılır. Testte hızlı karıştırma ve çökeltme işlemleri yapılır.

Genelde gereken kimyasal madde miktarını, büyük ölçüde çamurun türü belirler. Susuzlaştırılması güç çamurlar, fazla miktarda kimyasal madde dozlaması gerektirir ve genelde kuru kek haline gelmez. Susuzlaştırma esnasında oluşan süzüntü suyu,

oldukça kötü kalitededir. Aşağıda şartlandırma için gerekli kimyasal maddelerin miktar artışına göre, çamur türleri sıralanmıştır :

- Arıtılmamış (ham) ön çökeltim çamuru
- Arıtılmamış ön çökeltim ve damlatmalı filtre çamuru karışımı
- Arıtılmamış ön çökeltim ve aktif çamur karışımı
- Anaerobik olarak çürütülmüş ön çökeltim çamuru
- Anaerobik olarak çürütülmüş ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur karışımı
- Ham atık aktif çamur ve aerobik olarak çürütülmüş çamur

Tablo 3.7' de çeşitli susuzlaştırma metodları için ve çeşitli çamurlar için ilave edilmesi gereken polimer miktarları verilmektedir. Gerçek dozaj miktarı tabloda verilene nazaran oldukça değişik olabilir. Polimer dozajı, kullanılan polimerin molekül ağırlığına, iyonik kuvvetine ve aktiflik seviyesine bağlı olarak ayrıca değişecektir. Bu sebeple kullanım esasında, dozaj ve uygulanabilirlik konusunda üreticilere danışılmalıdır. Demir(3)klorür ve kireç, vakum ile susuzlaştırma prosesinde en çok kullanılan iki çamur şartlandırıcıdır ve bunların dozaj miktarı geniş aralıklarda değişmektedir. Susuzlaştırma öncesi kullanılması durumunda, demir(3)klorür ve kireç dozajını etkileyen faktörler, çamurun tipi (ön çökeltim, son çökeltim veya karışım) ve stabilizasyon prosesinin tipidir.

Tablo 3.7. Çeşitli Susuz. Metodları ve Çamurlar İçin İlave Edilmesi Gereken Polimer Miktarı

Çamurun Tipi	kg. polimer/ ton kuru katı		
	Vakum Filtre	Belt Pres	Solid Bowl Santrifüj
Ön çökeltim	1-5	1-4	0.5-2.5
Ön çökeltim ve atık aktif	5-10	2-8	2-5
Ön çökeltim ve dam. filtre	1.25-2.5	2-8	-
Atık aktif	7.5-15	4-10	5-8
Anaerobik olarak çürütülmüş ön çökeltim	3.5-7	2-5	3-5
Anaerobik olarak çürütülmüş ön çökeltim + atık aktif	1.5-8.5	1.5-8.5	2-5
An. çürütülmüş ön çök. +akt.	7.5-10	2-8	-

3.5.4 Çamur Karıştırma

Çamur ve koagülantın tam karışımı, iyi bir şartlandırma için ön koşuldur. Karıştırma, oluşan flokları parçalamamalıdır ve bekletme süresi, çamur şartlandırıldıktan sonra susuzlaştırma birimine mümkün olduğunca çabuk ulaşacak şekilde, minimumda tutulmalıdır. Karıştırma gereksinimi, kullanılan susuzlaştırma yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Vakum filtre ve basınçlı filtrelerden önce ayrı bir karıştırma ve flokülasyon tankı kullanılır. Ayrı bir flokülasyon tankı belt filtre pres için kullanılabilir veya şartlandırıcı, belt filtre pres ünitesinin çamur besleme hattına doğrudan ilave edilebilir. In line mikserler genellikle santrifüjle kullanılır. Şartlandırıcı kimyasalların en azından iki yerden verilmesi genellikle dizaynda istenilen bir durumdur.

3.5.5 Isıl İşlem

Isıl işlem, basınç altında kısa süreli çamur ısıtmayı içeren hem stabilizasyon hemde şartlandırma prosesidir. Isıl işlem katı maddeleri koagüle etmek, jel yapısını bozmak ve çamur katılarının su içeriğini azaltmak için kullanılır. Bunun sonucunda çamur sterilize olur, kokusu azalır ve hemen susuzlaştırılır. Isıl işlem prosesi, diğer yollarla stabilize edilmesi veya şartlandırılması zor olan biyolojik çamurlar için oldukça uygulanabilir bir prosestir. Ekipmanların yüksek ilk yatırım maliyeti sebebiyle bu prosesin kullanımı büyük ve sınırlı alana sahip tesislerle sınırlandırılmıştır. Isıl işlem biriminden oluşan süpernatantın BOI 'si oldukça yüksektir ve arıtma gerektirebilir. Geliştirilen ısıl işlem proseslerinin bir çoğu kullanılmamaktadır. En çok kullanılan ısıl işlem prosesi düşük basınçlı Zimpro Sistemidir. Düşük basınçlı Zimpro Sisteminde, ısı değiştirici olarak çamur kullanılır ve hava enjeksiyonu yapılır. Bu proseste çamur reaktöre hava ile birlikte verilir. Reaktör basınç altında buhar ile ısıtılır. Reaktöre verilen çamur hava karışımı ısı değiştiricilerden geçerken, reaktörden çıkan çamurun etkisiyle bir miktar ısınır. Reaktörden çıkan sıcak çamur ise bu esnada gelen soğuk çamura ısınısını vererek ısı değiştiriciden çıkar ve içinde bulunan basınçlı havanın ayrılması için seperatörden geçer. Isıl işlem sonucu kısmen oksitlenmiş çamur, vakum filtrasyonu, santrifüjleme, belt pres veya kurutma yataklarına alınarak susuzlaştırılabilir. Isıl işlemin avantajları şunlardır:

- Susuzlaştırılan çamurun katı muhtevası, istenen oksidasyon derecesine bağlı olarak, % 30 ila 50 arasında değişmektedir.
- Isıl işleminden geçmiş çamur, normalde kimyasal şartlandırma gerektirmez.
- Proses, çamuru stabilize eder ve bir çok patojenik organizmaları yok eder.
- Isıl işleminden geçmiş çamurun uçucu katı maddelerin gr'ı başına 28 ila 30 kj ısı değeri vardır (28-30 kj/ gr uçucu katı)
- Bu proses, çamur bileşimindeki değişikliklerden nispeten etkilenmemektedir.
- Uçucu katıların tam oksidasyonu yaklaşık (yaklaşık % 90 azalma) yüksek basınç ve sıcaklıkla sağlanır.

Isıl işlemin en önemli dezavantajları ise şunlardır:

- Mekaniğinin karmaşıklığı ve korozyona dayanıklı malzemelerin kullanımı dolayısıyla ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Yakın kontrol ve tecrübeli eleman gerektirir.
- Proses yüksek organik konsantrasyonlu, renkli yan akım oluşturur.
- Oldukça kokulu ve daha sonra arıtılması gereken gaz üretir.
- Isı değiştiricilerde, reaktör ve borularda tortu oluşumuna sebep olur. Bu sebeple asitle yıkama ve basınçlı su gerektirir.

3.5.6 Diğer Yöntemler

Diğer çamur şartlandırma yöntemleri şunlardır:

- İnorganik kimyasal maddeler ve organik polimerlerin bir bileşiminin kullanılması ile kimyasal şartlandırma
- Susuzlaştırmayı daha iyi seviyeye getirmek için çamur asidifikasyonu,
- Çamuru dondurma - çözme
- Yağ ve greslerin solvent ekstraksiyonu,
- İrradyasyon

Bu metodların çoğu, laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmalarla sınırlıdır. Elutasyon geçmişte şartlandırma için kullanılan bir çamur şartlandırma prosesidir. Bu proseste, bir katı veya katı-sıvı karışımı, belli bileşenlerin sıvıya transferi amacıyla bir sıvı ile kesikli olarak karıştırılır. Fazla miktarda kimyasal madde tüketecek çözünmüş inorganik ve organiklerin giderilmesi için yapılan kimyasal şartlandırmadan önce

çürütülmüş çamurun yıkanması tipik bir örnektir. Elutrasyon işlemi kimyasal madde tüketimini azaltır. Günümüzde bu proses nadiren kullanılmaktadır. Çünkü, çamurun yıkanması sonucu ince parçalara ayrılmış katılar ana atıksu arıtma sisteminde tamamen tutulamayabilir.

3.6 Çamur Susuzlaştırma

Susuzlaştırma, suyun kek oluşturmak üzere çamurdan ayrılması olarak tanımlanabilir. Yoğunlaştırma prosesleri ile ulaşılandan daha fazla hacim azalması elde etmek mümkündür. Susuzlaştırma, öncelikle son arıtma, uzaklaştırma veya faydalı kullanım proseslerinin yatırım ve işletme maliyetini azaltmak için yapılır. Çamur susuzlaştırılması işleminde, katı madde konsantrasyonu % 5'den % 20'ye yükseltirise, dörtte üçlük bir hacim azalması ve akışkan olmayan bir madde elde edilmesi sağlanır. Susuzlaştırma, çamur arıtım prosesinin yalnızca bir elemanıdır ve tüm sıvı ve katı ayırma kademelerinin performansı en elverişli duruma getirilecek ve toplam maliyetler an aza indirilecek şekilde atıksu arıtma sistemi içine entegre edilmelidir.

Katı / sıvı ayırma teknikleri aşağıdaki temel prensiplerin biri veya kombinasyonu ile olabilmektedir.

1. Katılar döngüdeki sıvıdan daha fazla veya (daha az) yoğunurlar.
2. Katıların fiziksel yapıları sıvı moleküllere göre daha büyüktür.
3. Sıvılar buharlaştığı zaman katılar uçucu olamazlar.

Tablo 3.8'da katı/sıvı ayırma yöntem ve spesifik teknikleri gösterilmektedir. Aşağıda sadece çok yaygın olan yöntemler anlatılmıştır.

Çoğunlukla kullanılan susuzlaştırma teknikleri ise;

- Kurutma Yatakları
- Kurutma Lagünleri,
- Filtre Pres,
- Bant ile Filtrasyon
- Vakum Filtrasyon
- Santrifüjlü Filtrasyon

Tablo 3.8. Atıksu Çamurlarında Katı/Sıvı Ayırımı İçin Kullanılan Yöntem ve Teknikler (Vesilind, P.A.,1988)

<i>Yöntem</i>	<i>Spesifik Teknik</i>	<i>Baz Alınan Temel Prensi</i>
Gravite ile yoğunlaşma*	Yoğunlaştırma Tankı	1
	Tüp Yoğunlaştırıcı	1
	Lagün	1
Flotasyon*	Doğal Flotasyon	1
	Çözülmüş Hava Flotasyonu (DAF)	1
Santrifüj ile Yoğunlaştırma*	Solid Basket	1
	Solid Bowl	1
	Perfore Bowl	1
	Hidrosiklon	1 ve 2
Filtrasyon	Vakum Filtre	2
	Filtre pres	2
	Belt Filtre	2
	Gravite Filtre	2
Isı Arıtımı	Döner Kurutucu	3
	Flash Kurutucu	3
	Kum yatakları	2 ve 3

1. Katılar daha yoğundur. (Çökelme)
2. Katılar daha büyüktür. (Süzülme)
3. Katılar uçucu değildir. (Kuruma)

* Yoğunlaştırma bölümünde anlatılmıştır

3.6.1 Kurutma Yatakları

En düşük maliyet gereksinimine sebep olan tekniklerin başında gelir. Çok az bir işletim dikkat ve becerisi, düşük enerji ve kimyasal madde tüketimi gerektirmekte ve çamur kararsızlığına karşı daha az hassasiyet göstermektedir. Ayrıca tamamen mekanik olan metotlara nazaran daha yüksek katı madde konsantrasyonu sağlamaktadır.

Bunlara karşın kurutma yatakları kararlı çamurlara gereksinim duymakta, iklimsel koşullardan etkilenebilmekte ve ham çamurlar nedeniyle koku problemi ile karşılaşma riski içermektedir. Ayrıca etkili mühendislik analizlerine olanak tanıyan rasyonel mühendislik tasarım verileri yoktur, mekanik sistemlere göre daha fazla yer ihtiyacı göstermekte ve toplum açısından göze çarpıcı nitelikte bulunmaktadır.

Çürümüş çamurlar, organik maddelerinin büyük bir kısmı indirgenmiş olduğundan zararsız özelliktedir. Su muhtevası az olduğu halde, akıcı olup çamura göre kolayca pompalanabilmektedir. Suyunu kolayca verir ve kururlar. Eğer tasfiye tesisi yakınında yeterli miktarda alan mevcutsa altı drene edilmiş kum yatakları kullanılır. Çamurun kum yatağı üzerinde 20 cm. civarında bir kalınlık teşkil etmesi uygun olur. Genellikle üstü açık olur. Bazı hallerde üstü kapalı da yapılırlar. Kurutma yataklarında su muhtevası % 50'ye kadar düşürülür.

3.6.2 Kurutma Lagünleri

Kurutma yataklarının tüm avantajları kurutma lagünleri için de geçerlidir. Lagünler çamur akımı için tampon görevi görebilmektedir. Arıtma tesisindeki problemlerden kaynaklanan şok yüklemeler minimal etkiye yol açarak lagünlere sevk edilebilir. Ayrıca kurutma lagünlerinde organik maddeler daha kararlı hale getirilir.

Bunların yanında bu tekniğin bazı dezavantajları da vardır: Kurutma lagünlerinde periyodik koku ve sineklenme problemleri ve yeraltı suyu veya çevredeki yüzeysel su kaynaklarında kirlenme ile karşılaşmak mümkündür.

3.6.3 Filtre Pres

Çamur susuzlaştırma teknikleri içinde en yüksek katı madde konsantrasyonunu sağlayan, en aza indirilmiş üretim maliyeti ve sadece vasat miktarda enerji

harcayarak filtre suyunda düşük AKM konsantrasyonuna (350 mg/lt) imkan tanıyan tekniktir. Fakat kesikli olarak çalışırlar ve ürettikleri keklerin bir yüzdesi parçalanması zor olan kireç metal tuzları ihtiva etmektedir. Ayrıca yüksek işgücü ve sermaye maliyeti, özel destek yapıları, daha geniş işletme ve depolama alanı ihtiyacı ve kimyasal önarıma gerekmektedir.

3.6.4 Bant Pres İle Filtrasyon

Bant presler çok kuru kek üretirken benzer performanstaki ekipmanlara kıyasla düşük enerji, düşük bakım ve ilk yatırım maliyeti ile minimum operatör dikkati gerektirmektedir. Sessiz, hızlı, otomatik, sürekli ve kompakt ekipmanlardır. Ve minimum düzeyde ek yapı gerektirmektedir. Bu avantajlara rağmen besleme karakteristiklerine son derece hassas, hidrolik olarak işlenecek miktarda sınırlı çalışan ve şartlandırmanın mutlaka gerektiği ekipmanlardır. Ayrıca kumaş kullanılan diğer tekniklere göre daha az ömürlüdür ve yıkanması ve oluşturduğu kokular problem olabilir.

3.6.5 Vakum Filtrasyon

Sürekli bir sistemdir. Diğer sürekli sistemlere kıyasla düşük, ilk yatırımı normal ve kalifiye operatör ihtiyacı azdır. Bu teknik ile birçok çamur çeşidine hizmet vermek, filtre suyunda düşük AKM konsantrasyonlarına ulaşmak ve toprağa uyumlu kekler üretmek mümkündür. Fakat enerji ihtiyacı çok fazladır ve başında sürekli bir işletmeci gerektirmektedir. Filtre malzemesi tıkanması ve pompa gürültüsü söz konusu olabilir. Bu teknikte şartlandırmak için kireç kullanılır ve sonuçta elde edilen kek daha ıslaktır.

3.6.6 Santrifüj

Temiz görünümlü, koku problemi hiç bulunmayan ya da az bulunan, işletmeye alınması ve devreden çıkarılması hızlı olan ve kolaylıkla kurulabilen ekipmanlardır. Basıncılı filtrasyon hariç diğer bütün tekniklerden daha kuru kek üretimine ve dar yüzey alanına sahiptir. Devamlı işletme dikkatine gerek yoktur. Fakat bakımı zordur, bakım personelinin becerikli olması gerekir. Santrifüjlerde besleme akımı için kum giderme ekipmanı veya öğütücü gerektirmektedir.

4. BAZI ÜLKELERDE ÇAMUR YÖNETİMİ

4.1. Batı Avrupa'da Çamur Yönetimi

Avrupa' da yönetim stratejileri ülkeden ülkeye kültürel ve ekonomik geçmişe bağlı olarak değişiklikler gösterir. Avrupa Birliği yasaları çamur yönetimi ve işletimi üzerinde büyük etki yapmıştır. Avrupa Birliğinde 320 milyon nüfusu bulunan 12 ülkenin üyeliği söz konusudur. Orta ve Batı Avrupa' da bulunan İsviçre, Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Polonya, Macaristan' da da benzer sosyal ve çevre problemleri vardır. Fakat çevresel yönetim stratejileri ve teknikleri bu ülkelerin hepsinde aynı olabilir.

Avrupa'da çamur yönetimi konusunda Avrupa Topluluğu tarafından hazırlanmış bir direktif bulunmaktadır. 1986 yılında yayınlanan bu direktifte atık çamurların faydalı kullanımı için gerekli düzenlemeler verilmiştir. Avrupa topluluğuna üye ülkeler için 1991 yılında kabul edilen atıksuların arıtılması ile ilgili direktif, arıtılmış su kalitesinin geliştirilmesini hedef almaktadır. Bu durum arıtma tesislerinin iyileştirilmesini ve çamur üretimini de beraberinde getirmiştir. 2000 yılıyla birlikte Avrupa Topluluğu ülkelerinde, üretilen yıllık çamur miktarının 17 milyon ton civarında olacağı tahmin edilmektedir. Avrupa Topluluğu ülkelerinde kullanılan çamur miktarları ve uzaklaştırma stratejileri Tablo 4-1'de gösterilmiştir.

Mevcut çamur uzaklaştırma yöntemlerinin çamur miktarının artışından kaynaklanan problemi çözmeye yetmeyeceği düşünülmekte, yeni strateji ve teknolojilerin geliştirilmesi konusu gündeme gelmektedir. Şu andaki eğilim çevreci bir yaklaşımla, çamurun tarım alanlarında kullanılarak, nutrientlerin ve organik maddelerin doğal çevrime en kısa yoldan sokulması şeklindedir.

Çamurların tarımda kullanımı aslında bir çok ülkede uzun yıllardır uygulanan bir metoddur. Başlangıçta kontrolsüz olarak yapılan bu çalışmalar zamanla düzenli programlar halini almıştır. Bu programlar, tarımda kullanılacak çamurun

özelliklerini, toprakta bulunabilecek ağır metal limitlerini, çamur tatbik hızını düzenler.

Avrupa komitesi her bir ülkede evsel atıksu yönetiminin üstesinden gelebilmiştir. Bu önümüzdeki 15 yıl içinde daha güvenilir bir strateji izlenmesini sağlar. Bu da atılacak çamur miktarını kaçınılmaz bir oranda artırır. Komite yasalar yapar ve daha sonra üyeler yerel durum, istatistik ve uygulamalarını belirtirler. Tablo 4.1’de Avrupa topluluğu ülkelerinde uygulanan çamur uzaklaştırma yöntemleri görülmektedir.

Tablo 4.1. Avrupa Topluluğu Ülkelerinde Uygulanan Çamur Uzaklaştırma Yöntemleri

Ülke	Tarım Alanlarında Kullanım%	Düzenli Depolama %	Yakma %	Denize Boşaltma %	Miktar 1000 ton Atık çamur / yıl
Belçika	57	43	-	-	35
Danimarka	43	29	28	-	150
Fransa	27	53	20	-	900
Almanya	25	65	10	-	2750
Yunanistan	10	90	-	-	200
İrlanda	23	34	-	43	23
İtalya	34	55	11	-	800
Lüksemburg	80	20	-	-	15
Hollanda	53	29	10	8	280
Portekiz	80	12	-	8	200
İspanya	61	10	-	29	300
İngiltere	51	16	5	28	1500

4.1.1. Çamur Uzaklaştırma Yöntemleri

Avrupa’da en çok kullanılan çamur uzaklaştırma yöntemleri:

- Tarımsal yararlı kullanım
- Atık uzaklaştırma siteleri
- Denize boşaltım

Bu seçim ülkeden ülkeye, yerel, ulusal, kültürel, tarihi, coğrafi, legal, politik ve ekonomik sebeplere göre yapılır.

Bu yöntemlerin herbiri çevre koruma kriterleri içerirler. Yöntem seçiminde maliyet analizinin de çok önemli payı vardır.

İşletme bazlı yöntemler çamur uzaklaştırma için şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Çamur arıtım, eğer gerekirse çamurun çıktığı yerde kullanım veya tarımsal kullanım.
- Çamur arıtımı, merkezlerde işleme ve tarımsal kullanım.
- Çamur arıtımı, merkezde işleme ve limana boşaltım (Kara yakınlarındaki çalışmalar çamur atımına sebep olabilir)
- Çamur arıtımı, merkezde işleme ve arazilere uzaklaştırma.

Bu seçeneklerin hepsinde bulunan çamur arıtımı, 3. Bölüm'de anlatılan yöntemleri kapsar. Çamur uzaklaştırma stratejisine en çok bağlı olan arıtma işlemi stabilizasyonudur. Tablo 4.2'de Batı Avrupa ülkelerinde uygulanan stabilizasyon yöntemleri görülmektedir.

Tablo 4.2. Avrupa Ülkelerindeki Stabilizasyon Prosesleri

Ülke	Anaerobik	Aerobik	Hiç	Diğer
Belçika	40 %	21 %	38 %	-
Danimarka	40 %	23 %	30 %	7 % (Kireç)
Fransa	49 %	17 %	32 %	2 %
Almanya	64 %	12 %	21 %	3 %
İrlanda	19 %	8 %	73 %	-
Hollanda	44 %	35 %	2 %	19 %
İspanya	45 %	5 %	24 %	26 % (Kireç)
İsviçre	70 %	5 %	10 %	15 % (Kireç)
İngiltere	56 %	2 %	35 %	7 %

Tablo 4-2 'den görüldüğü gibi, çamurun büyük kısmı anaerobik stabilize edilmektedir, ancak aynı miktarda çamur da stabilize edilmemektedir. Stabilize edilmemiş miktarın büyük kısmı yakma işlemine tabi tutulmaktadır. Ancak 1997 'den itibaren bu kısım da anaerobik çürümeye tabi tutulacaktır.

Genelde, tarım alanlarına yayılan çamur, % 15 ile 25 arası kuru kısım içerinceye kadar susuzlaştırılmaktadır. Nutrient gideriminden oluşan çamur türlerinin ise

susuzlaştırılması zordur. Biyolojik fosfor giderim çamurunu arıtmak; çamur arıtımı sırasında büyük miktarlarda fosforun serbest kalmasını önlemek için aerobik koşulların sıkı denetlenmesini gerektirdiğinden, daha da zordur.

4.1.2 Danimarka

Danimarka, 5000 Nüfus eşdeğeri (N.E) (yaklaşık 1500 m³/gün) den büyük tüm atıksu arıtma tesislerindeki biyolojik arıtım ve nutrient giderilmesi hakkındaki gereksinimleri açıkladığı sene olan 1987'den beri üretilen çamur miktarı % 50 lik bir artış göstererek 225000 ton kurumadde / yıl değerine ulaşmıştır.

Tablo 4.1'den görüldüğü gibi çamurların tarım alanlarında kullanımı bazı ülkelerde % 50' nin üzerine çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu ülkelerin çoğunda çamurların önemli bir kısmı halen araziye gömülerek uzaklaştırılmaktadır. Çamuru araziye gömmek için gerekli alanlar azaldıkça, diğer uzaklaştırma metotlarına doğru yönelişler beklenmelidir. Bu yönelişin hangi metotlara doğru olduğunu Danimarka'ya ait 1990 ve 1992 verilerini karşılaştırarak görmek mümkündür. Tablo-1'de gösterilen 1990 verilerine ilave olarak, 1992 yılı itibariyle Danimarka'da uygulanan çamur uzaklaştırma yöntemleri Tablo 4-3'de görülmektedir.

Tablo 4-3. Danimarkada Çamur Uzaklaştırma Yöntemleri(1992)

Çamur Uzaklaştırma Yöntemi	Yüzde
Tarımda kullanma	56
Yakma	30
Düzenli Depolama	14
Çamur Taşımacılığı	2
Kompostlaştırma	2

Tablo 4.1 ve Tablo 4.3 karşılaştırıldığı zaman, Danimarka'da düzenli depolama ile uzaklaştırılan çamur miktarının 1990-1992 yılları arasındaki 2 senede % 29 dan % 14'e düştüğü buna karşılık tarımda kullanılan çamur miktarının % 43'den % 56'ya yükseldiği görülmektedir. Aynı dönemde, yakılan çamur miktarı % 2 gibi bir artışla % 30' a yükselmiştir. Gerek düzenli depolama için ayrılacak alanların hızla azalması, gerekse arıtma çamurlarını tarım alanlarında değerlendirmenin ekolojik bir yaklaşım olması, diğer Avrupa ülkelerinde de benzer gelişmeleri ortaya çıkarmıştır.

Danimarka'nın çevre konusunda güttüğü hedeflerden biri de bu üretilen çamurun büyük bir bölümünün tarımda kullanılan fosforlu gübrenin yerini almasıdır. Bu yüzden, çamurun tarımsal kullanımının kuralları, tarlalara giren fosfor miktarıyla ilgilidir. Tablo 4-4'de ağır metaller için sınır değerler verilmektedir. Üretilen çamurun fosfor miktarı, yüksek fosfor girişinin uzaklaştırılmasına bağlı olarak yüksektir (Örneğin, 10 ~ 15 mg / l fosfor uzaklaştırıldığında oluşacak çamurun kuru kısmının % 4 ~ 5 ' i fosfordur.) .

Tablo 4.4. Ağır Metaller İçin Sınırlar

Ağır Metaller	mg / kg DS	mg / kg P
Kadmiyum	0.8	200
Civa	0.8	200
Kurşun	120	10000
Nikel	30	2500

Kullanımına izin verilen maksimum miktar, ha / yıl başına 40 kg toplam fosfordur. Fosfor dozajı, 5 yıllık bir periyot içinde ortalama bir temel alınarak tahmin edilebilir. Benzer olarak, toplam azot sınırı da 250 kg / ha / yıl dır.

Danimarka Çevre Koruma Kurumu, çamur hijyenleştirmesinin gerekli olup olmadığını açıklığa kavuşturacak bir proje çalışması yapmıştır.

Direk olarak alıcıyla yapılacak bir anlaşma sayesinde; her çamur üretici (atıksu arıtma tesisi) , kuralların dahilinde hareket edilip edilmediğini kontrol etmekten ve kurallara uyulduğuna dair garanti vermekten sorumlu olacaktır.

Çamur üreticisi, çamuru tarımsal kullanım amacıyla elinden çıkarırken, belediyeyi çamur miktarı, çamur kalitesi ve çamurun kullanım süresi hakkında bilgilendirmelidir. Burada belediye, tarımsal kullanımın bu konudaki çeşitli kısıtlarla uyum içinde olup olmadığını denetleme görevini üstlenir.

Genelde, tarım alanlarına yayılan çamur, % 15 ile 25 arası kuru kısım içerinceye kadar susuzlaştırılmaktadır. Nutrient ayırımından oluşan yeni çamur türlerinin ise susuzlaştırılması zordur. Biyolojik Fosfor çamuruyla uğraşmak; çamur arıtımı sırasında büyük miktarlarda fosforun serbest kalmasını önlemek için aerobik koşulların sıkı denetlenmesini gerektirdiğinden, daha da zordur. Tablo 4-5 susuzlaştırma ekipmanlarına göre çamur miktarlarını göstermektedir.

Danimarka'da, üretilen çamur miktarının yaklaşık yarısı yakma işlemine tabi tutulmaktadır. Bu miktarın yaklaşık % 93 ü Kopenhag'daki iki büyük tesiste yakılmaktadır. Her iki tesis de 1970 yılında inşa edilmiş ve havanın temizlenmesi için gaz temizleyici sistemine sahip çok ocaklı fırınlar konuşlandırılmıştır. Kalan kısım da ya atık yakma tesisleri, ya da siklon fırınlarında yakılırlar.

Danimarka 'da, yakma tesisleri Danimarka Çevre Koruma Kanunu tarafından onaylı olmalıdır; ve burada kısıtlamalar; konum, koku ve baca gazı temizliği, gürültü azaltılması, atıksu arıtımı ve artıkların arıtımı gibi konulara getirilmelidir. Artıklar ya düzenli depolanmalı, ya da gürültü bariyerleri(toprak set) olarak kullanılmalılardır.

Bugün, çamurun ancak % 14 ü gibi ufak bir kısmı çevre açısından uygun düzenli depolama alanlarında bertaraf edilebilmektedir. Bu, daha çok yüksek fiyatlı poliçelere bağlı bir olaydır. Zira, üzerini kapatma ücreti olarak ton başına yaklaşık 65 US\$, ayrıca atık vergisi olarak da ton başına yaklaşık 30 US\$ ödenmelidir ki , ikinci ödeme hükümete yapılmaktadır. Danimarka Çevre Koruma Kurumu, depolama alanlarına organik madde boşaltımını sınırlama, hatta yasaklamayla ilgili bir teklif üzerinde çalışmaktadır. Sonuca bağlı olarak gelecekte depo alanlarına organik madde boşaltımı engellenebilir.

Çamurun yaklaşık % 2 si bahçe atıklarıyla beraber kompostlaştırılırken, yaklaşık % 2 si de (120 ton kurumadde / ha) bu iş için ayrılmış toprağa yayılıp toprakta işlenmektedir (çamur çiftçiliği). Hem kompostlaştırma tesisleri, hem de çamur çiftlikleri yetkililerce onaylı olmalıdır.

Tablo 4.5. Susuzlaştırma Ekipmanlarına Paylaştırılan Çamur Miktarları

SUSUZLAŞTIRMA METODU	ÇAMUR MİKTARI (%)
Santrifuj	30
Oda Filtre Pres	25
Kuşak Filtre Pres	30
Çamur Kurutma Yatakları	4
Diğer	2
Yok	9

4.1.3 Almanya

Almanya'nın çamur üretimi, 1970 ile 1990 arasında iki katına çıkmıştır. Bunun sebebi olarak yüksek kalitede çıkış suyu gereksinimleri (özellikle nutrient giderimi) görülmektedir.

Almanya'da tarımsal kullanım, üç yıllık süre içinde 5 ton kurumadde / ha kullanım ile sınırlandırılmıştır. Şu anda, mevcut tarımsal alanların ancak % 3 ünde gübre yerine çamur kullanılmaktadır. Tablo 4-6'da Almanya'da çamur üretiminin tarımsal kullanım ile bir karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 4.6. Almanya'daki Çamur Üretiminin Tarımsal Kullanımla Karşılaştırılması

YIL VE MİKTAR (ton kuru madde/yıl)	1986	1987	1988	1989	1990
Çamur miktarı	1.995.000	2.099.000	2.087.539	2.212.841	2.449.204
Tarımsal Kullanım	476.238	588.347	538.314	547.471	714.244
Yüzde	23.87	28.03	25.79	24.74	29.16

Ancak, çamurun tarımsal kullanımı yıldan yıla artmıştır. 1987 'de çamurun özel bölgelere boşaltımı sırasında hijyen gerektiği için, tarımsal kullanım oranı düşmüşken, 1990 'da maksimum değerine ulaşmıştır.

Çamurun büyük bir kısmı depolama alanlarına boşaltılmaktadır (Tablo 4.7.). Bununla beraber, tarımsal kullanımda, daha sıkı sınırlar uygulansa bile tarımsal kullanımda hızlı bir artış gözleneceği açıktır. Bunun ana nedeni, depolama alanlarının ve yakma tesislerinin düşük kapasitede olmalarıdır. Bu, düzenli depolamanın yüksek maliyetli olmasına yol açar (100 US\$ / m³ veya fazlası). Yakma kapasitesinin artırılması ise, yasalar ve halkın bu teknolojiye pek sıcak bakmaması yüzünden yıllar alacaktır.

Almanya'da kısıtlamalar, çamurdaki ağır metal ve zararlı organik madde konsantrasyonlarına, topraktaki ağır metal konsantrasyonlarına ve çamurun uygulandığı bölgede yetiştirilen ekinin nutrient tüketimine bağlı getirilir. 1982 'de uygulamaya konulan sınırlar, yeni AB standardını karşılamıştır, 1992 'de ise daha sıkı limitler getirilmiştir (Tablo 4.8.).

Toprakta parçalanması zor olan zararlı organik maddelerin zenginleşmesini önlemek için Alman yetkilileri , dioksin / furan, PCB ve halojenli bileşikleri (AOX) ile ilgili kısıtlamalar hazırladılar.

Almanya 'da atıksu arıtımında kullanılan teknoloji, daha çok tesisin büyüklüğüne bağlıdır. Yaklaşık 5000 NE ye kadar olan küçük ölçekli tesisler, büyütülmüş havalandırmaya sahiptirler. Anaerobik parçalama, enerji üretiminin yüksek yatırım maliyetlerini karşıladığı büyük tesislerde uygulanır.

Çamur, bir sıvı gibi depolanır. Çamurun depo alanlarına getirildiği zamanlarda veya depo kapasitesinin olmadığı zamanlarda mekanik susuzlaştırma uygulanır. Santrifüjlere karşı bir yönelme mevcuttur.

Tablo 4.7. Almanya'da Çamur Bertarafı

ÇAMUR BERTARAFI	%
Tarımsal Kullanım	25
Yakma	10
Depolama	60
Kompostlaştırma	4
Diğer	1

Tablo 4.8. Toprakta Ağır Metal Sınırlandırması (Mg/Kg Kurumadde)

METAL	AB Rehberi 86 / 278 / EEC	FRG-Abfklär-V 15 Haziran 82	FRG-Abfklär-V 15 Nisan 92
Pb	50 - 300	100	100
Cd	1 - 3	3	1.5 / 1 *
Cr	100 - 150 **	100	100
Cu	50 - 140	100	60
Ni	30 - 75	50	50
Hg	1 - 1.5	2	1
Zn	150 - 300	300	150 / 200 *

* En düşük değer, % 5 den az killi ve pH değeri 5-6 olan topraklarda geçerlidir.

** Taslak değer

Yerleşimler ile çamur kullanıcıları arasında yapılan detaylı anlaşmalar çamur ve toprak kalitesinin kaydedileceğini garantilemektedir. Boşaltılan ve üretilen çamurun miktarının yanısıra, boşaltım bölgesi ve arıtım bilgileri de 30 yıl boyunca kaydedilip saklanmaktadır. Bu önlem, çamur probleminin uzun bir süre için kontrol altında tutulmasını sağlamaktadır.

4.2 Polonya

Çamur Arıtma Ve Uzaklaştırmada Gelişen En İyi Uygulanabilir Çevresel Opsiyon (BPEO)

Optimum çamur arıtma ve uzaklaştırma stratejisi için WR_C tarafından tanımlanan BPEO bir stratejik yönetim metodudur. (Powlesland ve Frost, 1990)

Bir çok büyük şehir ve ülkenin değişik bölgelerinde çamur yönetim sorunlarında başarıyla tatbik edilmektedir. Sistem herhangi stratejik çamur veya atık yönetim problemlerinde, kişisel site alanlarında, bölgesel yada karışmış atıksularda tam ve uygun bir yaklaşımdır. BPEO seçiminde gerekli kriterler için bir rota belirlenmelidir. Polonya'da BPEO çatısı altında yapılan çamur yönetim programının avantajları şunlardır :

- * Çevre için bütün olarak neyin iyi , güvenli, kalıcı olduğunu gösterir ve aşırı fiyattan kaçınır.
- * Hava ve su için emisyon kanun standartlarını gözlemler, toprakta tekrar kullanımı ve çöp depolama alanlarının düzenlenmesi yapılabiliriyorsa gerçekleştirir,
- * Çevre için, herhangi bir etki ve derecesinde ki belirsizliği ortadan kaldırmak ve farklı çevre ortamları arasındaki elde olmayan kirlilik transferi ihtimalini azaltmak için tüm güvenlik faktörlerini birleştirir.

BPEO'nun gelişimi aşağıdaki karakteristiklerle birlikte tek döküman olarak sonuçlandırılmalıdır.

- * Açıklık ve netlik; teknik veya teknik olmayan ilgili grupların kullanımı için uygun olmalı
- * Tüm datalar ve kararlar dinlenir ve sorunlarla ilgilenilir. Kullanılan tüm bilgi, data, alınan kararlar, tarihleri ve detaylı kaynakları ile belirtilmeli.
- * Tüm potansiyel düşünceler göz önünde tutulur. Düşüncelere çamuru ve kirlетici üretenleri azaltmak, birlikte arıtma, diğer atık ve yakıtların uzaklaştırılması dahil olup, yeni ve geleneksel metodlar kullanılır.
- * Tüm kararlar öncelikle çevresel yerler için alınır.
- * Fayda ve maliyet arasında kabul edilebilir ve memnun edici bir denge aranır.
- * Tüm uzun dönemli ve kısa dönemli etkiler dikkate alınır.
- * Çevresel etkinin değerlendirilmesinde döküman ana yapıyı oluşturur.

BPEO çalışmasında ana bölümler aşağıdaki gibidir.

BÖLÜM	AKTİVİTE
1.	Nesnel konular ve sıkıntılar ile ilgili kurum
2.	Süreçler ve çalışma alanı ile ilgili verilerin toplanması
3.	Tüm mümkün olabilecek arıtma ve uzaklaştırma yöntemlerinin tesbiti
4.	Mümkün olabilecek arıtma ve uzaklaştırma yöntemlerinin elenmesi
5.	Seçilen yöntemin geliştirilmesi
6.	Tercih edilen yöntemin seçilmesi (BPEO)
7.	Tercih edilen yöntem için ek inceleme
8.	Özet ve gelişimin sunuşu
9.	Yürütme ve izleme

4.3 Japonya

Japonya 378.000 km² alanda 112.000.000 nüfuslu bir ada ülkesidir. Ülkenin % 70' den fazlası dağlarla kaplıdır. Geriye kalan yerleşimin bölgesinin % 10'dan azı eğimlidir. Bütün üretim ve tüketim bu yerleşim bölgelerinde yapılmaktadır. Bu

sebeple herhangi bir ÷lkeye göre km² başına yapılan aktivite daha fazladır. Şehirlerde nüfus düzenlidir, 1960'larda şehir nüfusunun toplam nüfusa oranı % 43.7 iken 1985'lerde bu oran % 60.6'ya yükselmiştir. Toplam nüfusun % 21' i Tokyo'da yaşamakta ve 11 düzenli şehir toplam kara alanının yalnızca % 1.5 'üğünü oluşturmaktadır.

Çamur arıtımı ve uzaklaştırma sadece büyük şehirlerde değil aynı zamanda çamur arıtımına yeni başlamış daha az kalabalık yerleşim yerlerinde de problemli olmaktadır. Çamur arıtımı ve uzaklaştırması çamurun günlük üretildiği yerlerde yalnızca acil bir problem değil aynı zamanda gelecek kalıcı çözümler gerektiren önemli bir problemdir.

Japonya'da tesis çıkış suyuna bağlı olarak, atıksuyun % 90'dan daha fazlası aktif çamur prosesleri tarafından arıtılır. Bu yüzden Japonya'daki Atıksu Arıtma Tesislerinden çıkan çamurların büyük çoğunluğu birincil ve fazla aktif çamurdan ibarettir. Tablo 4.9.'da Japonya'daki Arıtma Proseslerine göre sınıflandırılan Atıksu Arıtma Tesis sayıları gösterilmiştir. Şekil 4.1., yıllık arıtılmış su ve çamur üretim miktarları, Şekil 4.2. de ise yıllık atılan ve yararlı kullanılmış çamur hacmi miktarları verilmiştir.

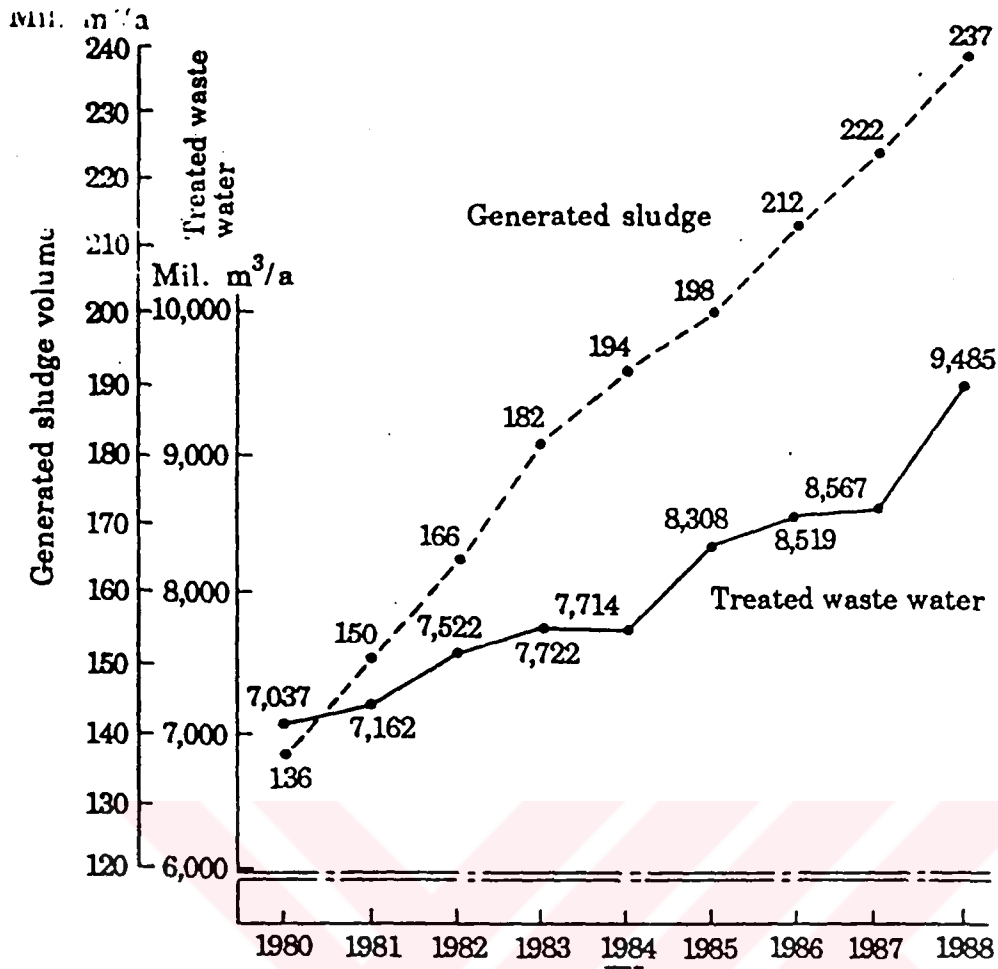
Japonya'da geçtiğimiz yıllarda hayat şartlarının gelişmesi ile atıksu özellikleri de değişmiştir. Birincil çamurlar için gravite yoğunlaştırma, fazla aktif çamurlar için mekanik yoğunlaştırma kullanımı artmıştır. Tablo 4.10. Çamur Arıtma Tiplerinin durumunu göstermektedir.

Japonya'da Atıksu arıtma tesislerinin % 40'dan fazlasında anaerobik çürütme kullanılmaktadır. Anaerobik çürütücü prosesinin karakteristikleri çamur arıtma bazında

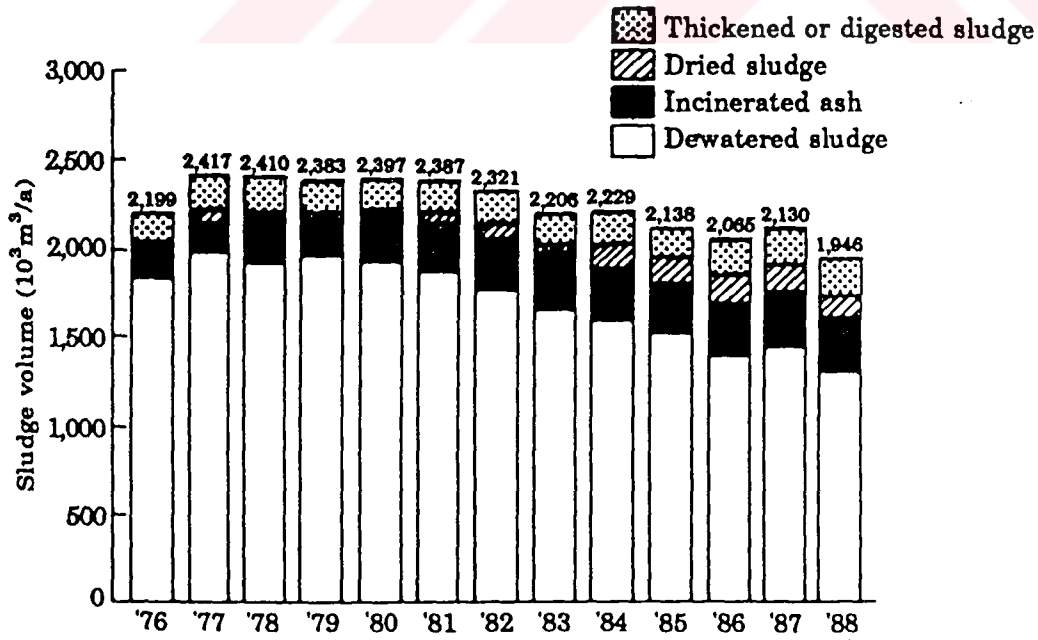
- * Çamurdaki katı miktarının azaltımı
- * Çamurdaki org. madde stabilizasyonu'dur.

Diğer yardımcı avantajlar

- * Çürümüş gazın kullanımı
- * Çürütme tankındaki depolama fonksiyonudur.



Şekil 4.1 Yıllık Arıtılmış Su ve Çamur Miktarları



Şekil 4.2 Yıllık Atılan ve Yararlı Kullanılmış Çamur Hacim Miktarları

Tablo 4.9. Japonya'daki Arıtma Proseslerine Göre Sınıflandırılan Atıksu Arıtma Tesis Sayıları

Arıtma prosesi	Günlük Maksimum debi (bin m ³ /gün)						Toplam
	<5	5-10	10-50	50-100	100-500	>500	
Basit çöktürme	-	-	3	-	1	-	4
Yüksek filtrasyon	2	2	5	-	-	-	9
Yüksek havalandırma	2	-	9	3	2	-	16
Aktif çamur							
Konvansiyonel	52	50	226	90	116	11	545
Kademeli havalan.	3	4	16	16	16	7	62
Uzun havalandırma	13	1	2	-	-	-	16
Kontak Stabilizasyon	1	-	-	-	-	-	1
Saf Oksijen	-	1	3	1	2	-	7
Nitrifi-Denitrifikasyon	-	1	-	2	1	-	7
Ardışık Kesikli	3	-	-	-	-	-	3
Oksidasyon hendeği	31	11	-	-	-	-	42
Kontak havalandırma	2	-	-	-	-	-	2
Diğer	14	4	6	6	-	-	25
İleri Arıtma	(11)	(6)	(3)	(8)	(7)	(1)	(36)
Toplam	123	74	270	113	138	18	736

Japonya'da en çok kullanılan metod mekanik susuzlaştırma cihazları ile çamur susuzlaştırmadır. (Vakum filtre, filtrepres, belt, santrifüj v.b.). Çamur kurutma yatakları genelde küçük tesislerde kullanılmaktadır. Tablo 4.11. 'de kullanılan susuzlaştırma ekipmanları hakkında bilgi verilmiştir. Son yıllarda Japonya'da FeCl₃ ve kireç gibi inorganik şartlandırıcıların kullanıldığı vakum filtre kullanımı azalmış buna karşın polimer kullanılarak şartlandırılan santrifüj ve belt pres kullanımında bir artış gözlenmiştir. Polimer kullanımı oluşturduğu çamur miktarındaki azlığı sebebiyle tercih edilmiştir. Japonya'da yakma teknolojisi de oldukça gelişmiştir. Tablo 4.12.'de ülkede kurulan yakma tesislerinin sayısını göstermektedir.

Çamurun yararlı kullanımı çamuru iyileştirme amacıyla kullanımı veya metan gazının çamur arıtma proseslerinde enerji olarak kullanılması ile olabilmektedir.

Tablo 4.10. Japonya'da Çamur Tipleri, Miktarları ve Arıtma Alternatifleri

Arıtılmış Çamurlar				
Son Çamur Tipi	Çamur Arıtma	Atıksu Arıtma Tesisi Sayısı	Kuru Ağırlık (1000t/a)	Yüzde
Sıvı Çamur	Arıtmasız	2	0.1	0.01
	Yoğunlaştırma	6	0.1	0.01
	Yoğunlaştırma-Anaerobik Çürütme	4	7.1	0.52
	Alt toplam	12	7.3	0.54
Susuzlaşmış Kek	Yoğunlaştırma-Susuzlaştırma	236	163.3	11.97
	Yoğunlaştırma-Anaerobik Çürütme Susuzlaştırma	210	261.4	19.16
	Yoğunlaştırma-Aerobik Çürütme Susuzlaştırma	12	4.0	0.29
	Yoğunlaştırma-Isı Arıtımı Çürütme Susuzlaştırma	10	8.1	0.59
	Toplam	468	436.8	32.02
Kuru Çamur	Yoğunlaştırma-Kurutma	12	0.3	0.02
	Yoğunlaştırma-Anaerobik Çürütme Kurutma	11	1.4	0.1
	Yoğunlaştırma-Susuzlaştırma-Kurutma	9	7.3	0.53
	Yoğunlaştırma-Anaerobik Çürütme-Susuzlaştırma-Kurutma	20	5.6	0.41
	Toplam	52	14.5	1.07
Kompostlaştırılmış Çamur	Yoğunlaştırma-Susuzlaştırma-Kompostlaştırma	40	44.7	3.28
	Yoğunlaştırma-Anaerobik Çürütme-Susuzlaştırma Kompostlaştırma	43	65.0	4.76
	Yoğunlaştırma -Aerobik Çürütme Susuzlaştırma Kompostlaştırma	1	0.1	0.01
	Alt toplam	84	109.7	8.05
Kül	Yoğunlaştırma-Susuzlaştırma-Yanma	129	436.2	31.98
	Yoğunlaştırma-Anaerobik Çürütme-Susuzlaştırma- Yanma	67	296.1	21.7
	Yoğunlaştırma-Aerobik Çürütme-Susuzlaştırma- Yanma	3	0.1	0.01
	Yoğunlaştırma-Isı arıtımı-Susuzlaştırma-Yanma	8	48.6	3.56
	Yoğunlaştırma- Yanma	1	0.7	0.05
	Yoğunlaştırma-Isı Oksidasyon-Susuzlaştırma	1	7.8	0.58
	Alt toplam	209	789.5	57.88
Erimiş	Yoğunlaştırma-Susuzlaştırma-Eritme	5	3.2	0.23
Cüruf-Mucur	Yoğunlaştırma-Anaerobik Çürütme-Susuzlaştırma-Eritme	1	2.6	0.19
	Yoğunlaştırma-Susuzlaştırma-Yanma-Eritme	2	0.5	0.04
	Alt toplam	8	6.3	0.46
	Toplam	833	1364.1	100.0

Tablo 4.11. Japonya'da Kullanılan Susuzlaştırma Ekipmanları Ve Sayıları

<i>Yıl</i>	<i>Vakum Filtre</i>	<i>Filtre pres</i>	<i>Santrifüj</i>	<i>Belt Pres</i>	<i>Screw Pres</i>	<i>Diğer</i>	<i>Toplam</i>
1982	560	262	320	245	10	18	1415
1983	552	284	315	289	13	10	1463
1984	541	294	306	334	13	1	1489
1985	517	325	311	378	17	0	1548
1986	486	333	324	428	20	20	1611
1987	472	324	332	484	23	3	1638
1988	452	326	342	561	24	8	1713

Tablo 4.12. Japonya'da Kurulan Yakma Tesisleri

<i>Ünite Sayısı</i>							
<i>Tip</i>	<i>1982</i>	<i>1983</i>	<i>1984</i>	<i>1985</i>	<i>1986</i>	<i>1987</i>	<i>1988</i>
Çok Ocaklı	54	55	55	57	61	71	72
Akışkan yataklı	27	27	36	36	44	52	53
Döner fırın	14	15	15	16	16	20	20
Eritme Ocağı	2	3	3	3	2	2	1
Islak oksidasyon	1	1	1	1	2	2	1
Toplam	102	105	114	117	127	149	151

Japonya'da atıksu çamurlarının yararlı kullanımı hakkında bilgi Tablo 4.13'de verilmektedir. Atıksu çamurlarında büyük miktarda organik madde, azot ve fosfor bileşikleri bulunması, çamurun toprağa serilerek gübre olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Japonya'da çamur bu şekilde de yıllarca değerlendirilmiştir.

Çamurun merkezi arıtımı normalde Tokyo ve Nagoya gibi büyük şehirlerde olur. Son yıllarda Yokohama'da da bu konu için bir plan geliştirilmiştir. Varolan 11 arıtma tesisinden çıkan çamurlar iki çamur arıtma merkezinde 12 boru hattı yardımı ile getirilmektedir. Çamurdaki organik madde anaerobik çürütücü yardımıyla metan gazı olarak geri kazanılıyor ve elektrik güç üretim sistemlerinde enerji kaynağı olarak

Tablo 4.13. Japonya'da Atıksu Çamurlarının Yararlı Kullanımı

		Çamur Hacmi (1000 m³/yıl)					Toplam
Sınıflandırma		Susuz. kek	Kül	Kurumuş çamur	Kompost çamur	Çürümüş çamur	
Tarım ve kırsal kullanım	Belediye idaresi	85	4	4	17	0	110
	Gübre şirketlerine dağıtım	230	3	1	72	1	307
	Alt toplam	315	7	5	89	1	417
Yapı malzemesi		0	37	0	0	0	37
Toplam		315	44	5	89	1	454

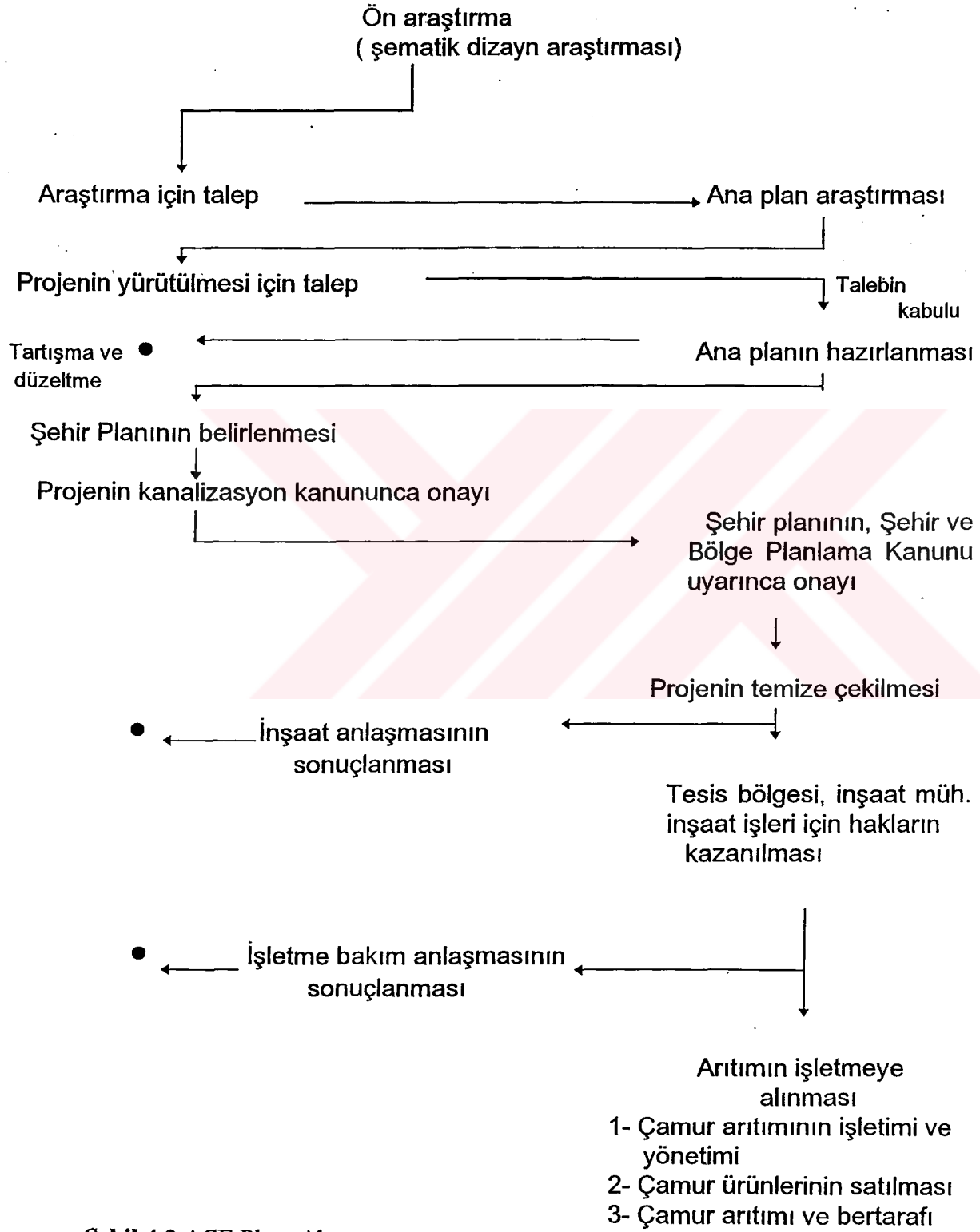
kullanılmaktadır. Çürümüş çamur akışkan yataklı ocaklarda yakılmaktadır. Yerel Kanalizasyon Çamur Arıtım Projesi (ACE Plan) kontrolünde yapılan merkezi çamur arıtma sonunda

1. Ekonomik çamur arıtımı
2. Efektif çevresel ölçümler
3. Çamurun bir kaynak olarak kullanımının sağlanması sonuçları doğmuştur.

Şekil 4.3'de ACE Plan Akışı görülmektedir.

4.4 Yeni Zellanda

Yeni Zellanda Pasifik Okyanusu'nun güneybatısında iki büyük adanın ve sayısız küçük adanın birleşiminden oluşmaktadır. Adanın toplam alanı 270.000 km² dir. Japonya' ya tip olarak benzemektedir. Ülkenin güneyi kuzeyinden daha dağlıktır. Nüfusu 1986' da 3.3 milyon olup, bunun % 74' ü adanın kuzeyinde yaşamaktadır. Yeni Zellandalıların yaklaşık 3/4' ü Avrupalı özellikle İngiliz kökenlidir fakat aynı zamanda Hollanda, Yugoslavya, Almanya ve diğer milletlerden de insanları barındırmaktadır.



Şekil 4.3 ACE Planı Akışı

Yeni Zellanda' da kişi başına dufen ;

Evsel atıksu miktarı 250 lt/kişi/gün

BOI miktarı 65-70 gr/gün olarak bilinmektedir.

Yeni Zellanda' da endüstrilerden kaynaklanan atıksular çok önemli yer tutmaktadır. Özellikle çiftçilik ve orman endüstrisi oldukça önemlidir. Ana endüstriler et, yün, deri, süt endüstrisidir. Bu zamana kadar her endüstrinin kendine ait atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırma (çamurda dahil) sistemleri vardır. Et endüstrisinden kaynaklanan atıksular en geniş grubu göstermekte ve BOI yükü 160 milyon insan eşdeğerinde olmaktadır. 1950 'lerde ise arıtma metodları önem kazanmış ve septik tanklardan vazgeçilmeye başlanmıştır.

Yeni Zellanda da yılda 40.000 ton kuru evsel kaynaklı çamur üretildiği ve önümüzdeki on yıl içinde 55.000 tona yükseleceği tahmin edilmektedir. Yeni Zellanda'daki çamur arıtma teknolojileri yoğunlaştırma, susuzlaştırma, biyolojik stabilizasyon ve termal prosten ibarettir.

4.4.1 Yoğunlaştırma:

Çamur arıtma tesislerinde, çamurun % 15 'i gravite yoğunlaştırma kullanılarak % 2 'si mekanik susuzlaştırıcılar ile ve geri kalanı da çöktürme işleminin bir parçası olarak yoğunlaştırılmaktadır. Filtre pres ve santrifüjler yoğunlukla kullanılmaktadır.

4.4.2 Biyolojik Stabilizasyon ve Termal Proses

Evsel kaynaklı 40.000 ton/yıl kuru çamurun :

- * % 5 'i soğuk (ısıtılmamış) anaerobik çürütme
- * % 84'ü ısıtılmış (mezofilik) anaerobik çürütme
- * % 1 'i yakma
- * % 4 'ü stabilize olmamış halde uzaklaştırma metodları ile arıtılıyor.

Yukarda bahsedilen yüzdeler tahminidir. Çamurun kimyasal stabilizasyonu çok kullanılan bir metod değildir ve stabilize olmuş çamurun ağırlıkça % 30 'u depolanarak açık çamur depolama lagünlerinde doğal susuzlaştırılmaktadır. Tablo 4.14. Yeni Zellanda'da Evsel Çamur Uzaklaştırma Bölgelerinin yerleri ve miktarları hakkında bilgi vermektedir.

Yeni Zelanda' da çamur arıtımı ve uzaklaştırılması geçmişte anaerobik çürütücü, karaya uzaklaştırma gibi yöntemler kullanılarak yapılyordu. Yeni atıksu yönetimi projelerinde çamur yönetimi başlangıçta yapılmış ve, proses ve prosedürler bu plan etrafında uygulanmıştır. Bu esaslar;

- Basit esnek ve toplu çamur arıtma uzaklaştırma opsiyonlarını adapte etmek
- Evsel çamurların yeniden kullanmayı bilmek ve mümkün olduğu kadar ekonomik geri kullanmasını sağlamaktır.

Tablo 4.14. Evsel Çamurların Uzaklaştırma Şekli ve Miktarı

Yılda Atılan Kuru Madde Miktarı			
Metod	1985	1991	2000 (Tahmin Değeri)
Çiftlik/ Bahçeler	15000	7200	14300
Orman	500	800	9300
Saha Uygulamaları	500	800	3300
Kara Doldurma	14000	11800	22000
Deniz	0	0	0
Termal bozma(yakma)	2000	2400	2750
Diğer	3000	17000	2750
Toplam	35000	40000	55000

4.5 Kanada

Evsel çamurlar evsel atıksu arıtımı ürünü olarak zengin nütrient ve organik madde ihtiva ederler. Arıtma nitesinden çıkartılmalı ve uzaklaştırma metodları; okyanus, yakma, karaya boşaltma ve tarımda yararlı kullanımdır. Son yıllarda enerji kazancı ve yararlı kullanım metodunda bir artış gözlenmektedir.

Yalnız şu kabul edilmiştir ki çamurun tarımda kullanımında toprakta ağır metal birikimine yol açabilme riski minimize etmek için düzenlemeler yapılmalıdır. Bunun için Kanada dahil bir çok ülkede çalışmalar yapılmıştır.

Tablo 4.15. da Kanada nüfusu ve tahmin edilen evsel çamur miktarı gösterilmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi 1981 de tahmin edilen toplam çamur üretiminin % 29' u

tarımda kullanılmakta, % 37'si araziye boşaltma, yakma, ve okyanusa gömme ile uzaklaştırılmaktadır. Çamurun tarımda iyileştirilmesi Kanada'da oldukça başarı ile uygulanmaktadır ve oldukça ucuz bir yöntemdir. Kanada'da yapılan araştırmalar göstermiştir ki toprakta tahmin edilen maksimum metal değeri bile hayvanlar veya insan sağlığı problemlerine sebep olacak kadar etkili değildir. Sadece çok az miktarlardaki çamur içindeki ağır metal konsantrasyonundan dolayı tarımda kullanımı uygun bulunmamıştır.

Tablo 4.15. Kanada Nüfusu Ve Tahmin Edilen Evsel Çamur Miktarı

Bölge	Nüfus (10 ⁶) kişi			Stabilize edilmiş çamur(10 ³ ton)		
	Toplam	Sewered	Kanalizasyon arıtma	Toplam	Atılan	Tarımsal kullanım
Kanada	24.1	17.8	11.6	422	158	122

4.6 Norveç

Norveç halk sağlığı ve çevre otoriteleri atık çamurun işleme ve uzaklaştırılması için bir yasa çıkarmıştır. Böylece tarım alanlarında ve yeşil alanlarda sadece yüksek kaliteli çamur kullanılması sağlanmıştır. Son 15-20 yıldır bir çok arıtma tesislerinde çamurdaki ağır metal miktarının azaltılması sağlanmıştır. Sağlık riskleri ve evsel çamurlardan koku problemi çamurun stabilizasyonu ve dezenfeksiyonu ile yapılan arıtma prosesleri sayesinde elimine edilmiştir.

1976' da Norveç halk sağlığı otoriteleri çamurun tarımda kullanılmasına ilişkin bir rapor sunmuştur. 1982'de de kirlilik kontrol otoriteleri ve halk sağlığı otoriteleri Norveç'te arıtma çamurlarının geçici depolanması ve son uzaklaştırmasına yönelik ortak bir rapor sunmuştur. Bu raporlar çamurun tarım alanlarında ve yeşil alanlarda kullanılmasını tavsiye etmektedir. En çok kullanılan çamur arıtma yöntemi (% 20-25 katı madde miktarına ulaşmak için minimum 6 ay en az 2 ay yaz ayı olmak şartı ile) ham çamurun susuzlaştırılmasıdır.

1980'li yılların ikinci yarısında stabilize olmamış arıtma çamurların tarım arazilerinde kullanılması çamur depolama sitelerine yakın yerlerde yaşayan insanların şikayetlerine sebep olmuştur. Bu durum arıtma çamurlarında toksik

kavramını da gündeme getirmiştir. Çalışmalar 1994'te tamamlanmıştır ve Ocak-95'de Norveç halk ve çevre otoriteleri çamur uzaklaştırılması ile ilgili ortak bir yasa çıkartmıştır. Bu yasa Eylül-96' da onaylandı ve arazilerde kullanılacak çamurdaki ağır metal limit değeri böylece belirlenmiş oldu.

Norveç'te arıtma çamurlarının kara uygulamaları için en önemli kriterler:

- Toprağa herhangi bir arıtma çamuru eklemeden önce topraktaki maksimum ağır metal miktarı Avrupa Birliği direktifinde sunulan daha küçük bir limite benzer.
- Bugüne kadar arıtma çamurundaki organik mikrokirletici miktarı hakkında limit değeri yoktur.

Şu anda yetkililer Norveç'teki arıtma tesislerinde yapılan araştırmalarda altı grup organik madde için çamurlar analiz edilmektedir:

* Çamurun arazide kullanılması için çeşitli ürün kısıtlamaları söz konusudur. Çamurun uygulandığı (yayıldığı) arazi üzerinde 3 yıl kadar sebze, patates, meyve yetiştirilmesine izin verilmemektedir.

* Atık çamur uygulama oranı tarımsal kullanım için 20 ton/ha /10 yıl. Bazı özel durumlarda bu oran 30' a çıkarılabilir.

- Kullanılacak bütün çamurlar stabilize ve dezenfekte edilecektir. Çamur dezenfeksiyonu aşağıdaki kriterleri sağlayacaktır.

- Salmonella sp. 50 gr. çamurda bulunmamalı,
- Bağırsak solucanı yumurtası gözlenmemeli,
- 1gr. kuru madde de 2500 den fazla fecal koliform görülmemeli,
- Likit çamur araziye yayılamaz ve donmuş bölgelere çamur tatbik edilemez.

Stabilize çamur için kriter verilmemiştir.

4.6.1 Atık Çamurdaki Ağır Metal Ölçümü

Atık çamurdaki ağır metal miktarının azaltılması kaynağındaki ağır metal kontrolünün yapılması ile mümkündür. Norveç 'te endüstriyel atıksular 1970 'li yılların başından beri kirlilik kontrol yönetmeliğine tabi tutulmaktadır. Bir çok küçük ve orta tipte endüstrilerin (metal son işlemler endüstriye dahil) atıksuları her 2-3 yılda bir kontrol edilmektedir. Evsel atıksularda kontrol biraz daha komplikedir. Her belediye sadece o bölge sakinlerinin ürün ve atıklar hakkında bilgi verebilir. Fakat yetkililer, otoriteler ağır metal içeren ev ürünlerinin kullanılmasını önleyici tedbirler olarak daha etkili bir kontrol sağlayabilir. Taşıt trafiği veya yağmur suları da ağır metal kaynaklarını oluşturur. Buradan kaynaklanan ağır metalin kontrolü oldukça problemlidir.

4.6.2 Atık Çamurun Stabilizasyonu ve Dezenfeksiyonu

Norveç Su ve Atıksu Birliği tarafından 6 değişik proses sunulmuştur. Bunun kısa bir özeti aşağıda verilmiştir.

4.6.2.1 Kireç Arıtımı

Susuzlaşmış çamura kireçtaşı ilavesi Norveç 'te oldukça yaygın bir dezenfeksiyon yöntemidir. Yüksek kireç dozajı stabilizasyonda oldukça yüksek verim sağlamaktadır. Fakat oluşturacağı çamur miktarının çokluğu ve bunun işletme gideri problem yaratmaktadır. Kireç ile arıtmada çamurun araziye yayılarak uzaklaştırılma obsiyonu çok kullanışlı olduğu için Norveç 'te hemen tüm kireç ile arıtım yapan tesisler sonra araziye yayma şekliyle çamuru uzaklaştırmaktadır.

4.6.2.2 Kompostlaştırma

Bir çoğu küçük tesis olmak üzere 14 tesiste bu yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem dizaynda ve işletmede değişiklikler yapılabilen bir prosestir. Yerel şartlar (çamurdaki katı madde miktarı , uygun ekipmanlar vs.) ve işletme stratejisi tesisten tesise değişiklik göstermektedir. Proses kontrolü dezenfeksiyon kriterlerini sağlayan kaliteli kompostlaştırma için her zaman yeterli değildir. Kuru ve sıcak havalar bakteriyolojik şartlar için çok olumludur.

4.6.2.3 Termofilik Aerobik Çürütücü (Islak Kompostlaştırma)

Bu güne kadar Norveç'te sadece bir atıksu arıtma tesisi bu metodla çalışmaktadır. Varnes tesisi 10.000 nüfus eşdeğeri bir kapasiteyle çalışmaktadır. Bu tesisten alınan sonuçlar 1994 yılında yayımlanmıştır ve 2.5 yıl sürdüğü deneyler şu şekilde özetlenebilir. Ham çamurda minimum katı madde konsantrasyonu % 3.5-4 sağlanmış ve ortalama uçucu katılar % 38-43 'e düşürülmüştür.

4.6.2.4 Termofilik Aerobik Ön Arıtma ve Aerobik Çürütücü

Toplam 8 tane tesis bu metodla çalışmaktadır ve 7 tanesi ile ilgili çalışma yapılmıştır. Söz konusu 7 adet çalışma İsviçre ve Almanya'daki tesis çalışma şekilleri baz alınmıştır. Genel fikir, bu prosesin yeni kanunlara tamamen uygun ve etkilidir. Daha önceki tartışmalar anaerobik ön arıtma aşamasından dolayı gaz artışı ve azaltımı hakkında bir bilgi vermemekte fakat anaerobik çürütmenin birincil biyolojik çamur bölümü için gaz üretimi azalan uçucu katı madde başına belirlenmiştir. (0.8-1.2m³ gaz/kg. azalan uçucu katı madde miktarı)

4.6.2.5 Ön Pastörizasyon ve Anaerobik Çürütücü

Norveç'te , sadece üç tesis bu şekilde çalışmakta ve iki tanesi yaklaşık altı yıldır işletmededir. Deneyler termofilik aerobik ön arıtma ile aynı olduğunu ve dezenfeksiyon performansının çok iyi olduğunu göstermiştir.

4.6.2.6 Anaerobik Çürütücü ve Termal Kurutma:

Sadece Stavenger şehri yakınındaki IVAR tesisi çamur dezenfeksiyonu ve stabilizasyonu amacıyla bu metotla çalışmaktadır. Diğer tesisler planlama aşamasındadır. İlk iki yıl içinde kurutma aşamasında işletme ekipmanlardan kaynaklanan mekanik problemlerle karşılaşmıştır. Birçok problem hala çözülebilmemiş değildir. Bir diğer problem kurutucudan kaynaklanan egsoz gazının yarattığı koku problemidir. Genelde hava aktif karbon filtresinin akabinde iki aşamalı scrubber (gaz yıkama ünitesinden) geçirilir. Bu arıtma yeterli değildir ve yıkanmış gaz kurutma için tekrar ısıtılmak üzere boilere geri döndürülür.

4.6.3 Sonuçlar

1. Arazilerde kanalizasyon çamurunun döngüsünün artması için Norveç stratejisi; kku probleminin ve sağlık risklerinin etkili kontrolü sağlanan ve düşük seviyeli toksik elementler içeren yüksek kaliteli biosolidlerin üretimini baz almıştır.
2. Kanalizasyon çamurundaki ağır metallerdeki kaydadeğer azalma son 15-20 yılda başarıya ulaşabilmiştir. Bunun için kaynakta kontrol, endüstrideki temizleme teknolojileri, ölçümlerin kombinasyonu çalışmaları yapılmıştır.

Çamur stabilizasyonu ve dezenfeksiyonu için altı farklı proses son yıllarda uygulama alanı bulmuş ve bunun sonuçları yayınlanmıştır.



5. İSTANBUL'DA ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ ARITILMASI VE UZAKLAŞTIRILMASI

5.1 Genel

İstanbul sürekli büyüyen ve mevcut nüfusu yaklaşık 10 milyon olan büyük bir şehirdir. Buna rağmen İstanbul'un altyapı sorunu çözülmuş değildir. Atıksu uzaklaştırma ve arıtma konusunda son yıllarda yapılan yatırımlara rağmen henüz tamamen çözülmemiştir. İstanbul atıksularının insan sağlığını ve çevreyi en az etkileyecek şekilde kapsamlı bir atıksu yönetimi planlamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla geçmişte bir takım çalışmalar yapılmıştır. Bunların ilki 1966 – 1970 yılları arasında hazırlanmış olan DAMOC projesidir. Bunu başka çalışmalar izlemiştir. Ancak yatırımlar çeşitli sebeplerden dolayı geciktiği için tutarlı bir politika izlenememiştir. Bu arada atıksu arıtımı ile ilgili çok sayıda masterplan ve araştırma yapılmış olmasına rağmen atıksu kontrol maliyetinin yaklaşık % 50 'sini oluşturan çamur arıtımı konusunda kapsamlı bir çalışma ilk olarak 1993'te yapılmıştır. Çok sayıda endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin çamurlarını nasıl bertaraf ettiği bilinmemektedir.

İstanbul'dan kaynaklanacak atıksu arıtma çamurlarının bertarafı ile ilgili ilk çalışma "Evsel ve Endüstriyel Atık Çamurların Yönetimi" adında Mayıs 1993'de tamamlanmıştır. Çalışma toplam olarak İstanbul'da 12 adet atıksu arıtma tesisi kabulünü yapmış ve bu tesislerde evsel ve ön arıtmadan geçmiş endüstriyel atıksuların arıtılacağı kabul edilmiştir. İstanbul'da 1500 adet endüstri olduğu kabulü ile hesaplar yapılmıştır. 2020 yılında İstanbul'da 15 milyon kişinin yaşayacağı ve 54 m³/sn atıksu oluşacağı kabul edilmiştir.

Çalışmanın birinci aşamasında evsel ve endüstriyel çamur miktarları tahmin edilmiş ve çamurların özellikleri verilmiştir. İkinci aşamada çamur yönetim alternatifleri maliyet gözönüne alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında

yönetim alternatifleri , çevresel etki ve yasal açıdan değerlendirilmiştir. Dördüncü aşamada ise incelenen alternatiflerden hareketle öneriler geliştirilmiştir. Bu aşamada ayrıca ön boyutlandırma kriterleri, maliyet değerlendirmeleri ve iş planlama çalışmaları yapılmıştır. Endüstriyel ön arıtma çamurları endüstriyel atıksuyun özelliğine, ön arıtma standartlarına ve uygulanan arıtma prosesinin tipine bağlı olarak geliştirilmiş formüllerle hesaplanmıştır. Ayrıca evsel ve endüstriyel çamurların ortak arıtımı değerlendirilmiş ve değişik alternatiflerin maliyeti hesaplanmıştır.

Atıksu çamur yönetimi konusundaki ikinci kapsamlı çalışma halen devam etmekte olan “İstanbul Su Temini, Kanalizasyon ve Drenaj, Atıksu Arıtma ve Uzaklaştırma Masterplan Etüdü” çerçevesinde yapılmaktadır. Bu plandaki çamurla ilgili değerlendirmeler Kasım 1997 tarihli TR 7 raporunda verilmiştir. Bu rapordaki değerlendirmeler esas itibarıyla Mayıs 1993 tarihli çalışmaya dayanmaktadır. Sadece atıksu yönetim stratejisindeki değişikliklere göre bazı düzeltmeler yapılmıştır. Buna göre, kısa vadeli çözümlerin uygulandığı yıllarda çamur uzaklaştırılmasında İstanbul’un mevcut katı atık depolama alanlarının kullanımı, uzun vadeli çözümlerin uygulandığı yıllarda Küçükçekmece ve Tuzla’da yakma tesislerinin planlanıp kurulması önerilmektedir.

Her iki çalışmada da arıtma çamurlarının, gravite ile yoğunlaştırma, anaerobik çürütme (Tuzla ve Küçükçekmece’de yakma), santrifüj ile susuzlaştırmadan sonra düzenli depolamaya verilerek bertarafı önerilmektedir. Bu önerilerin ilk yatırım maliyeti 235 milyon USD, işletme maliyeti ise 70 milyon USD mertebesinde. Toplam maliyetin 2.335 milyar USD olduğu ve toplam maliyet içinde işletme maliyetinin % 90’lık bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu kadar büyük bir yatırımın planlanmasından önce kapsamlı araştırmalara ihtiyaç olduğu açıktır.

İstanbul’da arıtma çamurlarının yönetiminde karşılaşılan güçlüklerin başında arazi darlığı gelmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi İstanbul Türkiye’nin en kalabalık ilidir ve her geçen gün de nüfusu artmaktadır. Bu da arıtma çamurlarının arazide depolanması alternatifini ekonomik açıdan çok uygun olduğu halde, arazi darlığı sebebi ile önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca arıtma çamurlarının depolanması çevre ve insan sağlığının olumsuz etkilenmemesi için stabilizasyon işlemini gerektirmektedir. Bu da kuru çamur miktarında ciddi biçimde artış sağlamaktadır.

Arıtma çamur yönetiminde karşılaşılan bir diğer güçlük arıtma tesislerinin birbirinden uzaklığıdır. Birbirine en yakın arıtma tesisleri Tepeören, Adalar (Kınalıada, Burgazada, Heybeliada, Büyükada) ve Tuzla arası ; Büyükçekmece ve Küçükçekmece arası ; Paşaköy ve Riva arası'dır. İSKİ Çamur Yönetim çalışması bu noktadan hareketle bütün arıtma çamurlarının Baltalimanı, Tuzla, Küçükçekmece ve Riva'da toplanmasını önermiştir. Bu olay İstanbul trafiğini olumsuz yönde etkileyebilecektir. Her ne kadar Asya-Avrupa yakası arasında çamur nakli yapılmayacak ise de çamur taşınacak tesisler arasındaki karayollarında trafiğin yükünü azaltacak birtakım önlemler alınmalıdır.

5.2. İstanbul Arıtma Tesisleri

5.2.1 Mevcut Deniz Deşarjları

Mevcut Üsküdar ve Yenikapı ilk arıtma tesisleri Boğaz'ın güneyinde Marmara Denizi girişi yakınında yer almaktadır. Bu tesislerin çıkış suları Boğaz'ın alt akıntısına deşarj edilmektedir.

Yenikapı ilk arıtma tesisi çıkış suları 2380 m uzunluğunda bir deniz deşarjı ile Ahırkapı'da denizin 60 m derinliğinde verilmektedir. Borular nihai aşamada 12 m³/sn'lik bir debiyi deşarj edebilecek bir şekilde inşa edilmiştir.

Üsküdar ilk arıtma tesisi çıkış suları; 422 m uzunluğunda bir boru hattı ile 40 m derinliğe deşarj edilmektedir. Sistemin tek deşarj hattı ile 2020 yılına kadar hizmet vereceği düşünülmüştür. Borular 2.07 m³/sn'lik pik debiyi deşarj edecek şekilde inşa edilmiştir.

Büyükada ve Burgazada'da da deniz deşarjları bulunmaktadır. Bu deniz deşarjları arıtılmamış atıksuyu Marmara Denizi'ne vermektedir. Her iki deniz deşarjı da polietilen borularla inşa edilmiş olup Büyükada'ya hizmet veren 500 mm çaplı deniz deşarjının uzunluğu 50 metresi karada olmak üzere 2173 m'dir. Burgazada'ya hizmet veren 350 mm çaplı deniz deşarjının uzunluğu 80 metresi karada olmak üzere 1025 m'dir.

Bunların dışında halihazırda proje alanında oluşan atıksular ve yağış suları hemen kıyıdan Marmara Denizi ve Boğaz'a boşaltılmaktadır.

5.2.2 Kısa Vadeli Çözümler

İstanbul'da hem halihazırda sahillerdeki her tür rekreatif kullanımı engelleyen ve doğrudan halkın sağlığını tehdit eden , doğrudan atıksu deşarjlarından kaynaklanan durumun önüne geçilmesi; hem de büyük yatırımlar yapılan atıksu toplama-uzaklaştırma sistemlerinin gerçek amaçlarına hizmet eder hale getirilmesini sağlamak üzere, uzun vadeli çözümlere bir geçiş niteliğinde kısa vadeli çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır Bu çözümler oluşturulurken temel ilke mali kaynaklarla azami fayda elde etmektedir. Kısa vadeli çözümlerin hedefleri şunlardır:

- Bütün sahillere yayılmış kirliliği önlemek ve hiç olmazsa belli sahil kesimlerinde koli, standartlarını sağlayarak bunları dinlenme maksatlı kullanıma açmak
- Atıksuların sahillerden uzaklaştırılmış deşarj etki alanlarında önemli çözülmüş oksijen eksikliği problemleri yaratmamak
- Marmara Denizi'nde hali hazırda yüzey boşalımlarından gelen atık yüklerini azaltmak suretiyle birincil üretimi kontrol altına almak
- Genel stratejilerin kriterlerini gözardı etmeden kalıcı uzun vadeli çözümler için bir başlangıç yapmak

Buna göre eldeki mali kaynaklar da göz önüne alınarak günümüzden en az 2010 yılına kadar hizmet verecek şekilde devreye alınacak arıtma –uzaklaştırma sisteminin esasları:

- İkinci derece arıtma sonrası derin deniz deşarjı ile Marmara Denizi'ne boşaltma yapacak Tuzla arıtmayı acilen devreye almak
- Uzun vadede Marmara Denizine boşalmasına karar verilen Avrupa yakası deşarjlarının Büyükçekmece ilk arıtma ve Küçükçekmece ikinci arıtma sonrası devreye alınması ve halen işletilen Yenikapı ve Baltalimanı deşarjları ile birlikte Avrupa Yakasında atıksu oluşturmaya sorun olmaktan çıkarmak
- Tuzla havzası dışındaki Asya Yakası atıksularının, tamamını ilk arıtmalar sonrası derin deniz deşarjları ile Boğaz'ın alt akımına boşaltarak, Karadeniz alt tabakasına tabii yollarla taşınımı sağlamak

- İçme suyu rezervuarını tehdit eden Ömerli Havzası atıksularını toplayarak; bir taraftan Paşaköy üçüncü derece arıtma üniteleri tamamlanıncaya kadar ilk kademedeki Tepeören atıksularını ikinci derece arıtmadan geçirip Riva deresi ile Karadeniz'e taşımak ve bir taraftan da toplayıp Tuzla arıtmaya iletmek
- Adaların ve Batı Marmara atıksuların ikinci derece arıtma sonrası derin deniz deşarjı ile Marmara Denizi'ne boşaltmak

Bu esaslara göre bütün deşarj yerlerindeki genel karakteristik bilgileri Kısa Vadeli Plan'a göre Tablo 5.1 'de verilmiştir. Kısa vadeli çözüm süresince aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

- Yapılacak derin deniz deşarjlarının yayılma karakteristiklerini belirlemek üzere 3 boyutlu model çalışması yaptırılmalıdır.
- Deşarjlar öncesi su kalitesi ve sediment özelliklerini belirlemek üzere deşarjların etkili olabilecekleri bölgelerde deneysel çalışmalar başlatılmalı ve deşarjların işletilmesinden sonra da bu çalışmalar devam edilmelidir.
- İzleme sonuçlarını değerlendirmek üzere İSKİ'de bir veri bankası kurulmalıdır.
- Özellikle toksik ve zararlı atık üreten sanayilerden başlayarak etkin bir denetim programı başlatılmalıdır.
- Riva Deresi ve derenin Karadeniz çıkışına ait kapsamlı bir izleme ve modelleme çalışması gerçekleştirilmeli ve Paşaköy'de arıtılmış suların deşarjının etkileri araştırılmalıdır.
- Boğaz boyunca akımların ve Karadeniz ile Marmara Denizi su seviyelerinin sürekli izlenmesi için sabit istasyonlar kurulmalı
- Küçükçekmece'deki arıtma tesisinin ve deşarj yerinin değiştirilmesi için muhtemel alternatifleri araştırmak üzere gerekli etüdler yaptırılmalı ve deşarj projesi acilen hazırlatılmalıdır.

Tablo 5.1. Kısa Vadeli Master Plan Çözüm Önerileri (İstanbul Su Temini Kanalizasyon ve Drenaj Atıksu Artıtma ve Uzaklaş. Master Plan Etüdü (1993-1997)

Deşarj Yeri	Havza Alanı (ha)	Hizmet Nüfusu	Ort. Debisi m ³ /gün	Artıtma Derecesi	Deşarj BOI	Atık N	Yükleri P	Deşarj Tipi	Tutulma Derinliği	Deşarj Derinliği	Deşarj Ortamı
Avrupa Yakası											
Batı Marmara	55600	68500	21100	ikinci	---	---	---	Derin	25	40	Marmara
Büyüçekmece	13000	388000	95000	ikinci	---	---	---	Derin	25	39	Marmara
Küçükçekmece	27500	2974000	622000	ikinci	12440	21148	3048	Derin	25	35	Marmara
Yenikapı	11600	2575000	546000	ilk	76440	22386	3057	Derin	40	55	Boğaz
Baltalımanı	12300	1406000	290000	ilk	40600	11890	1624	Derin	40	70	Boğaz
Terkos		9000	2100	ikinci	42	71	10	Yüzey	Y	0	Terkos Dere
Kilyos	130	2700	600	birinci	72	20	3	Derin	40	70	Karadeniz
Asya Yakası											
Tepeören		214000	62000	---	---	---	---	---	---	---	Tuzla Ar.
Tuzla	21000	2173000	487000	ikinci	9740	16558	2386	Derin	25	49	Marmara
Paşaköy		1022000	296000	birinci	---	---	---	Yüzey	Y	0	Riva Dere
Riva (küçüküsu)	4200	768000	166539	ilk	23310	6826	932	Derin	40	70	Boğaz
Kadıköy	11000	1994000	432396	ilk	60480	17712	2419	Derin	35	55	Boğaz
Paşabahçe	4300	108000	23419	ilk	3290	964	132	Derin	40	70	Boğaz
Üsküdar		335000	72645	ilk	10178	2980	407	Derin			Boğaz
Adalar (4Ada)	1080	105400	26900	ikinci	---	---	---	Derin	25	50	Marmara

İlk Artıtma Çıkışı : BOI=140 mg/lt, Top. N=41 mg/lt, Top P=5,6 mg/lt alınmıştır.

Birinci Artıtma Çıkışı : BOI=120 mg/lt, Top. N=34 mg/lt, Top P=5,6 mg/lt alınmıştır.

İkinci Artıtma Çıkışı : BOI=20 mg/lt, Top. N=34 mg/lt, Top P=4,9 mg/lt alınmıştır.

5.2.3 Uzun Vadeli Arıtma ve Uzaklaştırma Sistemleri

Uzun vadeli çözümlerin hedefi Marmara Denizi'nde ve İstanbul Boğaz'ında ötrofikasyonun önlenmesidir. İhtiyaç duyulan deniz su kalitesi standartlarına ulaşmak için tercih edilecek uzun vadeli arıtma ve uzaklaştırma sistemleri esasları aşağıda verilmiştir:

- Atıksuların Marmara Denizi'ne üçüncü derece arıtma sonrası derin deniz deşarjı ile boşaltılması
- Boğaz'a sadece Marmara Denizi'ne boşaltılamayan Avrupa Yakası atıksularının birinci derece arıtma sonrası derin deniz deşarjları ile boşaltılması
- Tuzla arıtma havzası dışında kalan Asya Yakası atıksularının Kadıköy'e ve Göksu'ya veya Göksu'ya taşınarak, birinci derece arıtma sonrası derin deniz deşarjları ile boşaltılması veya Riva'ya tünelle taşınarak Karadeniz'e deşarjı

Bu esaslara göre bütün deşarj yerlerindeki genel karakteristik bilgileri Uzun Vadeli Plan'a göre Tablo 5.2.'de verilmiştir. Sistemlerin uygulanmasından önce aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir

- Riva'dan Boğaz çıkışına yapılacak deşarj hattı güzergahı için Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın kriterleri belirlenmelidir.
- Riva'da, gelecekteki gelişmelere göre muhtemel arıtma ünitelerinin veya derecelerinin arttırılması gereğine karşı ve bununla birlikte ortaya çıkabilecek çamur yakma tesisi için yeterli alan bırakılmalıdır.
- Marmara Denizi'nde birincil üretimde kısıtlayıcı besin maddesi veya maddeleri, bunların varsa mevsimsel değişimlerini belirlemek üzere kapsamlı bir araştırma yaptırılmalı; üçüncü derece arıtmada giderilecek parametreye bu araştırmanın sonucunda karar verilmelidir.
- Riva Deresi ve derenin Karadeniz çıkışına ait kapsamlı bir modelleme ve izleme çalışması gerçekleştirilmeli; Paşaköy deşarjının gerek derede gerekse Karadeniz sahilinde ekosisteme etkileri belirlenmeli ve risk analizleri yapılmalıdır.

- Aynı gaye ile Bıyıklı Dere ve derenin Marmara Denizi çıkışına ait kapsamlı bir modelleme ve izleme çalışması gerçekleştirilmeli
- Paşaköy deşarjının gerekirse ileri arıtmalar yapılarak ve arazide filtrasyon yapıları oluşturarak Ömerli Rezervuarı'nı beslemesi durumu araştırılmalıdır.
- Aynı şekilde Büyükçekmece ve Küçükçekmece Göllerine arıtılmış suyun besleme durumu ve fizibilitesi araştırılmalıdır
- Özellikle Küçükçekmece Gölünde ekolojik bir lagün modeli yaptırılarak, Sazlıdere akımının kesilmesi sonucu Göl ekosistemine oluşacak değişimlere karşı, arıtılmış suyun deniz deşarjı yerine göle boşaltılmasının etkileri araştırılmalıdır.
- Tuzla arıtma tesisine bağlanacak Darıca ve Gebze Organize Sanayi sitelerindeki gelişme izlenmelidir.
- Proje alanı yağmur drenaj sularının Marmara Denizi'ne boşalttığı besi maddesi yükü araştırılmalı ve üçüncü derece arıtmaların zamanlamasında bu yükler de gözönünde tutulmalıdır.

Uzun vadeli izleme için aşağıdaki programlar tavsiye edilmiştir :

- İstanbul Büyükşehir sahası içindeki Marmara Denizi, Boğaziçi ve Karadeniz sahilleri boyunca rekreasyon plajlarında ve ticari ve özel amaçla toplanan midye yataklarında bakteri sayımları yapılacaktır. Bu durum İstanbul Hıfzısıhha Enstitüsünün geçmiş yıllarda yapmış olduğu incelemelerin bir devamıdır. Ancak, yeni önerilen programda ölçülen parametreler, fekal koliform ve fekal streptokok olacaktır. Örneklem istasyonları sahil hattında beşer km'lik aralıklarla yerleştirilmeli ve ayda en az bir kere örneklem yapılmalıdır.
- Boğaziçinin alt tabakasına verilen deşarjların etkilerini, etkilerini gözlemlemek için Boğaziçi boyunca on yerde enine ve boyuna yapılacak bakteri taramaları. Toplanan örnekler, fekal koliform ve fekal streptococcus yönünden test edilmelidir. Bu gibi etüdler iki senede bir yapılmalıdır.

Tablo 5.2. Master Plan Uzun Vadeli Çözüm Önerileri (2040) (İstanbul Su Temini Kanalizasyon ve Drenaj Atıksu Arıt. ve Uz. Master Plan Etüdü (1993-1997))

Deşarj Yeri	Havza Alanı (ha)	Hizmet Nüfusu	Ort. Debisi m ³ /gün	Arıtma Derecesi	Deşarj BOI	Atık N	Yükleri P	Deşarj Tipi	Tutulma Derinliği	Deşarj Derinliği	Deşarj Ortamı
Avrupa Yakası											
Batı Marmara	55600	193000	59300	üçüncü	593	593	59	Derin	25	40	Marmara
Büyükçekmece	13000	1239000	334000	üçüncü	3340	3340	334	Derin	25	39	Marmara
Küçükçekmece	27500	3756000	1017000	üçüncü	10170	10170	1017	Derin	25	35	Marmara
Yenikapı	11600	3160000	833000	birinci	119952	35819	5331	Derin	40	55	Boğaz
Baltalımanı	12300	1733000	443000	birinci	63792	19049	2835	Derin	40	70	Boğaz
Terkos		11000	3000	üçüncü	30	30	3	Yüzey	Y	0	Terkos Dere
Kilyos	130	5100	1300	birinci	187	56	8	Derin	40	70	Karadeniz
Asya Yakası											
Tepeören		257000	77300	üçüncü	773	773	77	Yüzey	Y	0	Bıyıklı Dere
Tuzla	21000	3401000	912000	üçüncü	9120	9120	912	Derin	25	49	Marmara
Paşaköy		1071000	322000	üçüncü	3220	3220	322	Yüzey	Y	0	Riva Dere
Riva (küçüksu)		4005000	1031000	birinci	148464	44333	6598	Derin	50	60	Karadeniz
Adalar (4Ada)	1080	112100	32000	üçüncü	320	320	32	derin	25	50	Marmara

Birinci Arıtma Çıkışı : BOI=144 mg/lt, Top. N =43 mg/lt, Top. P=6.4 mg/lt alınmıştır.

İkinci Arıtma Çıkışı : BOI=24 mg/lt, Top. N =36 mg/lt, Top. P=5.6 mg/lt alınmıştır.

Üçüncü Arıtma Çıkışı : BOI=10 mg/lt, Top. N =10 mg/lt, Top. P=1.0 mg/lt alınmıştır.

- Halen kurulmuş bulunan istasyonlarda ve yenileri inşa edildiğinde bunların çevresinde ve Marmara Denizi'nin üst ve alt tabakalarının kesitleri boyunca yapılacak çözülmüş oksijen, oksitlenmiş azot ve fosfat ölçüm çalışmaları. Bu program bir yıl boyunca aylık olarak yapılmalı ve her beş senede bir tekrarlanmalıdır.
- Her on senede bir, Karadeniz ve Ege Denizi dahil olmak üzere tüm şehirlerden, gübre tesislerinden ve noktasal olmayan yağmursuyu kaynaklarından gelen besi maddesi yüklerinin bir etüdü yapılmalıdır.
- Özellikle Boğaz'ın kuzey ucunda, Marmara Denizi ve/veya Boğaziçi'nde barınan çeşitli balık yataklarının durumunun etüd edilmesi. Bu etüd iki senede bir yapılmalıdır.
- Haliç, İzmit körfezi ve Küçükçekmece'ye bağlanan kanal da dahil olmak üzere Marmara'nın önemli koy ve körfezlerinin trofik yapısı değerlendirilmelidir.

5.3 İstanbul'da Çamur Yönetimi

İstanbul için atıksu arıtma tesislerinden uzaklaştırılması gereken çamur miktarları ile ilgili tahminler İSKİ için yapılan ve Mayıs 1993'te sonuçlanan "Evsel ve Endüstriyel Atık Çamurlarının Yönetimi" adlı çalışmada yıllara göre verilmiştir. Ancak bu raporun hazırlandığı 1993 yılından bu yana geçen sürede Marmara Denizi, İstanbul Boğazı ve Karadeniz'e çıkış suyu deşarj stratejileri İMC tarafından, 1994'de tamamlanan 3 boyutlu deniz modellemesi çalışmasına dayanılarak yeniden değerlendirilmiştir. Atıksu Arıtma stratejilerindeki değişikliklerin nüfus ve yük tahminlerindeki revizyonların çamur miktarı ve karakteristikleri ile ilgili değerlerde de değişikliğe yol açacağı açıktır.

Sözkonusu 1993 yılında fizibilite çalışmasında yapılan tahminler Master Plan arıtma stratejilerine göre yapılan tahminlerle birarada Tablo 5.3.a ve 5.3.b'de özetlenmiştir.

5.4 Atıksu Çamur Miktarları

5.4.1 Giriş

Çevrenin kirlenmesinde önemli rol oynayan endüstriyel ve evsel kaynaklı atıksuların arıtılması ve daha sonra doğaya verilmesi gerekmektedir. Ülkemizde özellikle son yıllarda bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Bu bölümde İstanbul'daki yoğun nüfus ve sanayiden kaynaklanan atıksuların arıtılması sonucu oluşacak çamur miktar ve özellikleri ile bunların bertaraf yöntemleri üzerinde durulmuştur. Bu çerçevede daha önce İstanbul için yapılmış olan çalışmalar değerlendirilmiş özellikle "Domestic and Industrial Waste Sludge Management Study for Greater Istanbul, May 1993", "İstanbul Atıksu Arıtma Tesislerinden Ortaya Çıkacak Çamur Miktarlarının Belirlenmesi (Gökgöz, E 1998)" ve "İstanbul Su Temini, Kanalizasyon ve Drenaj, Atıksu Arıtma ve Uzaklaştırma Master Plan Etüdü, 1993-97" raporları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Tablo 5.4.'de şimdiye kadar İstanbul'daki çamur miktarını hesaplayan kaynaklar arasındaki bir karşılaştırma yapılmıştır. İSKİ 1993 raporunda ve Gökgöz E. (1998)'de kısa, orta ve uzun vadeli miktarlar hesaplanmış olup, Master plan'da kısa ve uzun vadeli değerler belirlenmiştir. Ayrıca İSKİ (1993) ve Master plan'da her bir arıtma tesisi için uygun arıtma stratejileri belirlemiş ve sözkonusu arıtma derecesi için çamur miktarı hesaplanmıştır. Gökgöz E. (1998) ise her bir tesis için birincil, ikincil, üçüncül arıtma derecelerine ilaveten kimyasal arıtma sonucu çıkan çamur miktarlarını hesaplamıştır. Çamur miktarları kıyas tablosundan Gökgöz, E. (1998) hesaplamaları daha ayrıntılı bulunduğu için geleceğe yönelik çamur miktarı tahmininin Gökgöz E. (1998)'deki sonuçları baz alınmıştır. Fakat sözkonusu çalışmada arıtma stratejilerinin kritiği yapılmamıştır bu sebeple Master Plan'daki arıtma stratejileri üzerinden çamur miktarı değerlendirilmiştir. Sonuç tablosu Tablo 5.5'de gösterilmiştir. Sonuç grafikleri de her bir tesis ayrı ayrı gösterilmiştir. Master Plandaki kısa ve uzun vadeli süreler baz alınmıştır. Şekil 5.1'de Tuzla ve Küçükçekmece'ye ait ikinci ve üçüncü derece arıtma sonucu oluşacak çamur miktarları, Şekil 5.2'de Baltalımanı için birinci arıtma, Riva için birinci arıtma, Şekil 5.3'de Paşaköy ve Büyükçekmece için ikinci ve üçüncü arıtma derece arıtma sonucu oluşacak çamur miktarları, Şekil 5.4'de Büyükdada için ikinci ve üçüncü arıtma;

Tablo 5.3.b Çamur Yönetim Çalışması - Asya Yakası Master Plan Evsel Çamur Miktarları Karşılaştırması

Arıtma Tesisleri	Proje Kabulleri					Çamur Üretimi		Master Plan			Çamur Üretimi	
	Yıl	Arıtma Derecesi	Havza Nüfus	Atıksu Debisi lt/sn	İşletme Debisi lt/sn	Havza Alanı	Kapasite kuru ton/gün	Yıl	Arıtma Derecesi	Hizmet Nüfusu	İşletme Debisi lt/sn	Kapasite kuru ton/gün
Riva	1994		3,659,076	8,107		296.00						
	1998	İkinci	3,799,759	9,699	10,140	308.00	249.00	2040	Birinci	4,005,000	11,933	204.30
	2020	Üçüncü	4,682,500	15,596	15,210	380.00	370.00	2040				
Tuzla	1994	Üçüncü	622,079	3,230	2,574	86.00	67.00	2010	İkinci	2,387,000	5,637	186.00
	2000	Üçüncü	988,152	4,868	5,148	126.00	120.00	2040	Üçüncü	3,401,000	10,556	322.20
	2010	Üçüncü	1,799,190	7,902	5,148	197.00	120.00	2040				
Paşaköy	2020	Üçüncü	1,959,514	9,306	10,296	215.00	238.00					
	1994		641,567	1,342		48.10						
	2000	Üçüncü	680,223	1,423	1,736	51.00	62.30	2010	İkinci	1,022,000	3,426	79.30
Tepeören	2010	Üçüncü	755,112	1,580	1,736	56.70	62.30	2040	Üçüncü	1,071,000	3,727	101.90
	2020	Üçüncü	830,000	1,736	1,736	62.30	62.30					
	1994		115,946	242		8.70						
Büyükkada	2007	Üçüncü	132,406	277	313	9.90	11.30	2040	Üçüncü	257,000	895	24.90
	2020	Üçüncü	150,000	313	313	11.30	11.30					
	1994		41,568	85		2.51						
Heybeliada	1995	Üçüncü	42,240	88	98	2.55	2.18	2010	İkinci	36,900	109	2.80
	2010	Üçüncü	47,608	115	98	2.74	2.18	2040	Üçüncü	39,300	130	3.60
	2020	Üçüncü	51,055	130	130	2.87	2.87					
Kınalıada	1994		21,168	43		1.29						
	1995	Üçüncü	21,600	45	36	1.31	0.82	2010	İkinci	35,800	105	2.80
	2010	Üçüncü	24,419	43	50	1.43	0.82	2040	Üçüncü	38,100	126	3.50
Burgazada	2020	Üçüncü	26,313	67	72	1.51	1.62					
	1994		15,372	31	50	0.98						
	1995	Üçüncü	15,840	33	50	0.99	1.15	2010	İkinci	21,100	63	1.70
	2010	Üçüncü	17,902	43	50	1.07	1.15	2040	Üçüncü	22,400	74	2.20
	2020	Üçüncü	19,244	49	75	1.12	1.72					
	1994		9,516	20		0.62						
	1995	Üçüncü	9,600	21	16	0.63	0.36	2010	İkinci	11,600	35	1.00
	2010	Üçüncü	11,311	28	16	0.68	0.36	2040	Üçüncü	12,300	41	1.20
	2020	Üçüncü	12,267	32	32	0.72	0.72					

Tablo 5.3.a Çamur Yönetim Çalışması - Avrupa Yakası Master Plan Evsel Çamur Miktarları Karşılaştırılması

Arıtma Tesisleri	Proje Kabulleri					Çamur Üretimi		Master Plan			Çamur Üretimi	
	Yıl	Arıtma Derecesi	Havza Nüfus	Atıksu Debisi lt/sn	İşletme Debisi lt/sn	Havza Alanı kuru ton/gün	Kapasite kuru ton/gün	Yıl	Arıtma Derecesi	Hizmet Nüfusu	İşletme Debisi lt/sn	Kapasite kuru ton/gün
Kuşukçekmece	1994	Üçüncü	2,642,212	5,863	2,574	197.00	87.00					
	1995	Üçüncü	2,697,735	6,168	6,864	204.00	212.00					
	2000	Üçüncü	2,987,714	7,758	9,439	236.00	230.00					
	2010	Üçüncü	3,681,643	11,728	9,439	316.00	230.00	2010	İkinci	2,974,000	7,199	232.10
	2020	Üçüncü	3,875,672	18,566	21,021	450.00	509.00	2040	Üçüncü	3,756,000	11,771	355.30
Baltalımanı	1994	İkinci	1,592,484	3,815	-	109.00						
	1996	İkinci	1,649,388	4,130	4,433	118.00	122.00					
	2005	Üçüncü	1,751,215	5,210	6,650	142.00	162.00					
	2010	Üçüncü	1,829,233	5,661	6,650	148.00	162.00	2010	İlk	1,406,000	3,356	13.10
	2020	Üçüncü	1,985,267	6,561	6,650	160.00	162.00	2040	Birinci	1,733,000	5,127	88.80
Büyükkçekmece	1994	Üçüncü	302,800	810	-	24.20						
	1995	Üçüncü	318,300	871	892	25.50	24.40					
	2000	Üçüncü	395,800	1,173	1,338	31.60	30.60					
	2010	Üçüncü	499,775	1,650	1,338	40.00	30.60	2010	İkinci	388,000	1,100	30.80
	2020	Üçüncü	603,750	2,127	2,230	48.40	50.80	2040	Üçüncü	1,239,000	3,866	117.30
Terkos	1994	Üçüncü	2,700	6		0.19						
	2000	İkinci	3,000	7	13	0.21	0.35					
	2010	İkinci	4,000	10	13	0.28	0.35	2010	İkinci	9,000	24	0.70
	2020	İkinci	5,000	13	13	0.35	0.35	2040	İkinci	11,000	35	1.10

Tablo 5.4. Çamur Miktarlarının Belirlenmesi

TESİS	YILLAR	İSKİ (1993) kurutma/gdn			GÖKGÖZ, E., (1998) kurutma/gdn			MASTERPLAN (1997) kurutma/gdn		
		İKİNCİ	ÜÇÜNCÜ	BİRİNCİ	KİMYASAL	İKİNCİ	ÜÇÜNCÜ	BİRİNCİ	İKİNCİ	ÜÇÜNCÜ
RİVA	1998	308								
	2010			130,36	286,63	195,329	221,02			
	2020	380		174,9	380,92	259,255	294,89			
	2040			222,56	484,36	327,566	373,84	204,3		
TUZLA	2000		126							
	2010		197	94,4	212,39	141,354	160,02		186	
	2020		214	148,2	330,59	219,369	249,64			
	2040			189,2	416,74	278,484	317,83			322,2
PAŞAKÖY	2000		51							
	2010		56,7	44,5	109,17	66,39	75,2		79,3	
	2020		62,3	51,1	123,02	65,69	86,1			
	2040			59,6	136,1	87,83	100,19			101,9
TEPEÖREN	2007		9,9							
	2010			9,3	22,82	13,87	15,71			
	2020		11,3	12,2	29,5	18,15	20,64			
	2040			14,3	32,66	21,19	24,12			24,9
BÜYÜKADA	2010		2,74	1,6	3,77	2,39	2,71			
	2020		2,87	1,9	4,36	2,81	3,2		2,8	
	2040			2,2	4,91	3,2	3,66			3,6
	2010		1,43	1,6	3,65	2,34	2,64		2,8	
HEYBELİADA	2020		1,51	1,8	4,24	2,73	3,1			
	2040			2,1	4,76	3,1	3,55			3,5
	2010		1,07	0,9	2,15	1,37	1,56		1,7	
	2020		1,12	1,1	2,49	1,65	1,83			
KINALIADA	2040			1,2	2,79	1,84	2,09			2,2
	2010		0,168	0,5	1,18	0,77	0,86		1	
	2020		0,72	0,6	1,37	0,89	1,01			
	2040			0,7	1,53	1,01	1,15			1,2
BURGAZADA	2000		236							
	2010		316	129,2	284,51	193,5	219,07		232	
	2020		450	166,7	364,02	247,1	281,56			
	2040			209	461,62	307,44	350,96			355
B.İLMANI	2005		142							
	2010		148	61,1	133,93	91,62	103,63	13,1		
	2020		160	74,1	161,83	109,9	124,99	88,8		
	2040			96,4	209,37	142,05	162,06			
B.ÇEKMECE	2000		31,6							
	2010		40	16,8	39,02	25,38	28,65		30,8	
	2020		48,4	29,2	66,5	43,36	49,32			
	2040			68,9	152,07	101,427	115,77			117,3
TERKOS	2000	0,21								
	2010	0,28		0,39	0,89	0,59	0,68		0,7	
	2020	0,35		0,67	1,44	0,93	0,97			
	2040			1,62	2,9	1,92	1,07		0,1	
KİLYOS	2010			0,11	0,26	0,18	0,2			
	2020			0,17	0,37	0,23	0,27			
	2040			0,28	0,62	0,42	0,48			
	2010			111,8	247,31	167,65	198,68			
YENİKAPI	2020			140,4	310,67	208,02	236,67			
	2040			175,8	385,21	258,84	295,37			
B.MARMARA	2010			2,97	7,49	4,45	5,04			
	2020			5,58	13,51	8,27	9,41			
	2040			10,74	24,69	15,66	17,95			

Terkos için sadece ikinci arıtma, 5.5'de Burgazada için ikinci ve üçüncü arıtma, Tepeören için sadece üçüncü arıtma, 5.6'da ise Heybeliada ve Kınalıada için ikinci ve üçüncü derece arıtma sonucu oluşan çamurların miktarları gösterilmiştir. Şekil 5.7'de Avrupa ve Asya yakasında toplam çamur miktarlarının birinci, ikinci ve üçüncü arıtmaya göre miktarlarının, Şekil 5.8'de ise tüm İstanbul'daki çamur miktarının verileri bulunmaktadır.

Tablo. 5.5. İstanbul Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarları Tahmini

Tesisler	Yıllar	Çamur Miktarları (Kuru ton/gün)		
		Birinci	İkinci	Üçüncü
Riva	2040	222.56		
Tuzla	2010		141.354	
	2040		278.484	317.839
Paşaköy	2010		66.39	
	2040		87.83	100.191
Tepeören	2040			24.12
Büyükada	2010		2.39	
	2040		3.2	3.66
Heybeliada	2010		2.34	
	2040		3.10	3.55
Kınalıada	2010		1.37	
	2040		1.84	2.09
Burgazada	2010		0.77	
	2040		1.01	1.15
Baltalimanı	2010	61.1		
	2040	96.4		
Küçükçekmece	2010		193.5	
	2040		307.44	350.95
Büyükçekmece	2010		25.38	
	2040		101.43	115.77
Terkos	2010		0.59	
	2040		1.92	

Özellikle bu çalışmalardaki temel veriler baz alınarak, oluşan bu çamurların uzaklaştırılması için birtakım öneriler sunulmuştur. Arıtma çamuru miktarı hesaplanırken endüstriyel tesislerden kaynaklanan atıksuların kanalizasyona deşarj edilmeden önce ön arıtmadan geçirildiği ve evsel atıksularla birlikte toplanarak ortak arıtıldığı kabul edilmiştir.

Ayrıca “İstanbul Su Temini, Kanalizasyon ve Drenaj, Atıksu Arıtma ve Uzaklaştırma Master Plan Etüdü, 1993-97” de İstanbul Atıksularının arıtımı için seçenek incelenmiş ve bu seçeneklerin aşağıdaki 2 sistemin kombinasyonu olduğunu gösterilmiştir :

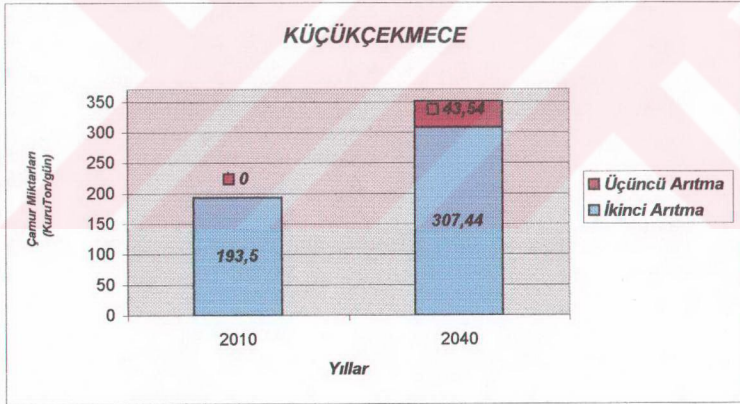
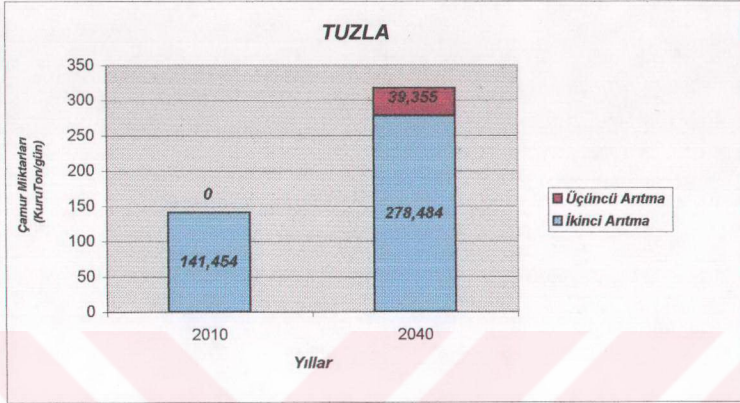
1. Birinci Derece Arıtma (Izgara, Kum Tutucu ve Ön çökeltim Havuzu)
2. Üçüncü Derece Arıtma (Birinci derece + İkinci Derece + İleri arıtma)

Fakat Master Plan’da sadece birinci ve üçüncü derece arıtma üzerinde durulmasının İstanbul için çok gerçekçi olmadığı konusu tartışılmıştır. Bütün bunların çerçevesinde İSKİ yönetimi de yeni seçeneklerin geliştirilmesini istemektedir. Bu sebeple yukarıda iki seçeneğe ilave edilecek iki önemli seçenekler şu şekilde seçilebilir: (Gökgöz, E, 1998)

1. İkinci Derece Arıtma (Birinci Derece Arıtma+Biyolojik Arıtma)
2. Kimyasal Madde Takviyeli Mekanik Arıtma (Izgara, Kum tutucu, ve Ön Çökeltim Havuzuna Kimyasal Madde İlavesi)

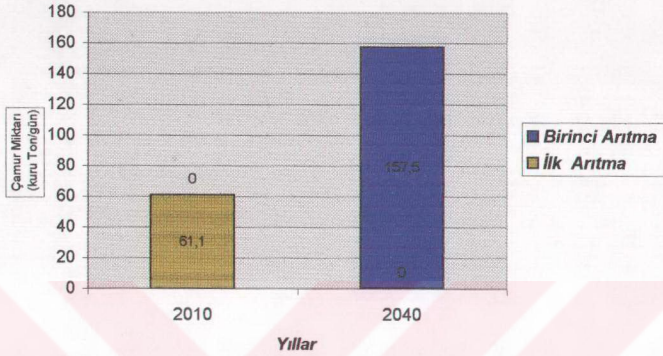
5.4.2 Çamur Miktarı Hesabı

Aşağıda yukarıdaki temel sistemler için çamur miktarının hesap miktarının hesap esasları verilmiş ve bu hesaplar yapılırken Tablo 5.4’de verilen arıtma dereceleri esas alınmıştır. Tablo 5.6’da Birinci ve İkinci Derece Arıtmada Kullanılan Prosesler ve Birim İşlemlerin Arıtma Dereceleri görülmektedir (Metcalf & Eddy, 1991)

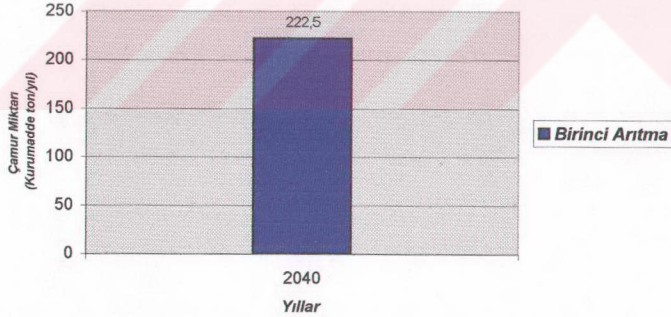


Şekil 5.1. Tuzla ve Küçükçekmece Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı

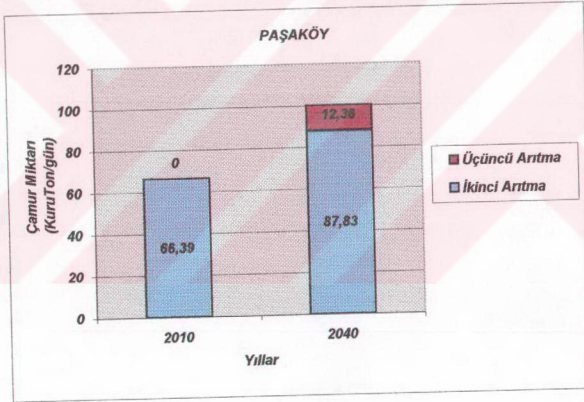
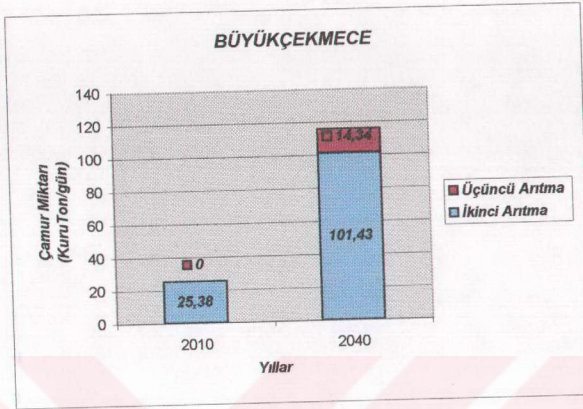
BALTALIMANI



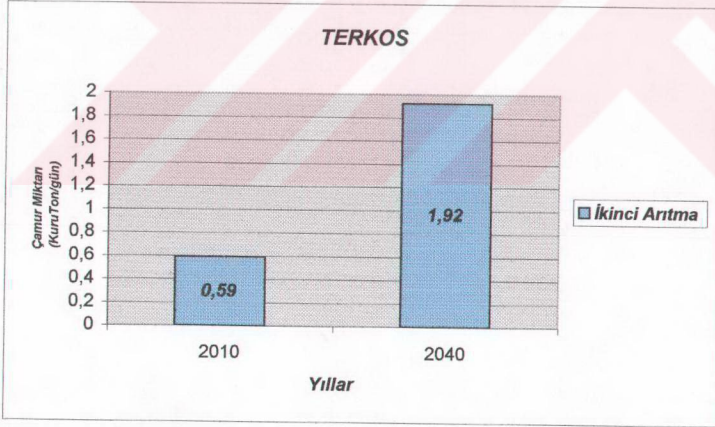
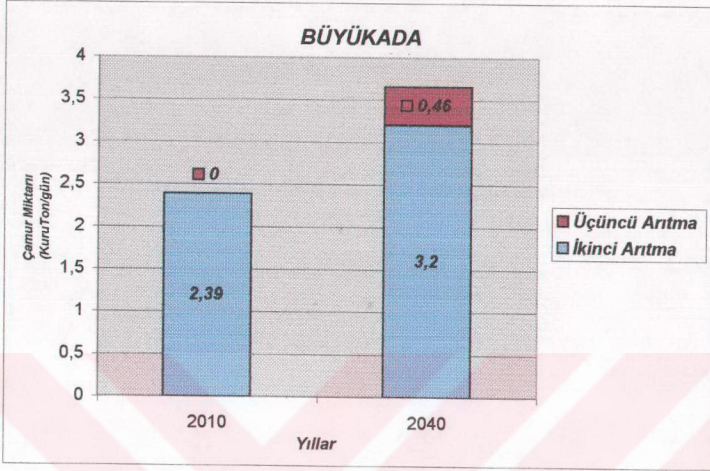
RİVA



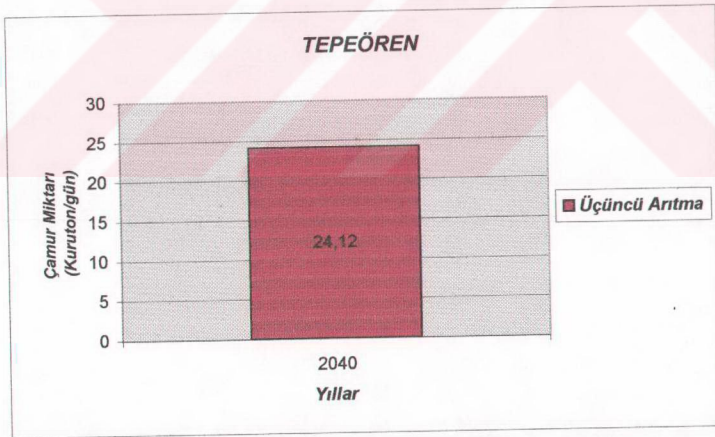
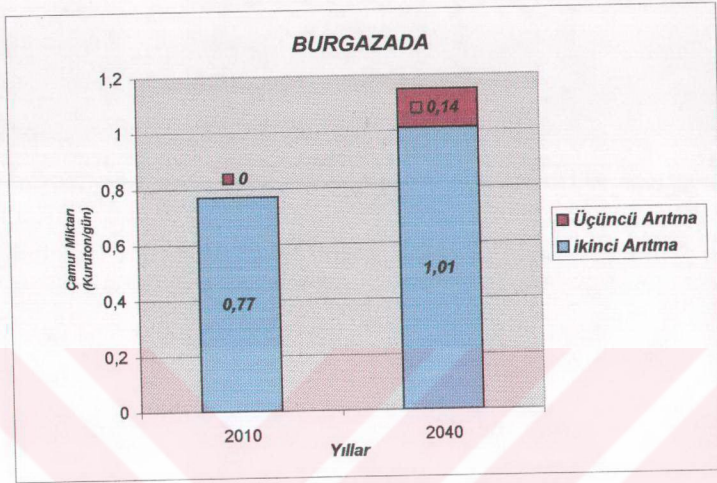
Şekil 5.2 Baltalımanı ve Riva Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı



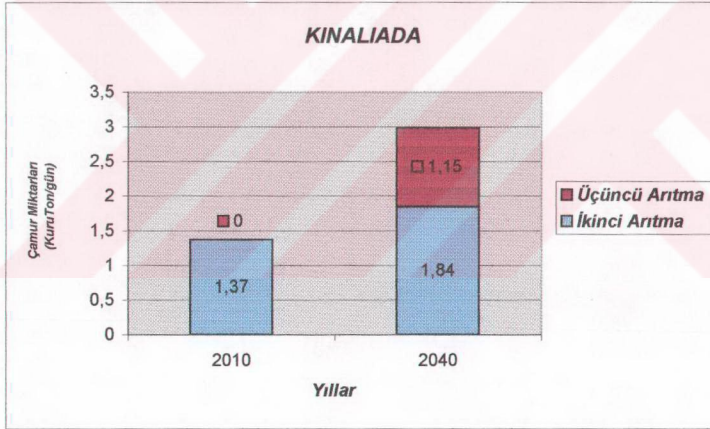
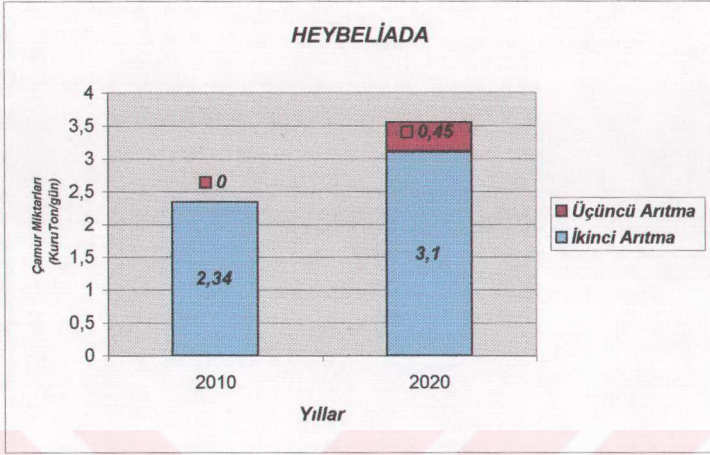
Şekil 5.3 Büyükçekmece ve Paşaköy Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı



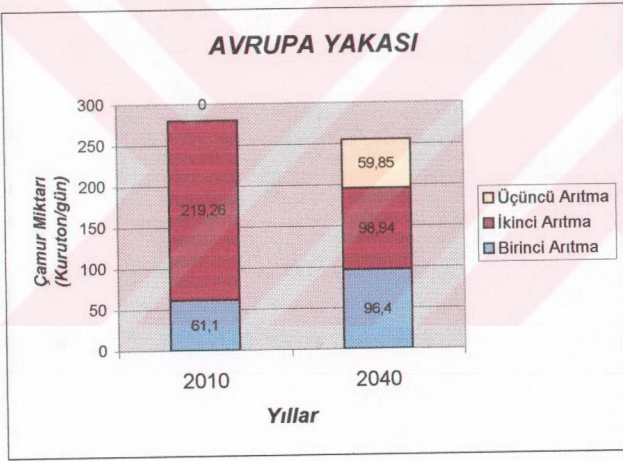
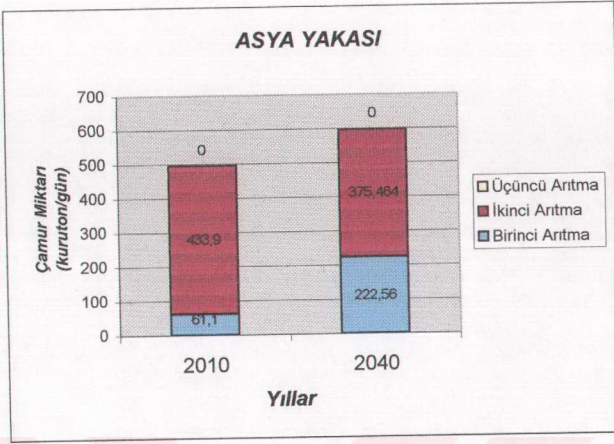
Şekil 5.4 Büyükada ve Terkos Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı



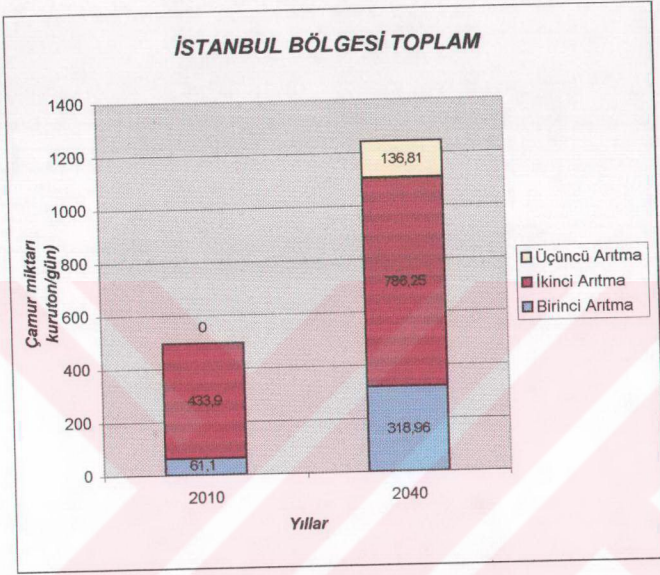
Şekil 5.5 Burgazada ve Tepeören Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı



Şekil 5.6 Heybeliada ve Kinalıada Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarı



Şekil 5.7 Asya Yakası ve Avrupa Yakası Arıtma Tesislerinden Çıkacak Toplam Çamur Miktarı



Şekil 5.8 İstanbul Bölgesi Arıtma Tesislerinden Çıkacak Toplam Çamur Miktarı

Tablo 5.6. Birinci ve İkinci Derece Arıtmada Kullanılan Prosesler ve Birim İşlemlerin Arıtma Dereceleri (Metcalf & Eddy, 1991)

	Kirletici Giderme Verimleri, %					
Arıtma Birimi	BOI	KOI	AKM	TP	Org-N	NH3-N
Çubuk Izgara	-	-	-	-	-	-
Kum Tutucu	0 - 5	0 - 5	0 - 10	-	-	-
Ön Çökeltim	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Klasik Aktif Çamur	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Damlatmalı Filtre						
Yüksek Hızlı	65-80	60-80	65-80	8-12	15-50	8-15
Plastik Tabakalı	65-80	65-80	65-80	8-12	15-50	8-15

5.4.2.1 Birinci Derece Arıtma Durumunda Çamur Miktarı

Birinci derece arıtma durumunda atıksular, ızgara, kum tutucu ve ön çökeltim ünitesinde geçirilmektedir. Bu arıtma kademesinden amaç, atıksu içindeki kaba maddeleri ızgaralarda tutmak, kum gibi inorganik maddeleri kum tutucularda ayırmak ve kendiliğinden çökebilen Askıdaki Katı Maddeleri (AKM) gidermektedir. Kendiliğinden çökebilen Askıdaki Katı Maddeleri (AKM) gidermektir. Kendiliğinden çökebilen AKM'nin yanında diğer parametreler de Tablo 5.6'daki oranlarda giderilebilmektedir.

Sadece birinci kademe arıtma yapılması durumunda karbonlu maddelerin yanında azot ve fosfor gibi besi maddeleri de alıcı ortama verilmektedir. Birinci kademe arıtma, İstanbul'da Baltalimanı ve Yenikapı'da derin deniz deşarjı ile birlikte atıksular boğaz alt akımına verilecek şekilde uygulanmaktadır. Ancak Marmara Denizi'ne deşarj halinde birinci derece arıtmanın yetersiz kalacağı açıktır.

5.4.2.2 Kimyasal Madde Takviyeli Birinci Derece Arıtma Durumunda Çamur Miktarı

Kimyasal madde takviyeli birinci derece arıtmada, ızgara ve kum tutucudan geçirilen atıksuya ön çökeltim havuzunda kimyasal madde katılarak özellikle TAKM ve Fosfor önemli ölçüde giderilebilmektedir Bu konuda yapılan çalışmalar, İstanbul

atıksuları için pH = 5.61 iken 200 mg / lt FeCl₃ dozajında KOİ 'nin % 86, AKM 'nin % 97.8, Toplam Fosforun % 98.7 ve TKN 'nin % 21.3 oranında giderildiğini göstermektedir (Özcan ve diğ. , 1992). Dolayısıyla kimyasal madde takviyeli mekanik arıtma ile azot hariç diğer tüm parametrelerin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki limitleri sağlamak mümkün gözükmemektedir. Ancak ortaya çıkacak çamurun arıtılabilirliği açısından diğer seçeneklerle karşılaştırılması gerekmektedir.

Fosforun kimyasal olarak çöktürülmesi oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Fosfor gideriminde başlıca kullanılan kimyasallar metal tuzları ve kireçtir. En yaygın metal tuzları alüminyum sülfat (Al₂(SO₄)₃) ve demir(3)klorür (FeCl₃)'dür. Dozlanan FeCl₃ atıksuda bulunan çözünabilir ortofosfat ile reaksiyona girerek çökelek oluşturur. Organik fosfor ve polifosfatlar oldukça kompleks reaksiyonlar ile ve floklar üzerinde adsorblanarak giderilmektedir. Çözünemez hale gelmiş olan fosfor, BOİ ve askıda katı maddeler gibi ön çökeltim çamuru olarak sistemden uzaklaştırılırlar (Metcalf & Eddy, 1991). 200 mg/lt FeCl₃'ün ilavesi ile atıksuda meydana gelen reaksiyonlar Tablo 5.7.'de verilmiştir.

Tablo 5.7. Fe(III) ile Fosfor Çökeltimi Esnasında Oluşan Çamur Miktarını Belirlemek İçin Gerekli Reaksiyonlar

Reaksiyon	Çamurdaki Kimyasal Bileşen
Demir Fe(III):	
1. Fe+3 + PO ₄ -3 → FePO ₄	FePO ₄
2. Fe+3 + 3 OH- → Fe(OH) ₃	Fe(OH) ₃

5.4.2.3 İkinci Derece Arıtma Durumunda Çamur Miktarı

İkinci derece arıtma durumunda ön çökeltim havuzundan çıkan atıksular biyolojik arıtma ünitesine verilmektedir. Biyolojik arıtma ünitesi askıda çoğalan sistemler veya biyofilm sistemleri olarak ikiye ayrılırlar. Biyolojik büyüme biriminden ayrılan sular ikinci çöktürme havuzuna alınmakta ve bu esnada çamurlar atıksudan ayrılmaktadır. İstanbul'da sanayi sektörünü çok gelişmiş olduğu için tam karışımli aktif çamur sistemi biyolojik arıtma kademesi için uygundur. Özellikle Marmara Denizi'ne

atıksularını veren tesislerde başlangıçta aktif çamur daha sonra ileri arıtma birimlerine geçiş uygulanması mantıklı gözükmektedir.

5.4.2.4 Üçüncü Derece Arıtma Durumunda Çamur Miktarı

Azot ve fosfor gibi besin maddelerini alıcı ortama verilmesi durumunda başta ötrofikasyon olmak üzere çözünmüş oksijen eksikliği, azot türlerinin canlı hayatına toksik etkisi gibi bir çok çevresel problem ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple azot fosfor giderimi üzerine yapılan bilimsel çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu çalışmaları biyolojik ve kimyasal arıtma olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Kimyasal çökeltme fosfor miktarını % 98-99 oranında giderebilmektedir. Azot türleri ise amonyakın hava ile sıyrılması, veya amonyumun kırılma noktası klorlaması, iyon değiştirme yöntemleri ile giderilebilir. Fakat bu yöntemlerde bir takım sınırlayıcı faktörler vardır bu sebepten dolayı azot gideriminde nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesleri ile biyolojik giderim oldukça etkin hale gelmiştir. İstanbul Tuzla'da azot ve fosforun biyolojik olarak giderilebileceği bir tesis planlanmıştır.

5.4.3 İstanbul Arıtma Tesislerinden Çıkacak Çamur Miktarları

Gökgöz .E.(1998)' de çamur miktarı hesabı için İstanbul Master Plan Raporu'nda verilen 15 arıtma tesisi için birinci derece arıtma ikinci derece arıtma, fosfor giderimi için demirklorür ($FeCl_3$) ilaveli birinci derece arıtma ve biyolojik nütrient gideriminde ortaya çıkacak çamurlar ayrı ayrı hesaplanmıştır.

TR12'de yıllara bağlı olarak $m^3/gün$ bazında verilen debiler, nüfusa bölünerek kişi başına günlük su tüketimleri bulunmuştur. Kişi başına günlük su tüketiminin Riva Havza'sında 2010 yılında 208 lt/kişi.gün ile Batı Marmara Havza'sında aynı yıl için 308 lt/kişi.gün arasında değiştiği görülmektedir. Birinci derece arıtma halinde, giriş BOI5, TAKM ve TN konsantrasyonları da TR 12'de verilen yükler esas alınarak hesaplanmıştır. Hesaplanan giriş konsantrasyonlarının yıllara ve havzalara göre birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Ancak bu farklılığın belli bir prensibe dayandığını söylemek mümkün değildir. TP giriş konsantrasyonu İstanbul atıksuları üzerinde yapılan karakterizasyon çalışmaları dikkate alınarak 10 mg/lt kabul edilmiştir. (Özcan ve diğ., 1992)

Birinci derece arıtma çıkışında (Biyolojik arıtma girişinde), FeCl_3 ilavesi halinde çökeltme çıkışında, biyolojik arıtma çıkışında ve ileri arıtma çökeltme havuzu çıkışındaki BOI_5 , TAKM, TN ve TP konsantrasyonları hesaplanmıştır

Miktar açısından en fazla çamur birinci derece çökeltim havuzuna kimyasal madde ilave edilmesi halinde meydana gelmektedir. Kimyasal çökeltme halinde ortaya çıkan çamur birinci, ikinci ve üçüncü derece arıtma çamurlarının toplamından daha fazladır (Tablo 5.4). Dolayısıyla FeCl_3 ilavesi ile kimyasal çökeltme yaparak atıksu arıtımı sınırlayan faktörlerin başında çamur arıtmadaki ekonomik ve teknolojik güçlükler gelmektedir. Ayrıca azot gideriminin sınırlı olması da bir diğer olumsuz etkindir. En az çamur üçüncü derece arıtma kademesinde meydana gelmektedir. Öyle ki diğerleri ile karşılaştırıldığında biyolojik olarak nütrient gideriminde ortaya çıkan çamur ihmal edilebilecek mertebede kalmaktadır. En fazla çamur artışı Batı Marmara ve Terkos Havzalarında görülmektedir. Bunun da bölgelerin henüz nüfus doygunluğuna ulaşmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İstanbul'daki çamur yönetim alternatiflerinden birisi de Asya ve Avrupa Yakasındaki arıtma çamurlarının ayrı ayrı toplanarak her bir yakada birer merkezde arıtılmasıdır. Böyle bir durumda Asya ve Avrupa Yakasındaki çamurların miktarlarının bilinmesi büyük önem kazanmaktadır. Her bir yakada kurulacak ortak birer merkezde arıtma halinde çamur nakli gerek teknolojik gerekse ekonomik açıdan ayrı bir planlama yapılmasını gerektirmektedir. Çamur naklinde çamurun katı madde yüzdesi, taşıma mesafesi, taşımada katedilecek yolun topoğrafik açıdan durumu, eğer kamyonlarla taşıma söz konusu ise trafiğe getireceği yük ve sızıntı sularının yollara dökülme ihtimali gibi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Her nakil şeklinin ayrı bir ekonomik boyutu vardır. Ortak bir merkezde arıtmak mı yoksa ayrı çamur arıtma tesisleri kurarak hacmi azaltılmış ve konsantre hale getirilmiş çamurun nihai depolama alanına verilmesinin mi daha ekonomik olduğu araştırılması gereken bir husustur. Şekillerden görüleceği gibi Avrupa yakasındaki çamur miktarları Asya yakasına göre daha fazladır. 2040 yılında üçüncü derece arıtma yapılmış olsa toplam çamur miktarı Avrupa Yakası'nda 772.610 kg/gün ($37.125 \text{ m}^3/\text{gün}$), Asya Yakası'nda ise 675.512 kg/gün ($32.476 \text{ m}^3/\text{gün}$) çamur oluşacağı tahmin edilmektedir. Aynı yılda ön çökeltim havuzuna kimyasal madde ilave edilmesi durumunda ortaya çıkacak çamur miktarları ise Avrupa Yakası'nda 1.236.501 kg/gün ($59.447 \text{ m}^3/\text{gün}$), Asya Yakası'nda 1.083.884 kg/gün ($52.110 \text{ m}^3/\text{gün}$) çamur

oluşacaktır. Görüldüğü gibi kimyasal çöktürme halinde çamur miktarı çok daha yüksektir. (Gökgez, E;(1998)).

İstanbul'da arıtma tesisine girecek birinci, ikinci ve üçüncü derece arıtmadan çıkacak çamur debisi 2010 yılı için 41.663 m³/gün iken 2040 yılında 69.600 m³/gün değerine ulaşmaktadır. Yani çamur miktarı hacim olarak 30 yılda % 67 oranında artmaktadır. Aynı dönemlerde sadece kimyasal çöktürme yapılması halinde ortaya çıkacak çamur debileri ise 2010 yılı için 65.155 m³/gün , 2040 yılı için ise 111.557 m³/gün olarak hesaplanmıştır. 30 yıldaki kimyasal çamurdaki arıtma yüzdesi ise % 71.2 olarak bulunmuştur. (Gökgez, E;(1998)).

Çamur miktarları İSKİ için Mayıs,1993'te tamamlanan "Evsel ve Endüstriyel Atık Çamurlarının Yönetimi" ve Kasım 1997'de tamamlanan "Master Plan TR7" çalışmalarında da hesaplanmıştır. Sonuçların arasında belirgin farklılıklar görülmektedir. 1993'te hazırlanan rapora esas alınan nüfuslar ve son yıllarda atıksu yönetim stratejisindeki değişimler hesaplanan çamur miktarlarının farklı olmasındaki en önemli etkidir. Gökgez. E. (1998) çalışmasında IMC tarafından 1995 yılında İSKİ tarafından onaylanan nüfus, debi ve kirlilik yükleri esas alınmıştır. Ancak Kasım 1997'de tamamlanan raporda ise bu çalışmaya baz alınan ve aynı firma tarafından TR2 raporunda verilen nüfuslardan farklı değerler kullanılmıştır; bundan dolayı sonuçlar da farklı çıkmıştır. Ancak mertebe olarak belirgin bir farklılıkta gözükmemektedir.

5.5. Çamur Yönetim Çalışması Teklifleri

5.5.1 Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Sistemleri Çamurları

İstanbul için hazırlanan Çamur Yönetim Planının genel tanımlaması ve tesisleri aşağıda özetlenmektedir.

5.5.1.1 Avrupa Yakası

Çamur yönetim planı, yakma tesislerinin Baltalıman ve Küçükçekmece atıksu arıtma tesislerinde inşa edilmesini ve yakma sonucu oluşan külün katı atıklarla birlikte düzenli depolama alanlarına depolanmasını önermektedir. Küçükçekmece

tesislerinin aynı zamanda Büyükçekmece'de oluşan çamurun arıtılmasında kullanılması öngörülmüştür. Terkos arıtma tesisinde üretilen çamurun da yakılmadan katı atıklarla birlikte düzenli depolama alanında uzaklaştırılması düşünülmüştür. Yakma tesislerinde, baca emisyonlarının kontrolü için elektrostatik çöktiricinin de bulunduğu akışkan yataklı yakma fırınları tavsiye edilmiştir. Yakma seçeneğinin geçerli olabilmesi için çamur arıtma teknolojileri (yoğunlaştırma, susuzlaştırma ve stabilizasyon) dikkatle seçilmelidir. Baltalimanı ve Küçükçekmece arıtma tesislerinde yoğunlaştırılmış, ancak çürütülmemiş çamurun yakma öncesi yüksek verimli santrifüjlerde susuzlaştırılması en ekonomik çözüm olmaktadır.

Büyükçekmece arıtma tesisinde ise, yoğunlaştırma, daha sonra havasız ortamda çürütme ve yüksek verimli santrifüjle susuzlaştırma çamurun nakli için en ekonomik çözüm olarak görülmüştür. Bu çamur Küçükçekmece arıtma tesisine aktarılacağı için, ilk arıtma çamurun hacmini, kokusunu ve fare gibi hayvanları çekiciliğini azaltacak şekilde olmalıdır. Aynı şekilde, Terkos içinde havasız ortamda çürütülmüş çamurun yüksek verimli santrifüjle susuzlaştırılması tavsiye edilmiştir. Çamur arıtma ve uzaklaştırma alternatifleri hesap edilen maliyetlerle birlikte Tablo 5.8.a'da verilmiştir.

5.5.1.2 Asya Yakası

Avrupa Yakasında olduğu gibi, Riva ve Tuzla arıtma tesisleri için çürütülmemiş yoğunlaştırılmış yüksek verimli santrifüjle susuzlaştırılması ve Tuzla'ya, Adalar arıtma tesisi için ise havasız ortamda çürütülmüş, yoğunlaştırılmış çamurun yüksek verimli santrifüjle susuzlaştırılması ve Tuzla'ya nakli, tepe ören için, uygun saha bulunması halinde anaerobik olarak çürütülen çamurların susuzlaştırılması için kurutma yatakları çamur yönetimi çalışmasında tavsiye edilmektedir. Tepeören ve Adalar arıtma çamurlarının Tuzla'ya, Paşaköy arıtma çamurlarının ise Riva'ya taşınarak, Tuzla ve Riva arıtmalarının kendi çamurlarıyla birlikte yakılması önerilmektedir. Çamur arıtma ve uzaklaştırma alternatifleri hesap edilen maliyetlerle birlikte Tablo 5.8.b 'de verilmektedir.

5.5.1.3 Yakma Tesisleri

Her tesis; bir çamur silosu, çamur besleme pompaları, bir akışkan yataklı yakma fırını, bir hava ön ısıtıcısı ve tamamlayıcı ekipmanlardan oluşmalıdır. Ayrıca hava kirliliğini kontrol etmek açısından kontrol edici bir sistem de mevcut olmalıdır. Çıkan küllerin işlenmesi için yoğunlaştırıcı ve vakum filtreleri, taşınması için ise 23 m³' lük tekerlekli konteynerler bulunmalıdır. Diğer arıtma tesislerinden çamurların geleceği yakma tesislerine bir de çamur kabul istasyonu teşkil edilmelidir. Bu istasyonlar, konteynerlerden doğrudan boşaltmaya imkan verecek şekilde dizayn edilmeli ve 1500 m³' lük beton silolardan oluşmalıdır. Bu silolar bulundukları tesisteki çamuru ve dışarıdan gelecek çamurları 24 saat süreyle depolayabilecek hacimde boyutlandırılmalıdır.

5.5.1.4 Susuzlaştırılmış Çamurun Taşınması

Tavsiye edilen susuzlaştırılmış çamur nakil araçları olarak 23 m³' lük kamyonla taşınabilir tekerlekli konteynerler seçilmiştir. Bu konteynerlerin sayısı, optimum noktayı yakalaması açısından üç günlük susuzlaştırılmış çamur hacminin depolanmasına, kamyonların sayısı ise, konteynerleri ilgili yakma tesisine haftada beş gün sekiz saat süresince taşımaya uygun şekilde seçilmelidir.

5.5.1.5 Susuzlaştırılmış Çamurun Adalardan Uzaklaştırılması:

Susuzlaştırılmış çamurun Adalar' dan Tuzla yakma tesisine getirilmesi için bir plan geliştirmek ve nakliye maliyetlerini çıkartmak amacıyla yerel taşımacılık uzmanlarına danışılmıştır. İSKİ için hazırlanan çamur yönetim çalışmasında bu arıtma tesislerinin iskelelerinden konteynerlerin haftada bir toplanması için bir mavnaya satın alınması önerilmiştir. Susuzlaştırılmış çamurun adalardan uzaklaştırılması için de çamur nakil aracı olarak yukarıdaki gibi 23 m³' lük tekerlekli konteynerler tavsiye edilmiştir. Ayrıca Adalardaki arıtma tesislerinde ve Tuzla'daki arıtma tesisinde birer sürekli birer kamyon gerekecektir. Taşınması gereken konteynerlerin sayısı İSKİ için hazırlanan çamur yönetim çalışmasında Büyükada için haftada iki kez, Heybeliada ve Kınalıada için haftada bir kez ve Burgazada için iki haftada bir kez olacaktır.

Tablo 5.8.a. Çamur Yönetim Çalışması – Avrupa Yakası Çamur Arıtma ve Uzaklaştırma Alternatifleri ve Maliyetleri

Proje Kabulleri				Çamur Üretimi			Arıtma		Çamur Arıtımı			Çamur Uzaklaştırma			Toplam Maliyet		
Arıtma Tesisleri	Arıtma Derecesi	Havza Nüfus	Atıksu Debisi lt/sn	İşletme Debisi m ³ /sn	Havza Alanı	Kuru ton/gün	Kapasite	Alternatifler (Yoğ+Sta+Sus)	Miktar	Kuru ton/gün	Maliyet	Alternatifler	İlk Yatırım	İşletme	İlk Yatırım	İşletme	Şyl
Küçükçekmece																	
⇒ Depolama	Üçüncü	3.875.672	18.566	21.021	450,00	509,00		GT/DAF+AN+C	450	49.206.628	10.256.194	Depolama	9.345.252	11.966.390	58.351.880	22.222.584	
⇒ Yıkama								GT/DAF+Yok+C	450	32.443.407	12.450.871	Yıkama	40.036.265	5.648.313	72.479.672	18.099.184	
Baltalınanı																	
⇒ Depolama	Üçüncü	1.985.267	6.561	6.650	160,00	162,00		GT/DAF+AN+C	160	18.657.384	3.776.625	Depolama	2.677.342	3.120.190	21.334.726	6.896.815	
⇒ Yıkama								GT/DAF+Yok+C	160	11.704.611	4.412.870	Yıkama	13.432.557	1.873.592	25.137.168	6.286.462	
Büyükçekmece																	
⇒ K.Çekmece	Üçüncü	603.750	2.127	2.230	48,40	50,80		GT/DAF+AN+C	48,4	6.577.095	998.767	Depolama	659.294	1.200.981	7.236.389	2.199.748	
Terkos																	
⇒ Depolama	İkinci	5.000	13	13	0,35	0,35		GT+AN+C	0,4	1.020.691	41.222	Depolama	131.356	8.388	1.152.047	49.610	

GT: Yerebatanı ile yoğunlaştırma DAF: Çözünmüş hava flotasyonu ile yoğunlaştırma AN: Anaerobik çürütme ile stabilizasyon C: Santrifüj ile susuzlaştırma Yok: Bu proses uygulanmıyor DB: Kuruma teknüğü ile susuzlaştırma

Tablo 5.8.b. Çamur Yönetim Çalışması – Asya Yakası Çamur Arıtma ve Uzaklaştırma Alternatifleri ve Maliyetleri

Proje Kabulleri				Çamur Üretimi		Arıtma		Çamur Arıtımı				Çamur Uzaklaştırma		Toplam Maliyet	
Arıtma Tesisleri	Arıtma Derecesi	Havza Nüfus	Atıksu Debisi l/s	İşletme Debisi l/s	Havza Alanı	kuru ton/gün	Kapasite kuru ton/gün	Alternatifler (Yoğ+Star+Süs)	Miktar kuru ton/gün	İlk Yatırım \$	İşletme \$/yl	Alternatifler	İlk Yatırım \$	İşletme \$/yl	İşletme \$/yl
Riva															
⇒Depolama	Üçüncü	4.682.500	15.596	15.210	380,00	380,00	370,00	GT/DAF+AN+C	380	43.155.870	8.840.123	Depolama	5.077.789	7.303.978	16.144.101
⇒Yakma								GT/DAF+Yok+C	380	27.523.076	10.478.201	Yakma	35.461.432	5.091.676	62.984.508
Tuzla															
⇒Depolama	Üçüncü	1.959.514	9.306	10.296	215,00	238,00		GT/DAF+AN+C	215	24.642.115	4.999.928	Depolama	4.010.924	4.339.304	9.339.232
⇒Yakma								GT/DAF+Yok+C	215	15.526.958	5.895.729	Yakma	20.862.753	2.823.502	36.389.711
Paşaköy															
⇒Riva	Üçüncü	830.000	1.736	1.736	62,30	62,30		GT/DAF+AN+C	62	8.077.262	1.525.949	Depolama	988.941	1.300.115	9.066.203
Tepeören															
⇒Tuzla	Üçüncü	150.000	313	313	11,30	11,30		Yok/DAF+AN+DB	11	4.197.766	255.994	Depolama	262.713	228.568	4.460.479
Büyükdada															
⇒Tuzla	Üçüncü	51.055	130	130	2,87	2,87		GT+AN+C	2,9	1.758.047	144.390	Depolama	137.650	51.316	1.895.697
Heybeliada															
⇒Tuzla	Üçüncü	26.313	67	72	1,51	1,62		GT+AN+C	1,5	1.277.849	87.289	Depolama	131.356	27.951	1.409.205
Kınalıada															
⇒Tuzla	Üçüncü	19.244	49	75	1,12	1,72		GT+AN+C	1,1	1.182.951	72.386	Depolama	131.356	21.444	1.314.307
Burgazada															
⇒Tuzla	Üçüncü	12.267	32	32	0,72	0,72		GT+AN+C	0,7	1.080.088	55.912	Depolama	131.356	14.600	1.211.444
															70.512

Tablo düzenleri ile ilgili ek açıklamalar :

Tablo, 5.8a, 5.8.b, ile ilgili kısaltmalar :

Yoğ : Yoğunlaştırma

Sta : Stabilizasyon

Sus : Susuzlaştırma

GT : Yerçekimi ile yoğunlaştırma

DAF : Çözünmüş hava flotasyonu ile yoğunlaştırma

AN : Anaerobik çürütme ile stabilizasyon

C : Santrifuj ile susuzlaştırma

Yok : Bu proses uygulanmıyor.

DB : Kurutma yatağı ile susuzlaştırma

Depo: Katı atık düzenli depolama sahasına evsel katı atıklarla beraber uzaklaştırma

• “⇒” işareti çamurun uzaklaştırma güzergahını göstermektedir. Bu işaretle bir başka tesis gösteriliyorsa, çamur, arıtdıktan sonra başka bir tesise transfer edilmektedir. İşaret, bir uzaklaştırma yöntemini gösteriyorsa, çamur yönetim çalışmasına göre ele alınan temel uzaklaştırma alternatifleri ifade edilmektedir. Her bir işareti takip eden satırda o yöntemin gerektirdiği arıtma teknolojileri ve uzaklaştırma yöntemleriyle karşılık gelen ilk yatırım ve işletme maliyetleri verilmiştir.

• “ Arıtma Alternatifleri ” kolonu altındaki kombinasyonlar sırasıyla; tercih edilen Yoğunlaştırma, Stabilizasyon ve Susuzlaştırma teknolojilerini göstermektedir.

“ Toplam Maliyet ” kolonu verileri arıtım ve uzaklaştırma ikililerinin toplam ilk yatırım ve işletme maliyetlerini yansıtmaktadır. Diğer arıtma tesislerinden çamurların geleceği yakma tesislerine bir de çamur kabul istasyonu kabul edilmelidir. Bu istasyonlar, konteynerlerden doğrudan boşaltmaya imkan verecek 1500 m³ lük beton silolardan oluşmalıdır. Bu silolar bulundukları tesisteki çamuru ve dışarıdan gelecek çamurları 24 saat süreyle depolayabilecek hacimde boyutlandırılmalıdır.

5.5.1.6 Terkos'dan Susuzlaştırılmış Çamurun Düzenli Depolama Alanına Taşınması:

Susuzlaştırılmış çamurun Terkos'tan düzenli depolama alanına taşınması için gerekli konteyner 10 m³ lük silindir konteyner olacak ve taşıma 12 günde bir yapılacaktır.

5.5.2 Endüstriyel Arıtma Sistemleri Arıtma Çamurları ve Zararlı Atıklar İçin Çalışma Teklifleri

İstanbul'da uygulanmakta olan endüstriyel ön arıtma programı sonucunda hem zararlı hem de zararsız endüstriyel çamur ortaya çıkacaktır. İSKİ Kanalizasyona Deşarjlarla ilgili mevzuata göre hazırlanan endüstriyel ön arıtma programı, halk ve çevre sağlığı korunacak şekilde düzenlenmiştir.

Endüstriyel çamurları evsel çamurlarla birlikte arıtılabilirliklerine göre gruplara ayırmak mümkündür:

N Sınıfı Çamurlar : Birlikte arıtmaya uygun zararsız çamurlar

NN Sınıfı Çamurlar : Birlikte arıtmaya uygun olmayan zararsız çamurlar

N sınıfı çamurlar evsel çamurlar ile birlikte arıtılabilirler. Bu tür çamurların üretildiği endüstri kolları arasında mandıralar, yiyecek maddesi üreten fabrikalar, sabun ve deterjan fabrikaları, ilaç üreten fabrikalar, tekstil, deri, ve ahşap işleyen sanayileri bulunmaktadır. Aslında bu endüstri kollarının ön arıtma proseslerinden çıkan bütün çamurlar bu kategoriye girmezler. İstanbul'daki endüstriler içinde bu endüstri kollarında bazı çamurlar da üretilmektedir.

NN sınıfı çamurlar asal (inert) madde içeriği yüksek, organik madde içeriği düşük çamurlardır. Bu nedenle ortak arıtmaya uygun değildir.

NN Sınıfı Yağlar : Genelde akaryakıt istasyonlarında yağ ayırma araçlarında kullanılan yağlar

H sınıfı çamur ve yağlar : Zararlı atık nitelikli çamur ve yağlar

NN sınıfı yağlar nihai çamur arıtımı/uzaklaştırma yöntemlerine uygun değildir. Organik madde içerikleri yüksek olmakla birlikte geri kazanılıp yeniden kullanılabilirler.

H sınıfı endüstriyel çamurlar, zararlı olması beklenen biyolojik, çökmüş ve kimyasal çamurlar ile yağ köpüklerinden oluşur.

Çamur yönetim çalışması Küçükçekmece, Baltalimanı, Riva ve Tuzla'da yakma fırını kurulmasını önermektedir ve bu arıtma tesislerinde büyük miktarda endüstriyel atıksu girdisi olacaktır. Yakılması düşünülen endüstriyel çamurlar minimum olarak aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır.

1. Çamur arıtma tesisi çalışanlarına ilave ve sağlığa veya güvenliğe aykırı riskler getirmemelidir.
2. Çamurlar prosesin işleyişine olumsuz etki yapmamalı, ekipman veya yapılara zarar vermemelidir.
3. Çamur , çamur veya kül kalitesini azaltmamalıdır.
4. Çamur yakılmaya uygun olmalıdır.

Çalışanların sağlık ve güvenliği ile ilgili ilk kriter, korozif, reaktif, yanıcı ve zehirli olmayacak şekilde karakterize edilmiş zararsız atıkların kabul edilmesini sağlayacak kapsamlı bir çamur kalitesi izleme programı yoluyla sağlanabilir. İlaveten, zararsız atıklar yinede sağlık ve güvenlik riskleri taşıyabileceğinden çalışanları muhtemel riskler ve uygun tedbirler konusunda eğitmek için etkin bir eğitim programı gerekecektir.

Yakma fırınına veya işleyişine zararlı bileşenler kabul edilmeyecektir. Zararlı bileşenler pompalarda veya konveyörlerde tıkanma veya zarara sebep olacak büyük parçalar içeren çamurlar, çamurdaki veya akışkan kum yataktaki silika ile birleşip eriyerek büyük parçalar oluşturup yatağın akışkanlığının bozulmasına neden olacak yüksek konsantrasyonda alkali metal tuzları içeren çamurlar olabilir. Yüzde seksenin üzerinde su içeren çamurlar da yakma için aşırı yakıt tüketimine sebep olacaklarından uygun değildirler.

Yukarıda sıralanan üçüncü kriter, özellikle zehirli metal konsantrasyonlarıyla ilgilidir. Endüstriyel ön arıtmadan çıkan çamurlar, metaller ön arıtma programlarında birinci derecede hedef alınan kirleticiler olduklarından, genellikle yüksek konsantrasyonlarda metal içerirler. Yakma işlemine tabi tutulan çamurdaki metaller yakma fırınına gaz ya da katı şekilde terkederler. Katı metal emisyonları, kontrol teknikleriyle etkin olarak azaltılabilirler. Bu şekilde giderildikleri takdirde, metaller

külde bulunurlar. Metaller, katı hale yoğunlaşmadan önce, gaz halinde kaçmaları durumunda atmosfere karışırlar. Amerikan Çevre Koruma Örgütü (USEPA) ve Avrupa'daki benzer kuruluşlar yakma emisyonlarındaki metalleri kabul edilebilir limitlerde tutmak üzere, çamur yakma fırınlarına giren çamurlardaki kurşun, arsenik, kadmiyum, krom, nikel, civa ve berilyum konsantrasyonlarını sağlayabilmek için çeşitli sınırlamalar getirmişlerdir. Böyle bir sınırlama İstanbul için de gereklidir.

Dördüncü kriter çamurun yakılmaya uygun olması şeklindedir. Yüksek organik içerikli atıklar, az miktarda yakıt tüketimi ile büyük ölçüde hacim azalması sağlanacağından yakma için uygundurlar. Biyolojik arıtmadan, çamur sıyırma ve ayırmadan sonuçlanan çamurlar bu kategoridedirler. Bu kriterlere dayanılarak, birleşik arıtmaya uygun olarak göz önüne alınabilecek bir endüstriyel çamur aşağıdaki şekilde karakterize edilir:

- zararsız
- düşük konsantrasyonda metal içeren
- homojen olan ve büyük parçalar içermeyen
- organik içeriği yüksek olan
- su içeriği düşük olan

Sadece uygun, zararsız endüstriyel çamurların yakma tesislerine kabul edilebilmesi için kapsamlı bir yönetmelik programı gerekecektir. Bu programda; birleşik arıtmayı düzenleyecek olan gelişmenin uygulanması, emredici hükümlerin yerine getirilmesi ve kullanıcı tarifeleri için idari, teknik ve hukukla ilgili personel yer alacaktır.

Programın bileşenleri arasında şunlar yer alacaktır :

- birleşik arıtmaya dahil edilecek endüstriyel çamurların fiziksel ve kimyasal limitleri
- kabul edilen her yükün kaydının tutulmasını sağlayacak, böylece kabul edilemez bir çamurun gelmesi halinde geri gönderilebilmesine imkan verecek, ya da emisyon veya kül kalitesinin bozulmasına sebep olan çamurun belirlenerek kaynağına doğru takip edilebilmesini sağlayacak bir manifesto sistemi

- bir hesap ve faturalama sistemi
- kalite kontrol ve faturalama amacıyla çamur karakteristiklerini ve miktarını izleme ekipmanı
- kapsamlı ve etkin bir personel eğitim programı

Burada diğer bir önemli faktörde, endüstriyel çamurların arıtma tesislerine muhtemelen zararlı çamurları kabul ederek yakma sorumluluğunu yükleyecektir.

Yukarıdaki gibi bir yönetmelik programı, başlatıldığı ve uygulandığı takdirde riskleri de azaltacaktır.

Bu değerlendirmeler çerçevesinde 2020 yılına ilişkin zararsız endüstriyel atık miktarları ve birlikte uzaklaştırmanın oluşturduğu ek maliyetler Tablo 5.9.'da verilmiştir.

Tablo 5.9. Evsel ve Uygun Nitelikte Olan Zararsız Endüstriyel Çamurun Birlikte Uzaklaştırılması (Çamur Yönetim Çalışması 1993)

EAAT	2020 Yılı Evsel Çamur Miktarları kg/gün	2020 Yılı Uygun Nitelikte Endüstriyel Çamur Miktarları kg/gün	EAAT Yakma Sisteminin BDT	Uygun Nitelikte Endüstriyel Çamurun Yakılması İlave BDT	Uygun Nitelikte Endüstriyel Çamurun Yakılması Birim Maliyeti
K.çekmece	498000	23948	103 milyon\$	4500000\$	20\$/ton
Riva	379094	17838	89 milyon\$	3800000\$	20\$/ton
Tuzla	214883	5600	48 milyon\$	2000000\$	20\$/ton
Baltıman	159667	3295	36 milyon\$	280000\$	20\$/ton

BDT: Bugünkü Toplam Değeri, 20 yıl, % 7 Faiz Oranı

EAAT: Evsel Atıksu Arıtma Tesisi

5.5.3 Drenaj Kanalları Çamurları

Çamur Yönetim Projesi yağmursuyu sistemlerinde oluşacak çamur ve birikintilerin çoğunlukla inorganik kökenli olmalarından dolayı diğer çamurlar gibi yakılmalarının söz konusu olmadığı vurgulanmaktadır. Bu malzemelerin düzenli depolama alanlarında katı atıklarla birlikte depolanmalarında herhangi bir kısıtlama yoktur.

bunların yağmursuyu sistemlerinden basınçlı su ve küreme ile toplanıp, düzenli depolama alanına taşınarak depolanması en yaygın uygulamadır.

5.5.4 Su Arıtma Tesisleri Çamurları

Proje alanı içinde kalan su arıtma tesisler :

Avrupa Yakası; Kağıthane, Büyükçekmece, İkitelli,

Asya Yakası; Elmalı, Ömerli Güney, Ömerli Kuzey,

olup bunlardan kaynaklanan çamurlar suyu alındıktan sonra konumlarının da uygun olması nedeniyle kısa ve uzun vadede:

- Avrupa Yakası çamurları yeni yapılan Kemerburgaz yoluyla Çiftealan
- Asya Yakası çamurları Halihazırdaki Şile yoluyla Kirazalan

mevcut katı atık alanlarına gönderilmelidir. Bunların taşımaları nedeniyle karayoluna getirecekleri yük, atıksu arıtmaların yüküne göre ancak % 10 mertebesinde.

5.5.5 Çamur Yönetim Stratejileri Genel Kriterleri

Çamur yönetim çalışmasında (İSKİ, 1993) maliyetle ilgili olmayan aşağıdaki kriterler kullanılmıştır:

5.5.5.1 Güvenirlik

Susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırılması, son arıtma gerekmediğinden en güvenilir olarak değerlendirilmiştir. Diğer yandan bölgesel yakma tesisleri bağımsız yakma tesislerinden daha güvenilir bulunmuştur.

5.3.5.2 Esneklik

Bu kriter, alternatifin çamur miktarı ve kalitesindeki değişikliklere uyabilme ölçüsüdür. Örneğin bölgesel yakma tesisleri bağımsız yakma tesislerinden daha fazla esnektir.

5.3.5.3 Düzenli Depolama Politikasına Etkisi

Burada susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırma alternatifinin en az yararlı olduğu üzerinde durulmuştur. Düzenli depolama sahalarına kabul edilecek çamurların katı madde yüzdesi % 25 - 35 arasında olması istenmektedir. Bunun için susuzlaştırılmış çamurdaki katı madde yüzdesi artırılacaktır bu da katı atıklarla birlikte uzaklaştırılması alternatifini olumsuz yönde etkileyebilir. Bölgesel ve bağımsız yakma alternatiflerinin her ikisi için de düzenli depolamaya gönderilecek küllerin çok küçük hacme sahip olduklarından dolayı en yararlı alternatif olarak değerlendirilmektedir.

5.5.5.4 Trafiğe Etki

Susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırması en az yararlı alternatif, bağımsız yakma en çok yararlı alternatif, bölgesel yakma ise bu iki alternatif arasında kalmıştır.

5.5.5.5 Yönetmeliklere Uygunluk

Çamur yönetim alternatiflerin her biri yönetmeliklere uygun olmalıdır. Yakma alternatifi, çevreye olası ters etkileri yüzünden yönetmeliklere uygunluğu en çok problem yaratacak alternatiftir. Susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırılmasının olumsuz etkileri yönetmelikte yer almakta ya da düzenli depolama yönetiminin sorumluluğuna bırakılmaktadır. Bu alanda susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırması en olumlu, bölgesel yakma ikinci olumlu, bağımsız yakma ise en olumsuz alternatifi oluşturmaktadır.

5.5.5.6 Sorumluluk Minimizasyonu

Eğer bir yönetim alternatifi yönetmelik standartlarını karşılamıyorsa muhtemel sorumluluklar değerlendirilmiştir. Susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırılması, düzenli depolama alanının işletilmesi, arıtma tesislerinin kontrolü dışında olduğundan sorumluluk risk taşır. Bu sebeple bu alternatif en olumsuz olanı, her tesiste en fazla kontrolü sağlamak mümkün olacağından bağımsız yakma en olumlu alternatif olarak değerlendirilmiştir.

5.5.5.7 Karmaşıklık

Yakma alternatifi, susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırma alternatifinden çok daha karmaşıktır. Bu sebeple susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırma en olumlu, bölgesel yakma ikinci olumlu, bağımsız yakma ise en olumsuz alternatif olarak değerlendirilmiştir.

5.5.6 Çamur Yönetim Stratejileri Kanuni Faktörleri

Yukarıda sözü edilen Evsel ve Endüstriyel Atık Çamurların Yönetimi çalışmasında İstanbul için evsel ve endüstriyel çamurların yönetimi ile ilgili çeşitli alternatifler incelenirken ekonomik faktörler ve aşağıda özetlenen yasal faktörler de göz önüne alınmıştır.

- *14 Ağustos 1998 tarihli İSKİ Havza Koruma Yönetmeliği* : Yüzeysel suların korunmasını amaçlayan bu yönetmeli koruma alanlarına katı atık ve çamur dökülmesini yasaklamaktadır.
- *14 Mayıs 1991 tarihli Katı Atık Kontrol Yönetmeliği, Madde 28 (208/4 sayılı Resmi Gazete)* : Bu madde evsel arıtma çamurları, çamurun su içeriğinin en çok % 65 olması durumunda katı atıklarla birlikte depolanabileceği belirtilmektedir. Ayrıca, depolama alanının stabilitesinin bozulmaması ve koku sorununun yaratmaması şartı ile su içeriği % 75'e kadar olan çamurlar da kabul edilebilmektedir.

5.5.7 Çamur Yönetim Stratejilerinin Ekonomik ve Pazarlama Faktörleri

Evsel ve Endüstriyel Atık Çamurlarının Yönetimi çalışmasında kullanılan ve tavsiye edilen çamur yönetimine önemli etkisi olan üç unsur şunlardır :

- depolama alanına boşaltım ücreti
- endüstriyel ön arıtma,
- yararlı kullanım seçeneklerinin bulunmayışı

Ekonomik analizlerde depolama boşaltım aracı için kabul edilen ücret 20 USD/ton ıslak çamur olarak tespit edilmiştir. Bu değerler ile yapılan hesaplamalar sonucunda çamuru yakma alternatifi ile çamuru susuzlaştırılmış çamurun evsel atıklarla birlikte

depolanması alternatiflerinin maliyetlerinin birbirine eşit olduğu görülmüştür. Bu durumda yukarıda sözü edilen çalışmanın yetkilileri tarafından öne sürülen çözüm susuzlaştırılmış çamurun yakılması ve küllerin katı atıklarla birlikte depolanmasıdır. Ancak depolama alanına boşaltım ücretinin 20 USD'dan daha düşük olacağının tespit edilmesi ve depolama alanının mevcudiyeti halinde yeniden değerlendirme yapılması da tavsiye edilmektedir.

Çamur yönetim planının başarısı için önemli bir nokta endüstriyel ön arıtma programının yürütülmesidir. Böyle bir program olmadan atıksu arıtma tesislerinin işleyişinde çok büyük problemler ile karşılaşılabilir.

Çamur Yönetim çalışmasında son olarak İSKİ'nin dikkati çekilen bir nokta da İstanbul Metropolü içerisinde atıksu çamurlarının faydalı kullanımı için bir seçenek bulamayışıdır. Yakma tesislerinin, ilgili oldukları arıtma tesisinin planlanan inşaat etaplarına uyacak şekilde bölümler halinde inşa edilmeleri tavsiye edilmektedir.

5.5.8 Çamur Yönetim Stratejilerinin Arazi Kullanımı Açısından Değerlendirmesi

İstanbul Büyükşehir Belediyesin'nce yaptırılan Katı Atık Yönetim Etüdü (1992) verilerine göre, 2020 yılına kadar tahmini düzenli katı atık depolama sahası ihtiyaçları Avrupa Yakası için 77 milyon m³ (yaklaşık 171 ha) ve Asya Yakası için 44 milyon m³ (yaklaşık 98 ha) olarak belirlenmiştir. 2020 yılı için İstanbul genelinde kişi başına düşen yıllık katı atık depolama hacim ihtiyacı yaklaşık 0.39 m³'tür. % 30 katı madde oranına sahip arıtılmış çamurların, tamamının evsel katı atıklarla birlikte depolanması durumunda, kişi başına düşen evsel atıksu çamuru depolama ihtiyacı ise yaklaşık 0.11 m³ olarak tahmin edilmektedir. Yakma ile bertaraf çamur hacmini büyük oranda azaltacağı gibi, kompostlama ve arazi uygulamaları da çamurun depolama sahaları dışında değerlendirilmesini sağlayacaktır.

5.6 Çamur Yönetim Stratejileri

Çamur yönetim çalışmasında ilgili yasal düzenlemeler de göz önüne alınarak, çamurun faydalı kullanımı ve uzaklaştırılması için değerlendirilen alternatifler aşağıda verilmektedir :

5.6.1 Tarım Alanlarına Uzaklaştırma

Çamurun tarım alanlarına uzaklaştırılarak bertaraf edilmesi alternatifi için gerekli alan ihtiyacı 2020 yılı için 63.000 ha. olarak hesaplanmıştır. Bu ihtiyaç 2032 yılında daha da artacaktır. İstanbul Metropolitan Alanı'nda şu anda tarım için kullanılan arazi 2020, yılı ihtiyacının yaklaşık iki katıdır. Ancak bu alanın halihazırda büyük bir kısmı insanlar tarafından doğrudan tüketilen yiyeceklerin üretiminde kullanılmakta olduğundan uygun değildir. İlaveten, tarım arazileri, giderek artan bir hızla İstanbul'un artan nüfusunun konut ihtiyacını karşılamak amacıyla da kullanılmaktadır. Bu nedenlerin yanında, tarımsal arazi sahiplerini, arazilerinin çamur uzaklaştırılması için kullanılmasına ikna etmenin zorlukları da göz önüne alındığında, çamurun tarım arazilerine uzaklaştırılması uygun bir çözüm olarak görülmemektedir.

5.6.2 Orman Alanlarına Uzaklaştırma

İstanbul Orman Müdürlüğü'nden alınan bilgiye göre, İstanbul' un orman alanları, Avrupa Yakasında 143.420 ha., Asya Yakasında 97.784 ha.'dır. Çamurun orman alanlarına uzaklaştırılması alternatifi için gerekli alan ihtiyacı ise 2020 yılı için Avrupa yakasında 31.946 ha., Asya Yakasında 30.758 ha.'dır. görüldüğü gibi bu alternatif için gerekli orman alanı İstanbul' da mevcuttur. Ancak, İstanbul' daki orman alanlarının büyük bir çoğunluğu İSKİ' nin kontrolünde bulunan içme suyu havzalarıdır. Dolayısıyla, 1998 tarihli İSKİ yönetmeliğine göre orman alanlarının büyük bir kısmına çamurun uzaklaştırılması mümkün değildir. İlaveten, Orman alanlarına ulaşımın sınırlı oluşu ve bu yollardaki dik eğimler de göz önüne alındığında çamurun orman alanlarına uzaklaştırılması alternatifi bu araştırmaya göre uygun bir alternatif olarak görülmemiştir.

5.6.3 Tahsis Edilmiş Alanlara Uzaklaştırma ve Tek Tip Dolgu

Çamurun tahsis edilmiş alanlara veya tek tip dolgu halinde uzaklaştırılması alternatif için gerekli alan ihtiyacı; 2020 yılında susuzlaştırılmış çamur için 2.083 ha. yanma sonrası küller için 1.378 ha.' dır. (Master Plan Etüdü, 1997) Bu alanlar su koruma bölgeleri dışında yer almalı, ancak nakliyenin ekonomik bir biçimde yapılabilmesi için kente yakın olmalı ve ayrıca civardaki yerleşimleri rahatsız edecek bir yerde bulunmamalıdır.

5.6.4 Dağıtım ve Pazarlama

Hali hazırda İstanbul' da ve Türkiye' de çamur ürünleri için herhangi bir pazar bulunmadığı tespit edilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü'nün yıllık 1500 m³ olan organik gübre ihtiyacı, dağıtım ve pazarlama seçeneklerinin hiçbirini gerçekleştirmek için yeterli değildir. (Master Plan Etüdü, 1997)

5.6.5 Düzenli Depolama Alanlarına Katı Atıklarla Birlikte Uzaklaştırma

Atıksu arıtmadan çıkan artık çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırılması alternatifi, yukarıda sözü edilen Katı Atık Yönetmeliği de göz önünde tutularak uygulanabilir bir alternatif olarak değerlendirilmiştir. Katı atıklarla birlikte uzaklaştırma alternatifi, çamurun yakılması durumunda küller için de geçerlidir.

Sonuç : Yukarıda özetlenen çamurun uzaklaştırılması ilgili alternatiflerden aşağıdakiler uygulanabilir olarak değerlendirilmiştir :

- Susuzlaştırılmış çamurun katı atıklarla birlikte uzaklaştırılması,
- Yakma ve sonrasında küllerin katı atıklarla birlikte uzaklaştırılmasıdır.

5.6.6 Çözümler

5.6.6.1 Mevcut Durum

Günümüzde, yılda yaklaşık 2.5 milyon ton atık üreten İstanbul'da, biri Avrupa, biri de Asya Yakasında olmak üzere toplam iki adet katı atık düzenli depolama tesisi bulunmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin Katı Atık Yönetim Programı çerçevesinde Avrupa Yakasına hizmet vermek üzere tasarladığı tesis, Kemerburgaz' ın yaklaşık 9 km. kuzeybatısındadır. Asya Yakasındaki tesis ise Ömerli Köyü' nün 5 km. kuzeydoğusundadır. Mevcut katı atık oluşumu, Avrupa Yakasındaki tesiste 45 ha , Asya Yakasındaki tesiste ise 35 ha'lık bir alan gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Asya Yakasındaki katı atık dolgu alanının ulaşım yapısı, Ümraniye (Dudullu) ile Karadeniz kıyısındaki Şile ilçesi arasında yapılan dört şeritli yeni otoyol ile desteklenmektedir. Avrupa Yakasında da benzer yol inşaat çalışmaları yapılarak transfer sisteminin aksatılmasının önüne geçilmektedir.

Sağlıklı ve verimli bir sisteminin temel taşlarından biri olan transfer istasyonları da, atık oluşumunun daha yoğun olduğu Avrupa Yakasında daha sık olmak üzere, her iki Yakada da yerleştirilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, transfer istasyonu yerlerini büyüklüğü, ana yollarla ve karayollarıyla bağlantıları ve arazi kullanımına uygunluğu gibi temel ölçütleri karşılayan çok sınırlı sayıda kamu arazisi arasından seçilmiştir. Avrupa Yakasında beş, Asya Yakasında üç adet olmak üzere toplam sekiz adet transfer istasyonu bulunmaktadır. Bunlar; Bakırköy, Halkalı, Eyüp, Gaziosmanpaşa, Şişli, Aydınlı, Kadıköy ve Ümraniye transfer istasyonlarıdır. Görüldüğü üzere, Ümraniye, Aydınlı ve Halkalı'daki çöp döküm alanları, depolama maksadıyla değil transfer istasyonu sahası olarak kullanılarak sisteme dahil edilmişlerdir.

5.6.6.2 Master Plan Teklifleri

Yukarıdaki çamur yönetim çalışması değerlendirmesinden anlaşılacağı gibi, getirilen öneriler o tarihteki (1993) ekonomik, teknik ve çevresel koşullara dayanmaktadır. Ancak, mevcut Master Plan çalışmalarının sonucunda önerilen atıksu arıtma stratejisinde değişiklikler yapılmış ve nüfus tahminleri revize edilmiştir. Ayrıca Türkiye 'deki ekonomik koşullar değişmiştir. Dolayısıyla önerilen çamur arıtma stratejisi bu değişiklikler göz önüne alınarak tekrar değerlendirilmelidir.

Yeni atıksu arıtma stratejileri sonucunda arıtma yerleri ve prosesleri değiştiği için çamur üretim tahminlerinin de güncelleştirilmesi gerekmiştir. Master Plan çalışmalarında önerilen deşarj stratejilerine göre tahmin edilen çamur üretim miktarları, arıtma ve uzaklaştırma yöntemleri sadece öneri aşaması olarak değerlendirilmek üzere Tablo 5.10 (uzun vade) ve Tablo 5.11 de (kısa vadeli çözümler) verilmektedir

Evsel arıtma çamurları ile birlikte arıtılması mümkün olan endüstriyel çamurlarda şu özellikler aranmalıdır :

- Zararsız olması
- Toksik metal konsantrasyonlarının düşük olması
- Homojen olması ve büyük partiküller içermemesi

- Organik madde içeriğinin yüksek olması
- Su içeriğinin düşük olması (< % 80)

Bu özellikleri sağlayan çamurlar Bölüm 5.5.2 de N sınıfı olarak adlandırılmış olup, günlük 50 ton civarında oluşan bu çamurların evsel arıtma çamurları ile birlikte uzaklaştırılması tavsiye edilir. Buna karşın NN sınıfı çamurların kalıcı olması büyük ölçüde susuzlaştırılabilmesini sağladığı için, % 35 veya daha yüksek oranda katı içeriğine ekonomik olarak ulaştırılabilir ve öngörülen düzenli depolama sahalarına gönderilebilir. N sınıfı yağlar, organik madde içerikleri yüksek çamurlardır ve geri kazanılıp yeniden kullanılmaları mümkündür.

Yukarıda belirtilen evsel çamurlarla birlikte arıtılabilirlik özellikleri ve ilişkin sınıflar dikkate alındığında en uygun ortak arıtma yönteminin yakma olduğu anlaşılmaktadır. Uzun vadeli plan çerçevesinde devreye girecek olan Tuzla ve Küçükçekmece yakma tesisleri, bu bölgelerdeki endüstriyel faaliyetlerin yoğunluğu da düşünüldüğünde ortak uzaklaştırma için uygunluk göstermektedir. Tesisler devreye alınana kadar geçen süre boyunca zararsız endüstriyel çamurların, evsel çamurlarla birlikte uzaklaştırılması da mümkündür. Şekil 5.9 'de tüm atıksu arıtma ve drenaj sistemleri çamurlarının arıtma ve uzaklaştırma sistematığı özetlenmiştir.

“ Kirleten Öder ” prensibi çerçevesinde, zararsız endüstriyel çamurların düzenli depolama alanına boşaltmak ve işletmeye alınması ile birlikte, bu atıkların birlikte yakılması için gereken maliyet katılımcı endüstri kuruluşları arasında bölüştürülebilir.

Ortak arıtma programının verimlilikle işletilebilmesi için arıtılan endüstriyel çamurların zararsız özelliklerinin sürekli olması gerekmektedir. Aksi takdirde gerek arıtma ekipmanlarının verimi gerekse oluşacak nihai ürünlerin kalitesi zarar görecektir. Bu nedenle teknik ve idari önlemler açısından sürekli bir kalite kontrol sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Bu sayede uygun özelliklere sahip olmayan atıklar üreticisine iade edilebilir veya çamur yakılıyorsa herhangi bir proseste veya son üründe oluşacak bir kalite değişiminin kaynağı saptanabilir.

Tablo 5.10. Master Plan'ın Kısa Vadeli Stratejisine Uygun Olabilecek Çamur Yönetimi

Proje Kabulleri		Çamur Arıtımı ve Uzaklaştırma Yöntemleri						
No	Arıtma Tesisleri	Yıl	Hizmet Nüfusu	Arıtma Tipi	İşletme Debisi	Çamur Üretimi	Arıtma	Uzaklaştırma
						lt/sn		
AFRUPA								
1	Büyükçekmece	=>2010	388.000	İkinci	1.100	30,8	GT+AN+C	=> #2
2	Küçükçekmece	=>2010	2.974.000	İkinci	7.199	232,1	GT/DAF+AN+C	=> Depo.
3	Yenikapı	=>2010	2.575.000	İlk	6.319	24,0	GT+AN+C	=> Depo.
4	Baltalimanı	=>2010	1.406.000	İlk	3.356	13,1	GT+AN+C	=> Depo.
5	Terkos	=>2010	9.000	İkinci	24	0,7	GT+AN+C	=> Depo.
ASYİA								
1	Tuzla	=>2010	2.387.000	İkinci	5.637	186,0	GT/DAF+AN+C	=> Depo.
2	Paşaköy	=>2010	1.022.000	İkinci	3.426	79,3	GT+AN+C	=> Depo.
3	Küçüksu	=>2010	768.000	İlk	1.928	7,1	GT+Yok+C	=> Depo.
4	Kadıköy	=>2010	1.994.000	İlk	5.005	18,4	GT+Yok+C	=> Depo.
5	Paşabahçe	=>2010	108.000	İlk	271	1,0	GT+Yok+C	=> Depo.
6	Üsküdar	=>2010	335.000	İlk	841	3,1	GT+Yok+C	=> Depo.
7	Büyükdada	=>2010	36.900	İkinci	109	2,8	GT+AN+C	=> Depo.
8	Kınalıada	=>2010	21.100	İkinci	63	2,8	GT+AN+C	=> Depo.
9	Burgazada	=>2010	11.600	İkinci	35	1,7	GT+AN+C	=> Depo.
10	Heybeliada	=>2010	35.800	İkinci	105	1,0	GT+AN+C	=> Depo.

G:1 Yerçekimi ile yoğunlaştırma DAF: Çözünmüş hava flotasyonu ile yoğunlaştırma AN: Anaerobik çürütme ile stabilizasyon

C: Santrifüj ile susuzlaştırma DAF: Bu proses uygulanmıyor DB: Kurutma tekniği ile susuzlaştırma

Tablo 5.11. Master Plan'ın Uzun Vadeli Stratejisine Uygun Olabilecek Çamur Yönetimi (Avrupa Yakası)

No	Aritma Testisleri	Proje Kabulleri			Çamur Üretimi		Çamur Arıtımı		Çamur uzaklaştırma			Toplam Maliyet		
		Yıl	Hizmet Nüfusu	Aritma Tipi	İşletme Debişi	Kapasite	Aritma	İlk Yatırım	İşletme	Yöntem	İlk Yatırım	İşletme	İlk Yatırım	İşletme
					lt/sn	km ³ /yıl	(Yık+Slar+Sus)	\$	\$/yıl		\$	\$/yıl	\$	\$/yıl
ATRUT4														
1	Büyükçekmece	2010-2040	1.239.000	Üçüncü	3.866	117,3	GT DAF+AN+C	15.937.850	2.420.248	=> #2	1.597.625	2.910.260	17.535.475	5.330.308
2	Küçükçekmece	2010-2040	3.756.000	Üçüncü	11.771	355,3	GT DAF+Yok+C	25.618.237	9.831.562	Yakma => Depo.	42.048.523	5.922.202	67.666.760	15.763.764
3	Yeniköy	2010-2040	3.160.000	Birinci	9.641	161,5	GT+AN+C	20.299.060	4.956.398	=> Depo.	2.703.178	4.725.450	23.002.238	9.681.848
4	Balıkdamanı	2010-2040	1.733.000	Birinci	5.127	89,8	GT+AN+C	11.155.159	2.723.742	=> Depo.	1.485.506	1.731.218	12.640.666	4.454.960
5	Terkos	2010-2040	11.000	Birinci	35	1,1	GT+AN+C	1.182.951	72.389	=> Depo.	353.446	22.570	1.536.397	94.956
6	Kilyos	2010-2040	5.160	Birinci	15	0,3	GT+AN+C	1.020.691	41.222	=> Depo.	87.023	2.779	1.107.714	44.001
7	Bağ Marmara	2010-2040	193.000	Üçüncü	686	17,8	GT+AN+C	2.234.952	545.706	=> Depo.	297.623	1.040.556	2.532.576	1.586.262

GT: Yerelinde yağmurlama DAF: Çöktürme lara flakasyon de yağmurlama AN: Arıtma C: Çöktürme de ağız dazayon C: Sütlürlü de ağız dazayon C: Sütlürlü de ağız dazayon C: Sütlürlü de ağız dazayon C: Sütlürlü de ağız dazayon

Master Plan'ın Uzun Vadeli Stratejisine Uygun Olabilecek Çamur Yönetimi (Asya Yakası)

Proje Kabulleri				Çamur Üretimi		Çamur Arıtımı		Çamur uzaklaştırma			Toplam Maliyet			
No	Aritma Tesisleri	Yıl	Hizmet Nüfusu	Arıtma Tipi	İşletme Debişi	Kapasite	Arıtma	İlk Yatırım	İşletme	Yöntem	İlk Yatırım	İşletme	İlk Yatırım	İşletme
					lt/sn	km ³ /yıl	(Yık+Slar+Sus)	\$	\$/yıl		\$	\$/yıl	\$	\$/yıl
AST4														
1	Tuzla	2010-2040	3.401.000	Üçüncü	10.556	322,2	GT DAF+Yok+C	23.267.934	8.835.049	Yakma => Depo.	34.699.173	4.696.081	57.967.107	13.531.130
2	Tepeören	2010-2040	257.000	Üçüncü	895	24,9	Yok DAF+AN+DIB	9.240.509	563.518	=> #1	578.308	503.145	9.818.817	1.066.662
3	Papaköy	2010-2040	1.071.000	Üçüncü	3.727	101,9	GT DAF+AN+C	13.270.316	2.507.016	=> Depo.	1.624.753	2.135.988	14.895.070	4.643.004
4	Kadıköy-Çiğdem	2010-2040	4.005.000	Birinci	11.953	204,3	GT+Yok+C	13.560.413	7.491.681	=> Depo.	3.412.423	3.959.743	16.972.836	11.451.424
5	Hüyükada	2010-2040	39.300	Üçüncü	136	3,6	GT+Yok+C	1.294.596	193.925	=> #1	1.796.338	8.179	3.090.940	202.104
6	Kınalıada	2010-2040	22.400	Üçüncü	74	2,2	GT+Yok+C	1.427.596	147.996	=> #1	328.390	8.672	1.755.986	156.668
7	Burgazada	2010-2040	12.300	Üçüncü	41	1,2	GT+Yok+C	1.064.339	90.665	=> #1	281.430	6.695	1.345.769	97.360
8	Hexhelada	2010-2040	38.100	Üçüncü	129	3,5	GT+Yok+C	1.840.259	219.871	=> #1	383.067	11.072	2.223.326	230.943

Yük. İsti. proses uygulanıyor. DIB Kimyasal tedarik de sisat.çamur

Yük. İsti. proses uygulanıyor. C. Sıfırlama ile suyunlaştırma

GT: Yerelinde yağmurlama DAF: Çöktürme lara flakasyon de yağmurlama AN: Arıtma C: Çöktürme de ağız dazayon C: Sütlürlü de ağız dazayon C: Sütlürlü de ağız dazayon C: Sütlürlü de ağız dazayon C: Sütlürlü de ağız dazayon

Tablo düzenleri ile ilgili ek açıklamalar

Tablo, 5.10, 5.11, ile ilgili kısaltmalar

GT : Yerçekimi ile yoğunlaştırma

DAF : Çözünmüş hava flotasyonu ile yoğunlaştırma

AN : Anaerobik çürütme ile stabilizasyon

C : Santrifuj ile susuzlaştırma

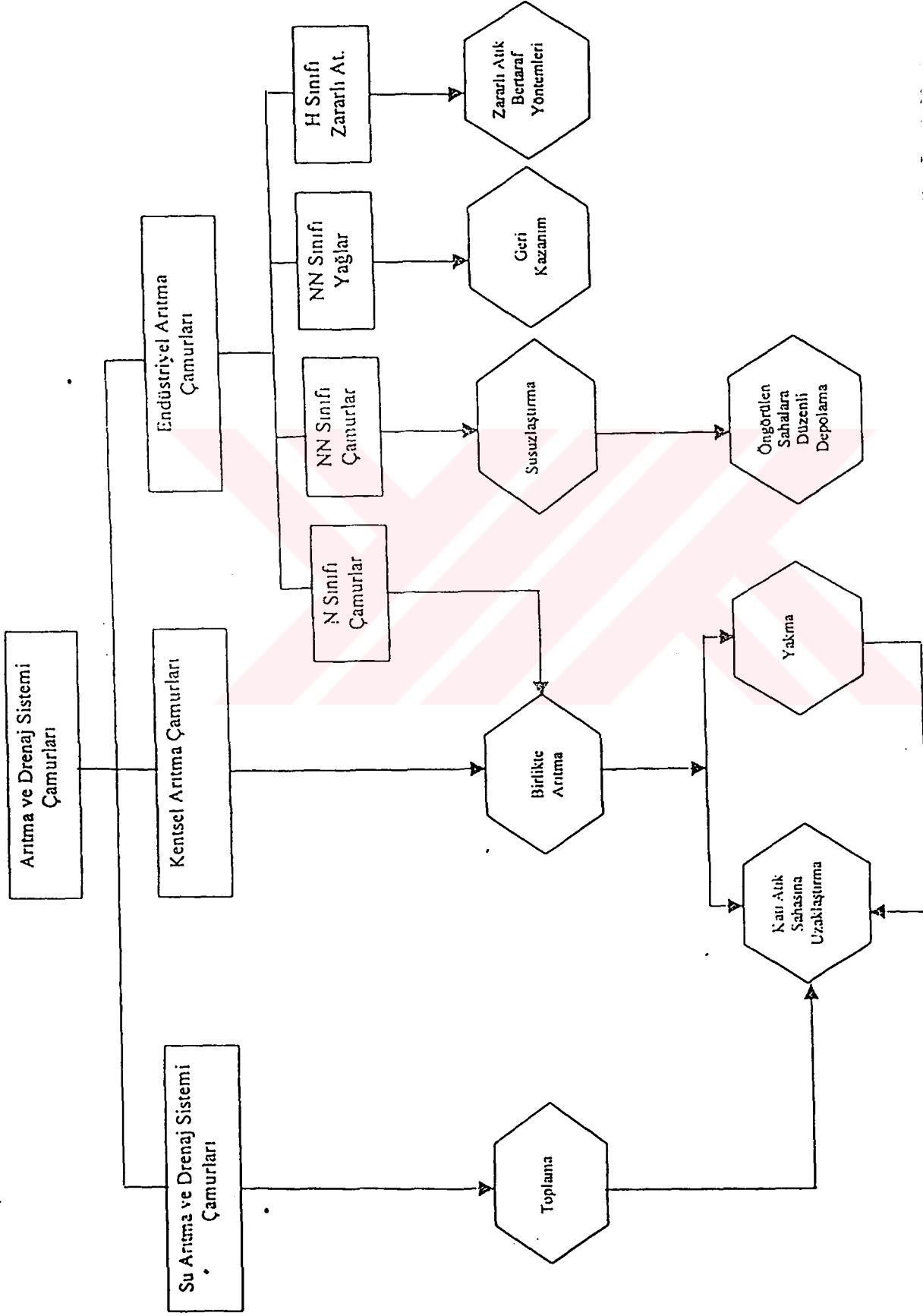
Yok : Bu proses uygulanmıyor.

Depo: Katı atık düzenli depolama sahasına evsel katı atıklarla beraber uzaklaştırma

“ Yöntem ” kolonunda gösterilen kodlar “ No ” kolonunda karşılık gelen tesisleri belirtmektedir. Diğer bir deyişle “ $\Rightarrow$ # 2 “ gösterimi satırın başındaki tesisten çıkan çamurların arıtıldıktan sonra “ # 2 “ numaralı tesise taşınacağını belirtmektedir.

Zarasız endüstriyel çamurlar dışında kalan tüm endüstriyel çamurlar zararlı atık kapsamında değerlendirilmelidir. Zararlı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği esasları çerçevesinde bu atıklar işlenmeli, taşınmalı, arıtılmalı ve uzaklaştırılmalıdır. Her ne kadar bazı endüstriyel çamurların hizmete alınacak yakma tesislerinde evsel çamurlar ile birlikte yakılmaya uygun olduğu saptanmışsa da bu seçenek, bu servisi sağlayan, İSKİ'ye ait idari sorumlulukların ve sorumluluk risklerinin artmasına neden olacaktır. Bunun yerine, her sanayi biriminin mevcut yönetmelik esasları çerçevesinde, çamur miktarlarını ve özelliklerini, arıtma teknolojilerini ve faydalı hale getirme ve uzaklaştırma seçeneklerini tarif eden bir çamur yönetim planını geliştirip uygulaması önerilir. Endüstriyel atıksu deşarj ruhsatının bir parçası olarak bu konuya ilişkin planların incelemek üzere istenmesi ile, İSKİ, bu atıkların çevresel sorumluluk içinde yönetilmesini sağlamış olacaktır. Tehlikeli atıkların tanımlanmasına ilişkin gerekli metodoloji ve veriler, “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”nde detaylı olarak mevcuttur.

Bu veriler ışığında çamur arıtma - uzaklaştırma fizibilite çalışması yenilenmeli ve bir yeniden değerlendirme çalışması yapılmalıdır. Bu çalışmada yapılacak inceleme kapsamında geçmişteki yakma projelerinin ekonomik ve teknik fizibilitesi yeniden değerlendirilerek, bugünkü şartlarda düzenli depolama alanına uzaklaştırmayla ilgili olarak teknik açıdan basit, daha kolay işletilebilen ve sürdürülebilen sistemlerin daha



Şekil 5.9 Atıksu ve Drenaj Sistemi Çamurlarının Arıtma ve Uzaklaştırma Sistematiği

uygun olup olmadığı belirlenmelidir. Yakma tesisleri pahalı elektrik ve mekanik ekipman ithali gerektireceğinden, bu tesislere daha az bağımlı bir sistem oluşturulmasının İSKİ'ye sağlayacağı ekonomik faydalar göz önünde bulundurulmalıdır.

Çamur yönetim çalışmasında öngörülen düzenli depolama alanına uzaklaştırma bedeli, özel endüstriyel ilk arıtma tesisleri ilgili olarak çamur stratejisinin riskleri, yönetmelikleri yürürlüğe sokma ve bunlara uyulup uyulmadığının kontrolü ile ilgili ihtiyaçlar ve faydalı kullanım programlarına uyarlanabilecek esnek bir stratejinin gelecekte uygulanma olasılığı ve avantajları konularında da bir yeniden değerlendirme çalışması yapılması gerekir. Ayrıca taşımalarda deniz yollarının kullanılma olasılığı ciddi olarak ele alınmalıdır.

Özellikle çamur yönetim çalışmasının dayandığı temellerden biri olan boşaltma ücreti (20 \$) yeni şartlara göre tekrar analiz edilmeli ve İstanbul civarındaki mevcut maden (kömür) alanlarında tek tip dolgu ihtimalleri yeniden değerlendirilmelidir.

İstanbul 'da ilçe belediyeler tarafından katı atık aktarma merkezlerine getirilen çöpler, buradan İstanbul Büyükşehir Belediyesi 'nin yan kuruluşu olan İSTAÇ tarafından düzenli depolama alanlarına taşınmaktadır. Edinilen bilgilere göre, Ocak 1997 fiyatı ile 1 ton çöp için 18900 TL / km (0,18 \$ / km) taşıma ücreti uygulanmaktadır. Düzenli depolama alanına getirilen çöplerin serilerek depolanması ücretinin ise 8 ile 12 \$ / ton arasında değiştiği bildirilmiştir. Ancak, söz konusu düzenli depolama alanına girişte ayrıca boşaltma ücreti alınmamaktadır. Dolayısıyla, 8 ile 12 \$ / ton olduğu bildirilen depolama ücretinin ilçe belediyelerinin topladığı çöp vergilerinden Büyükşehir Belediyesi payı olarak alındığı tahmin edilmektedir.

Diğer taraftan, İzmit Büyükşehir Belediyesi'nin yan kuruluşu olan İZAYDAŞ 'ın uygulamasında ise, ilçe belediyelerince düzenli depolama alanına getirilen çöpler tesis girişinde tartılarak, ücret olarak 5 \$ / ton çöp uygulanmaktadır.(Master Plan Etüdü, 1997) Ayrıca, zararsız nitelikteki atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamurlar için (97 Aralık uygulaması) 35 \$ / ton çamur kabul ücreti alınmaktadır. Bu ücret içine depolama alanında serme ve depolama dahil olduğu bildirilmiştir.

Uzun vadeli çözüm için maliyet hesapları, çamur yönetim çalışmasındaki 2020 yılı maliyetlerinin şimdiki değerleri kullanılarak yapılmıştır. Üretilen birim çamur miktarı başına düşen arıtma ve uzaklaştırma maliyetleri, master plan üretimleri ile çarpılarak tahmini maliyetler hesaplanmıştır.

Çamur yönetim çalışmasında ele alınmayan tesislerin maliyet hesaplarında, taşıma birim maliyetleri mesafelere göre tahmin edilmiştir.

Avrupa Yakası katı atık düzenli depolama sahasına takribi taşıma mesafeleri :

$$\text{Yenikapı} = \text{Baltalimanı} * 1.5$$

$$\text{Batı Marmara} = \text{Baltalimanı} * 3.0$$

$$\text{Kilyos} = \text{Terkos} * 0.5$$

olarak belirlenmiştir.(Çamur Yönetim Çalışması, 1993)

5.7 İstanbul Çamur Yönetim Planı

İstanbul çamur yönetim planında değerlendirilen çamur yönetim alternatiflerinin çevreye zarar vermeden en uygun şekilde değerlendirilebilmesi için bir takım ilkeler benimsenmelidir. Bu ilkelerin mümkün olduğu kadar bir bütün halinde geçerliliğinin sağlanması baz alınarak yönetim planlaması yapılmalıdır. Söz konusu ilkeler aşağıdaki gibidir:

- Geri kullanım maksimum olmalı
- Çevresel olumsuz etkiler minimum olmalı
- Maliyet en düşük veya düşük olmalı
- Halk sağlığı ön planda tutulmalı
- Planlama geleceğe yönelik başka bir deyişle planlamanın önü açık olmalı
- Belirlenen çamur yönetim alternatifleri çamur miktarı ve kalitesindeki değişikliklere karşı esneklik göstermeli

- Değerlendirilen çamur yönetim alternatiflerinden herbiri mevzuat ve yönetmelikler ile uyum içinde olmalı

5.7.1 İstanbul Atıksu Arıtma Çamurlarının Bertarafı İçin Önerilen Seçenekler

5.7.1.1 Çamur Yönetim Planı (1993)

Çamur yönetimi ile ilgili ilk kapsamlı araştırma 1993'te tamamlanan projedir. Bu çalışmada evsel ve endüstriyel arıtma çamurları tahmin edilmiş, uygulanabilecek seçenekler değerlendirilmiş ve bu seçeneklerin maliyet boyutu analiz edilmiştir.

Bu projenin seçeneklerinin ekonomik ve diğer açılardan değerlendirilmeleri aşağıda verilmiştir.

➤ Seçeneklerin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Çok Büyük Kapasiteli Tesisler; Tuzla, Riva ve Baltalıman

- 20\$/Mg depolama ücretinde, susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılması için yakma, maliyet açısından en uygun alternatiftir.
- Çürütülmemiş, yoğunlaştırılmış çamurun yüksek katı maddeli santrifüjü ve çürütülmüş yoğunlaştırılmış çamurun filtre pres ile susuzlaştırılması, yakma ile birlikte maliyet yönünden çok uygun bir susuzlaştırma prosesidir.
- Yüksek katı maddeli santrifüj, susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılmasında, maliyet yönünden çok uygun bir susuzlaştırma prosesidir.
- Ön çökeltim çamurun gravite ile, biyolojik çamurun yüzdürme ile yoğunlaştırılması, çok büyük kapasiteli tesisler için mali yönden en uygun yoğunlaştırma prosesidir.

Büyük Kapasiteli Tesisler; Paşaköy ve Büyükçekmece

- 20\$/Mg depolama, yakma prosesi, susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılması işlemi gibi, maliyet yönünden uygun değildir. Yaklaşık olarak 30\$/Mg depolama ücretinde yakma prosesi oldukça uygun bir proses olmaya başlar.

- Çok büyük tesislerde olduğu gibi, büyük tesislerde de çürütülmemiş yoğunlaştırılmış çamurun yüksek katı maddeli santrifüjü ve çürütülmüş yoğunlaştırılmış çamurun filtre pres ile susuzlaştırılması, yakma prosesi ile birlikte maliyet açısından oldukça uygun proseslerdir.
- Yine çok büyük tesislerde olduğu gibi yüksek katı maddeli santrifüj prosesi, susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılmasında maliyet açısından çok uygun bir susuzlaştırma prosesidir.
- Çok büyük tesislerde olduğu gibi, ön çökeltim çamurunun cazibe ile, biyolojik çamurun yüzdürme ile yoğunlaştırılması en uygun yoğunlaştırma prosesidir.

Orta Kapasiteli Tesisler; Tepecören

- Susuzlaştırılmış bir çamurun ortak uzaklaştırılması yakma prosesine nazaran mali yönden oldukça uygun bir prosestir. Bu durum 70\$/Mg depo ücretine kadar aynıdır. Bu sebeple yakma prosesi bu tesis için düşünülmeyecektir.
- Filtre pres ile susuzlaştırma en uygun susuzlaştırma teknolojisidir.
- Anaerobik çürütme, susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılması ile birlikte maliyet açısından oldukça uygun bir prosestir. Fakat yakma ile uygun bir proses değildir. Bu sebeple susuzlaştırılmış çamurun düzenli depolara veya diğer yakma tesislerine taşınması, bu tesisler ve küçük tesisler için muhtemel olduğundan stabilizasyonunun olmaması alternatifi düşünülmeyecektir.
- Ön çökeltim çamurun yoğunlaştırılmaması, son çökeltim çamurunun yüzdürme ile yoğunlaştırılması mali açıdan çok uygundur.

Küçük Tesisler; Adalar ve Terkos

- Bu tip tesislerde susuzlaştırılmış çamurun ortak arıtılmış işlemi, yakma işleminden daha uygundur. Bu durum Büyükada, Heybeliada, Kınalıada, Burgazada ve Terkos için 80 \$/Mg, 175 \$/Mg, 250 \$/Mg ve 500 \$/Mg depolama ücretlerine kadar değişmemektedir. Bu sebeple yakma işlemi bu tesisler için düşünülmeyecektir.

- Susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılması ile birlikte belt pres susuzlaştırma prosesi diğer susuzlaştırma sistemlerine göre en uygun prosestir. Fakat bununla birlikte belt pres sistemi ortak uzaklaştırma için gereken katı konsantrasyonu sağlayamamaktadır. Bu sebeple, uygulanabilir çamur yönetim planının bir parçası olarak gözönüne alınmamıştır. Belt presten sonra, filtre pres, ortak uzaklaştırma prosesi için mali yönden çok uygun bir sistemdir.
- Yoğunlaştırma prosesinin maliyet etkisi, ortak kapasiteli, sistemlerdeki gibidir.
- Stabilizasyon prosesinin maliyet etkisi ortak kapasiteli, sistemlerdeki gibidir.
- Bütün bu seçimler maliyete bağlı olarak İstanbul Bölgesi için ve her bir tesisi için, en uygun çamur yönetim planını seçmek için mutlaka ekonomiye bağlı olmayan faktörler gözönüne bulundurulmalıdır.

➤ Seçeneklerin Ekonomik Olmayan Hususlar Açısından Değerlendirilmesi

Küçükçekmece ve Tuzla

Küçükçekmece ve Tuzla Ortak Arıtma Tesisleri şu an inşa halindedir. Çamur arıtma proses dizaynları her iki tesisi için de aynıdır. Tasarlanmış çamur arıtma prosesi ön çökeltim çamurunun graviteye bağlı yoğunlaştırılması ve biyolojik çamurun yüzdürme ile yoğunlaştırılması, anaerobik çürütme ve santrifüj tip susuzlaştırma işlemlerinden oluşan bir arıtma teknolojisidir. Bu tesislerin dizaynında kullanılan santrifüjler çürütülmemiş çamurda % 18 ila % 25 oranında katı madde konsantrasyonlu kek üreten çürümüş çamurda % 17 ila % 24 arasında kek üreten konvansiyonel tip santrifüjlerdir. Bu sebeple, bu proses susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılması için gereken stabilizasyon ihtiyacını karşılamakta fakat % 25'lik minimum katı konsantrasyon limitini karşılamamaktadır. Yakma işlemi ile uyumluluk, susuzlaştırmayı içeren çamur arıtma prosesleri ile sağlanabilir. Bununla birlikte, konvansiyonel santrifüjlerde susuzlaştırılmış çamurun yakılması ile ilgili maliyetler oldukça yüksek olacaktır.

Fakat çamur yönetim alternatiflerinin nisbi maliyetlerini belirlemek için kullanılan bilgisayar modeli, Küçükçekmece ve Tuzla için susuzlaştırılmış çamurun birlikte uzaklaştırılması durumunda en uygun maliyetli çamur arıtma alternatifinin, ön

çökeltim çamurunun graviteye bağlı yoğunlaştırılması ve biyolojik çamurun yüzdürme ile yoğunlaştırılması, anaerobik çürütme ve yüksek katı madde konsantrasyonlu santrifüjle susuzlaştırma işlemlerinden oluşan bir arıtma teknolojisinin olduğunu bulmuştur.

Yakma ile uzaklaştırma için, en uygun maliyetli çamur arıtma prosesi, ön çökeltim çamurunun gravite ile yoğunlaştırılması ve son çökeltim çamurunun (biyolojik çamurun) yüzdürme ile yoğunlaştırılması, çürütme işleminin olmaması ve yüksek katı madde konsantrasyonlu santrifüj ile susuzlaştırma işlemlerinden oluşan bir arıtma teknolojisidir. Yüksek katı maddeli santrifüjler % 25-35 katı konsantrasyonlu bir kek üretir. Yüksek katı madde konsantrasyonu, susuzlaştırılmış çamurun yakılması için olduğu gibi susuzlaştırılmış çamur için de daha düşük taşıma ve uzaklaştırma maliyeti sağlar. Bu alternatifler, çamur işleme kolaylığı için en uygun alternatiflerdir.

Riva ve Baltalimanı

Riva ve Baltalimanı Ortak Arıtma Tesisleri dizaynına karar verilmiş tesislerdir. Tasarlanmış olan arıtma tesisinin, stabilizasyon prosesinin, olmayışı ve belt pres sisteminin üretmiş olduğu çamurun katı konsantrasyonunun % 25'den fazla olmayışı sebebiyle, bu sistem, susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılmasına uygun değildir.

Susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılması için tavsiye edilen proses, Küçükçekmece ve Tuzla'da önerilen gibi olup, Riva ve Baltalimanı için de en uygun bir prosestir. Bu proses zinciri; önçökeltim çamurunun gravite ile, son çökeltim çamurunun ise yüzdürme ile yoğunlaştırılması, anaerobik çürütme ve yüksek katı maddeli santrifüj ile susuzlaştırma işlemlerinden oluşmaktadır. Yakma işlemi için kullanılacak olan en uygun proses zinciri; ön çökeltim çamurunun gravite ile, son çökeltim çamurunun ise yüzdürme ile yoğunlaştırılması, çürütme işleminin yapılmaması ve yüksek katı maddeli santrifüj ile susuzlaştırma işlemidir.

Paşaköy ve Büyükçekmece

Paşaköy ve Büyükçekmece için önceki çalışmalarda önerilen çamur arıtma prosesleri, Küçükçekmece ve Tuzla için önceden önerilen proseslerle aynıdır. Ayrıca Küçükçekmece ve Tuzla'daki gibi , her iki uzaklaştırma alternatifi içinde

konvansiyonel santrifüj yerine yüksek katı maddeli santrifüjün kullanılması mali yönden en uygun prosestir. Daha büyük tesislerin aksine, susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılması, yakmaya nazaran daha az maliyetli bir alternatiftir. Ekonomik analiz modelindeki depolama ücreti 20\$/Mg 'dır. Yaklaşık 30\$/Mg'da yakma ve ortak uzaklaştırma alternatiflerinin (susuzlaştırılmış çamur ve yakma sonucu oluşan küllerin) maliyetleri aynıdır.

Tepeören

Proje alanında, mekanik olmayan susuzlaştırma prosesine sahip (kurutma yatakları) önceki çalışmada tek tesisidir. Bu öneri, Tepeören'de kurutma yatakları için gereken yeterli alanın var olduğu kabul edilerek yapılmıştır. Bu kabul diğer ortak arıtma tesisleri için yapılmamıştır. Bu tesislerde hep mekanik susuzlaştırma sistemleri önerilmiştir. Çünkü bu sistemlerin alan ihtiyacı daha küçüktür. çamur kurutma yatakları Tepeören için filtre pres ve belt preslere göre hem ekonomik hem de ekonomik olmayan faktörler için en uygun kurutma prosesidir. Ön çökeltim çamurunun gravite ile yoğunlaştırılması bu kapasitedeki tesisler için maliyet yönünden uygun bir yoğunlaştırma prosesi değildir.

Adalar

Önceki çalışmalarda Büyükada, Heybeliada, Kınalıada ve Burgazada için ön çökeltim çamurlarının gravite ile yoğunlaştırılması ve herhangi bir çürütme ve susuzlaştırma işleminden geçmemesi önerilmiştir. Bu öneri susuzlaştırılmış çamurun ortak uzaklaştırılması için gerekli çamur arıtmayı karşılamamaktadır. Ön çökeltim çamurunun yoğunlaştırılmadan, son çökeltim çamurunun yüzdürme ile yoğunlaştırılması ve birleşik (ön çökeltim + son çökeltim) çamurun gravite ile yoğunlaştırılması maliyet açısından en uygun proseslerdir. Yüksek katı maddeli santifüjler ve filtre pres sırasıyla en uygun susuzlaştırma prosesleridir.

Terkos

Terkos için uzun havalandırmalı atıksu arıtma sistemi planlanmıştır. Bu proseste tek çamur kaynağı mevcuttur. Önceki yapılan çalışmalarda bu çamur gravite ile yoğunlaştırılmasının akabinde filtre pres ile susuzlaştırılması önerilmiştir. Fakat stabilizasyon olmaksızın bu çamurun uzaklaştırılması uygun olmadığından Terkos için çürütme gerekli bir işlemdir. Yakmanın tercih edilmemesinin sebebi ise bu kapasitede bir tesis için pahalı olmasıdır.

5.7.1.2 Master Plan Önerileri ve Eleştirileri

➤ Atıksu Arıtma Seçenekleri

Bölüm 5. 5’de de belirtildiği gibi İstanbul’un su temini, kanalizasyon ve drenaj, atıksu arıtma ve uzaklaştırılması konusunda 1993 yılında başlayan ve henüz tamamlanmamış bir çalışma yapılmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde TR2 raporunda İstanbul’un gelecekteki nüfus projeksiyonu yapılmış, debi ve kirletici yükleri tahmin edilmiştir(1995). Bu rapordaki veriler esas alınarak TR7 raporunda atıksu arıtma çamurlarının arıtılması ve uzaklaştırılması konusunda öneriler sunulmuş ve önerilen maliyet projeksiyonları verilmiştir (1997). TR12 sayılı raporda ise, İstanbul için 9 ayrı arıtma stratejisi önerilmiştir. Bu planda atıksu 8 ayrı atıksu havzasına ayrılmıştır. Bu havzalar; Baltalimanı, Büyükçekmece, Küçükçekmece, Yenikapı, Tuzla, Tepeören, Paşaköy ve Riva’dır.

Önerilen 1. Seçenekte, bütün havzalarda 3. Derece arıtma yapılması ; 2. Seçenekte Büyükçekmece, Küçükçekmece, Tepeören, Paşaköy ve Tuzla’da 3. Derece diğer arıtma tesislerinde 1. Derece (Marmara Denizine deşarjlar 3. Derece, Boğaz akıntısına verilenler 1. Derece) arıtma yapılması teklif edilmiştir. 1. ve 2. Seçeneklerde her havza için ayrı bir arıtma tesisi kurulması planlanmıştır. 3. Seçenekte, Avrupa yakasındaki tüm atıksuların Kısırkaya’da; Asya Yakasındaki tüm atıksuların ise Riva’da toplanarak 1. Derece arıtma yapılması önerilmiştir. Bu önerinin felsefesi, atıksuların Marmara Denizi’ne deşarjının önlenmesi olarak belirtilmiştir. 4. Seçenekte, 3. Seçenekten farklı olarak Tuzla’da inşa edilmekte olan tesiste 3. Derece arıtma, Yenikapı’da ise 1. Derece arıtma yapılması önerilmektedir. 5. Seçenekte, Avrupa yakasındaki tüm atıksuların Baltalimanı’nda, Asya Yakasındaki tüm atıksuların, ise Göksu’ya toplanarak 1. Derece arıtmadan geçirilmesi planlanmıştır. Bu seçenek 4. Seçenekteki tünel masraflarını azaltmak amacını gütmektedir. 6. Seçenekte, atıksular Baltalimanı (1. Derece arıtma), Göksu (1. Derece arıtma), Yenikapı (1. Derece arıtma), Tuzla (3. Derece arıtma)’da toplanarak uzaklaştırılmaktadır. 7. Seçenekte, İstanbul 10 atıksu toplama havzasına ayrılmıştır. Daha önce belirtilen 8 atıksu havzasına ilave olarak Küçüksu ve Kadıköy atıksu toplama havzaları tanımlanmıştır. Baltalimanı, Kadıköy Küçüksu ve Yenikapı’da 1. Derece, Büyükçekmece, Küçükçekmece, Tepeören, Paşaköy ve Tuzla’da 3. Derece arıtma yapılması önerilmiştir. 8. ve 9. Seçeneklerde, İstanbul 10

atıksu toplama havzası olarak düşünülmüştür. 8. Seçenekte Baltalimanı, Göksu ve Yenikapı'da 1. Derece, Büyükçekmece, Küçükçekmece, Tepeören, Paşaköy ve Tuzla'da 3. Derece arıtma yapılması önerilmiştir. Master plan çalışma grubunun en öne çıkardığı alternatif 8. Seçenektir. 9. Seçenekte, Baltalimanı, Paşabahçe, Kadıköy, Küçüksu ve Yenikapı'da 1. Derece, Büyükçekmece, Küçükçekmece, Tepeören, Paşaköy ve Tuzla'da 3. Derece arıtma yapılması önerilmiştir. 9. Seçeneğin 7. Seçenekten tek farkı Paşabahçe'de 1. Derece arıtma yapan bir arıtma tesisinin de kurulmasıdır.

TR 12 raporuna göre incelenen seçenekler arasında, Asya yakasında Göksu'da büyük bir 1. Derece arıtma tesisinin kurulmasını öngören 8. Seçenek, atıksuların uzun vadede arıtılması ve uzaklaştırılması için en uygun seçenek olarak görülmüştür. Bunun başlıca nedenleri şunlardır:

- Yatırım ve işletme maliyeti en düşük seçeneklerden biridir ve marjinal olarak fayda/maliyet verimi en yüksek olan seçenektir.
- Alıcı ortam üzerindeki etkileri azdır ve modelleme çalışmalarında getirilen önerilere uygundur.
- Tesis nispeten kolayca kademelendirilebileceği için yatırım harcamalarını uzun süreye yaymak mümkündür.
- Mevcut yatırımları kullanmaktadır.

Ancak , 8. Seçenek, uzun vadeli hedefler için esas alınmadan önce dikkate alınması gereken bazı hususlar vardır:

1. Göksu sahasının kullanılmasına engel oluşturan ve gelecekte mesire alanı olarak korunmasını öngören çevresel faktörler bulunmaktadır.
2. Çevredeki yerleşim alanlarına ciddi etkileri olabileceğinden çamurun uzaklaştırılması önemli bir problem olacaktır.
3. Göksu sahasında inşaat çalışmaları çevredeki yerleşim alanlarını etkileyecek ve bu nedenle İSKİ kamuoyunun tepkisini toplayacaktır.

4. Gelecekte arıtma derecesinin yükseltilmesi gerekirse Göksu tesisini genişletmek zor olacaktır.

Raporda İSKİ'nin 8. Seçeneğin dezavantajlarının kabul edilemez olduğu görüşünde olması halinde, 2. Seçeneğin muhtemel bir alternatif olarak görüldüğü belirtilmiştir. 2. Seçenekte, Asya yakasındaki büyük 1. Derece arıtma tesisinin Göksu yerine Riva'da kurulması önerilmektedir. 2. Seçenek gelecekte yapılacak genişletmeler için tam bir esnekliğe sahip seçenektir. Daha uzakta bulunan Riva sahasında çamurun arıtılması ve uzaklaştırılması da daha az sorun olacaktır. Ancak bu seçenek, 8. Seçeneğe oranla mali ve ekonomik açıdan daha az caziptir. Gelecekte, belirleyici tek faktörün tesisin arıtma derecesinin yükseltilmesi esnekliği olması halinde, İSKİ alternatif olarak 2. Derece arıtma tesislerini Riva'da inşa etmeyi ve 1. Derece arıtma çıkış sularını Göksu'dan buraya pompalamayı düşünebilir. Ancak bu durumda gelecekte kapasite artırılması ihtiyacına çözüm getirilmemiş olacaktır.

Önerilen seçeneklerin herbiri İSKİ'nin büyük yatırım yapmasını gerektirmektedir ve gerek 2. Seçenek gerekse de 8. Seçenek yatırımların geniş bir zaman dilimine yayılması için tesislerin kademelendirilmesine olanak tanımaktadır. Bazı geçici tesislerin yapılması İSKİ'yi kesin ve uzun vadeli bir çözüme bu aşamada karar vermek yükünden kurtaracağı görülecektir. Dolayısıyla İSKİ'nin önünde, nüfus artışındaki gelişmeleri, deniz suyu kalitesini ve AT deşarj standartlarını izlemeye devam edebileceği ve elde edilen verileri uzun vadeli strateji geliştirmekte kullanabileceği 10 yıl gibi uzun bir süre bulunmaktadır. Bu süre zarfında toplanacak veriler İSKİ'nin uzun dönem atıksu arıtma ve uzaklaştırma stratejisini daha oluşturmaya ve Riva sahasındaki esnekliğin gerekip gerekmediğine daha iyi karar vermesine imkan tanıyacaktır. Dolayısıyla, İSKİ'nin gelecekteki menfaatlerini korumak için mevcut Riva sahasını boş tutulması ve burada yapılaşmamaya izin verilmemesi gerekmektedir.

➤ Master Plan 1997'de Önerilen Çamur Arıtma Yönetim Sistemi

Master Plan TR7 Raporunda evsel ve endüstriyel nitelikli atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamur miktarları her bir havza için önerilen seçenekler ve bu seçeneklerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri verilmiştir. Önerilen sistemler genelde birinci derece arıtma çamurlarının graviteli, biyolojik arıtma çamurlarının ise

flotasyonlu yüzdürme yolu ile yoğunlaştırılmasını, anaerobik arıtmadan geçirildikten sonra santrifüjle susuzlaştırılıp düzenli depolamaya verilmesini kapsamaktadır. Master planın esas aldığı kısa vadeli çözümde, 2010 yılına kadar derin deniz deşarjı sistemleri hariç diğer havzaların biyolojik arıtma yapılması daha sonraki aşamalarda ise üçüncü derece arıtmaya geçilmesi önerilmektedir. Kısa vadede dikkati çeken en önemli husus, yakma tesisinin önerilmemesidir.

➤ Master Plan Eleştirileri

Yakma : Çamur uzaklaştırma alternatifleri arasında belki de en güvenilir olmasına rağmen pahalı bir alternatiftir. Hava kirliliği konusunda önlemler alınması gerektirmektedir. Ayrıca Baltalimanı, Tuzla gibi yörelerde kurulması planlanan yakma tesisleri şehir içinde bulunan tesislerdir. Bu tesislerin çevresel etkileri olumsuz olabilir ve halk sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu konu ile ilgili fizibilite çalışması yapılmalıdır. Üstelik Master Plan'da günlük depolanacak atık çamurun ve kül miktarının kuru ağırlık ve hacim hesabı yapılmamıştır. Bu işlem seçeneklerin karşılaştırılması, depo alan ve yerinin tespiti açısından oldukça önemlidir.

Düzenli Depolama : Arıtma çamurlarını katı atıklarla birlikte İstanbul'da depolamak oldukça zor hatta imkansızdır. Çünkü İstanbul'da çamur miktarını karşılayacak alan mevcut değildir. Araştırmalar toplam alanın ihtiyaçtan fazla olduğunu gösterse de bu alanlarının, depolama alanı olarak kullanılabilme şartları düşünüldüğünde (yerleşim merkezlerinden belli mesafelerde uzak olması, içmesuyu havzaları yakınları kullanılamaması, evsel çamurun endüstriyel çamurla birlikte karıştırılıp depolanması durumunda çamurun yapısındaki ağır metal miktarının oldukça kritik bir parametre olduğu v.s.) arazi seçimindeki gösterilmesi gereken titizlik açıkça kendini göstermektedir.

5.7.1.3 Yeni Öneriler

1. Evsel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamuru için kompostlaştırma alternatifi şimdiye kadar yapılan çamur yönetim çalışmalarında önerilmemiştir. Bu çamurların kompostlaştırılıp tarım arazilerinde kullanılması üzerinde durulması gereken bir alternatiftir. Kompostlar parkların oluşturulmasında, bozulmuş veya işlenmiş arazilerin yeniden

bitkilendirilmesinde, sebze ve meyve yetiştirilmesinde, bahçecilik ve fidanlık mahsullerinde kullanılabilir. Özellikle ABD ve İskandinav ülkelerinde uzun yıllardır kompostlaştırma başarıyla uygulanmaktadır.

2. Bir diğer öneri, çamurun tahsis edilmiş alanlara depolanmasıdır. Taş/kum ocaklarında faaliyet bittikten sonra ya da taş kum çıkarıldıktan sonra düzenlenmeden bırakılmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesinin yapmış olduğu bir araştırmaya göre İstanbul bölgesinde yani şu anda kullanılmayan 118 adet taş/maden ocağı bulunmaktadır. Bunların içindeki Kartal Maden Ocağı içlerinde en büyük olanıdır. Özellikle su havzalarının dışındaki alanlar ve yine özellikle kömür ocakları arıma çamurlarının depolanması için oldukça idealdir. Özellikle kömür ocaklarında taban zemini geçirimsiz olarak yapılmalıdır. Bu çamur deposu olarak kullanılması bakımından çok idealdir. Ek.'de İstanbul Bölgesinde bulunan kum ve taş ocaklarının listesi gösterilmiştir. Ayrıca İstanbul şehrinin genel bir haritası üzerinde taş ve maden ocaklarının yerlerinin gösterildiği bir topoğrafik harita da Ek'de sunulmuştur. Çamurların terkedilmiş bölgelere, taş, kum ve maden ocaklarına depolanması için Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliğine göre stabilize edilmesi gerekir. Böylece çamurun taşınması ve depolanması esnasında ve sonrasında sinek, haşere v.s. üremesi de engellenmiş olur. Çürütücü olmayan tesislerde çamur stabilizasyonu için oldukça ucuz bir malzeme olan kireç kullanılır. Bu durumda çamur miktarındaki artış gözardı edilmemelidir. Ayrıca çamurların bu dolgu alanlarına taşınması kapsamlı bir planlama çerçevesinde yapılmalı; özellikle trafiğin daha yoğun olduğu bölgelerde taşımacılığın, trafiğin daha az olduğu saatlerde yapılarak trafiği minimum etkileyecek önlemler alınmalıdır.

5.8 Paşaköy Arıtma Çamurlarının Maliyet Analizleri Üzerine Bir Çalışma

Paşaköy arıtma tesisinden kaynaklanan çamurların yönetimi ile ilgili iki alternatifin maliyet çalışması yapılmış ve sonuçları belirtilmiştir. Bu alternatiflerden ilki Paşaköy çamurları için Paşaköy'de bir çamur arıtma tesisi kurarak burada yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırma aşamalarından geçirerek düzenli depolama alanına uzaklaştırmaktır. İkinci alternatif ise çamurun Paşaköy'de yoğunlaştırılıp, buradan Tuzla'daki mevcut tesise iletilmesi ve orada stabilizasyon ve susuzlaştırma aşamalarından geçirerek düzenli depolama alanlarına taşınmasıdır.

Çamur miktarları ve kuruluk oranları İSKİ için 1993 yılında hazırlanan çamur yönetim çalışmasından baz alınmıştır. Çamur yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırma tekniklerinin seçiminde ise Master Plan TR7 Raporu baz alınmıştır. Maliyet hesabında baz alınan grafikler Proses Selection for Optimal Management of Regional Wastewater Residuals adlı kaynaktan alınmıştır.

5.8.1 1. Alternatif

Paşaköy'de gravite ile yoğunlaştırma, DAF ile yoğunlaştırma, anaerobik stabilizasyon ve santrifüj ile susuzlaştırma ünitelerinin kurulması ve en yakın düzenli depolama alanına iletmek ilk alternatif olarak ele alınmıştır.

Bu çalışma İSKİ için 1993 yılında hazırlanan çamur yönetim çalışmasında yapılmıştır. Bu alternatif için maliyet söz konusu çalışmadan olduğu gibi alınmış, Construction Cost Index değeri de dikkate alınarak maliyet güncelleştirilmiştir.

Sözkonusu çalışmada Paşaköy çamurlarının yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırma tekniklerinin kullanılması durumunda ilk yatırım maliyeti 8,077,262 \$, işletme maliyeti ise 1,525,949 \$ olarak hesaplanmıştır.

Paşaköy – Düzenli Depolama Sahası mesafesi 50 km., Çamurların kamyonlar ile Düzenli Depolama Sahasına taşınma maliyeti 988,941 \$.'dır.

Amortisman hesabı yapılarak maliyetler bir kalemde toplanabilir :

$$A = P [i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]] \quad (5.1)$$

A = Amortisman

P = Şimdiki değer (8,077,262 + 988,941)

i = Faiz Oranı (%7)

n = Yıl (20)

$$A = (8,077,262 + 988,941) [0.07 (1+0.07)^{20} / [(1+0.07)^{20} - 1]] = 855,900 \text{ \$/yıl}$$

Toplam maliyet : 1,525,949 + 855,900 = 2,381,849 \\$/yıl

1992 yılı için Construction Cost Index = 5,042

5.8.2 2. Alternatif

Paşaköy'de çamurların yoğunlaştırılması, Tuzla'ya taşınması, Tuzla'daki mevcut anaerobik çürütücü ve santrifüj ünitelerinin kapasitelerinin artırılarak kullanılması ve susuzlaştırılmış çamurun en yakın Düzenli Depolama Sahası'na ulaştırmak ikinci alternatif olarak ele alınmıştır.

Paşaköy'de çamurların yoğunlaştırılması birincil çamur için gravite ile, ikincil çamur için DAF ile olacaktır.

Paşaköy'de birincil çamur miktarı = 35,289 kg/gün

Gravite ile yoğunlaştırmada ele alınacak yüzey yükü = 25 kg/m²/gün (Metcalf & Eddy, 1991)

Yoğunlaştırma ünitesi yüzey alanı = 35,289 kg/gün / 25 kg/m²/gün
= 1,411 m² = 15,194 ft²

Bu hacim için ilk yatırım maliyeti = 700,000 \$

İşletme maliyeti = 2,000,000 \$/yıl (Proses Selection for Optimal Management of Regional Wastewater Residuals, 1978, Sf. 252)

Amortisman hesabı = 700,000 x [0.07 (1+0.07)²⁰ / [(1+0.07)²⁰ - 1]] = 66,084 \$/yıl

Toplam maliyet = 2,066,084 \$/yıl

Paşaköy'de ikincil çamur miktarı = 26,873 kg/gün

Gerekli DAF yüzey alanı hesabı

$$A/S = R \times 24.3 (0.5 \times 4 - 1) / (C_0 \times Q) \quad (5.2)$$

R = Resirkülasyon debisi, m³/gün

Q = Çamur debisi, m³/gün

C₀ = Katı madde konsantrasyonu = 1,000 mg/lt

A/S = Hava / Katı oranı = 0.02

R = 2,949 m³/gün

$$Q_R = (Q + R) / A \quad (5.3)$$

Q_R = Hacimsel yükleme oranı = 2.5 ~ 6 m³/m²/st (Metcalf & Eddy, 1991)

A = 272 m³/st / 4.5 6 m³/m²/st = 60.4 m² = 650.6 ft²

Bu alan için ilk yatırım maliyeti = 200,000 \$

İşletme maliyeti = 1,700,000 \$/yıl

Amortisman hesabı; $A = 200,000 \times [0.07 (1+0.07)^{20} / [(1+0.07)^{20} - 1]] = 19,081$ \$/yıl

Toplam DAF maliyeti = 1,719,081 \$/yıl

Paşaköy - Tuzla mesafesi 25 km. = 40 mil, yoğun çamurun Tuzla'ya kamyonla taşınması maliyeti ise ;

Yoğun çamurun kuru madde muhtevası = 0.06 (Metcalf & Eddy, 1991)

Bu durum için çamur miktarı $1,033 \text{ m}^3/\text{gün} = 272,890 \text{ gal/gün}$

Toplam Maliyet = 2,800,000 \$/yıl'dır.

Tuzla'daki anaerobik çürütme kapasitesinin artışı hesabı şu şekildedir;

Tuzla arıtma tesisinden kaynaklanan yoğun çamur miktarı $3,581 \text{ m}^3/\text{gün} = 946,003 \text{ gal/gün}$ (Yoğun çamurun kuru madde muhtevası = 0.06 alınmıştır.)

İlk yatırım maliyeti = 800,000 \$

İşletme maliyeti = 1,600,000 \$/yıl

Amortisman hesabı; $A = 800,000 \times [0.07 (1+0.07)^{20} / [(1+0.07)^{20} - 1]] = 76,325$ \$/yıl

Toplam maliyet = 1,676,325 \$/yıl

Paşaköy arıtma tesisinden kaynaklanan ve Tuzla'ya taşınan yoğun çamur miktarı $1,033 \text{ m}^3/\text{gün} = 272,890 \text{ gal/gün}$

İlk yatırım maliyeti = 900,000 \$

İşletme maliyeti = 1,700,000 \$/yıl

Amortisman hesabı; $A = 900,000 \times [0.07 (1+0.07)^{20} / [(1+0.07)^{20} - 1]] = 84,965$ \$/yıl

Toplam maliyet = 1,784,965 \$/yıl

Paşaköy çamurları için Tuzla'daki kapasite artışı iki toplam maliyet arasındaki farktır: $1,784,965 \text{ $/yıl} - 1,676,325 \text{ $/yıl} = 109,441 \text{ $/yıl}$

Tuzla'daki santrifüj ünitesinin kapasitesinin artışı hesabı, Tuzla için İSKİ Çamur Yönetim Çalışması raporunki değerlerden enterpolasyon yardımıyla hesaplanmıştır;

Tuzla çamurları için ilk yatırım maliyeti = 2,035,661 \$

İşletme maliyeti= 2,334,438 \$/yıl

Amortisman hesabı; $A = 2,035,661 [0.07 (1+0.07)^{20} / [(1+0.07)^{20} - 1]] = 194,215$ \$/yıl

Toplam maliyet = 2,528,653 \$/yıl

Paşaköy ve Tuzla çamur hacimlerinden enterpolasyon katsayısı bulunur:

$$(15,665 \text{ m}^3/\text{gün} + 4,466 \text{ m}^3/\text{gün}) / 15,665 \text{ m}^3/\text{gün} = 1.28$$

$$\text{İlk yatırım maliyeti için } 1.28^{0.3} = 1.08 \times 2,035,661 \$ = 2,198,513 \$$$

$$\text{İşletme maliyeti için } 1.28^{0.7} = 1.19 \times 2,334,438 \$/\text{yıl} = 2,777,981 \$/\text{yıl}$$

$$\text{Amortisman hesabı; } A = 2,198,513 [0.07 (1+0.07)^{20} / [(1+0.07)^{20} - 1]] = 209,752 \$/\text{yıl}$$

$$\text{Toplam maliyet} = 2,987,733 \$/\text{yıl}$$

Paşaköy çamurları için Tuzla'daki kapasite artışı iki toplam maliyet arasındaki farktır: $2,987,733 \$/\text{yıl} - 2,528,653 \$/\text{yıl} = 459,080 \$/\text{yıl}$

Paşaköy – Düzenli Depolama Sahası arası 110 km. = 20 mil; Tuzla'da işleme tabi tutulmuş çamurların en yakın düzenli depolama alanına kamyonla iletilmesi maliyeti;

Susuzlaştırılmış çamurun kuru madde muhtevası = 0.25 (Metcalf & Eddy, 1991)

Bu durum için çamur miktarı $248 \text{ m}^3/\text{gün} = 65,686 \text{ gal/gün}$

Toplam Maliyet = 400,000 \$/yıl

$$\text{İkinci alternatif toplam maliyeti} = 2,066,084 \$/\text{yıl} + 1,719,081 \$/\text{yıl} + 2,800,000 \$/\text{yıl} + 109,441 \$/\text{yıl} + 459,080 \$/\text{yıl} + 400,000 \$/\text{yıl} = 7,553,686 \$/\text{yıl}$$

1978 yılı için Construction Cost Index = 2575

Bu durumda birinci alternatif $2,381,839 \times 5042/2575 = 4,663,799 \$/\text{yıl}$ olmaktadır.

Sonuçlardan görüleceği gibi birinci alternatif daha fizibildir.

6. SONUÇLAR

Arıtma çamurlarının yönetimi ve uzaklaştırılması konusu irdelenen, bazı ülkelerdeki bu konuda yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilen ve buna bağlı olarak İstanbul atıksu havzalarından ortaya çıkacak çamurun yönetimi konusunun araştırıldığı İstanbul'daki arıtma çamurlarının yönetimi ve uzaklaştırılması konusu irdelenen bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. İstanbul atıksu yönetim politikası içinde, arıtma çamurlarının bertarafı üzerinde kapsamlı ve titiz bir çalışma yapılması gereken bir bölüm oluşturmaktadır. Ancak atıksu arıtımı konusu çok tartışıldığı halde çamur uzaklaştırma konusu üzerinde sınırlı sayıda araştırma ve çalışma yapıldığı görülmektedir. İstanbul için çamur arıtma ve uzaklaştırma konusu üzerine ilave çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.
2. Çamur arıtma konusunda yasal mevzuatta önemli boşluklar bulunmaktadır. Arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırılmasının nasıl yapılacağı konusunda belirsizlikler mevcuttur. Bunun tabii sonucu olarak mevcut arıtma tesislerinin çamurlarının da nasıl uzaklaştırdıkları bilinmemektedir.
3. Evsel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamuru için kompostlaştırma alternatifi şimdiye kadar yapılan çamur yönetim çalışmalarında önerilmemiştir. Bu çamurların kompostlaştırılıp tarım arazilerinde kullanılması üzerinde durulması gereken bir alternatiftir. Kompostlar parkların oluşturulmasında, bozulmuş veya işlenmiş arazilerin yeniden bitkilendirilmesinde, sebze ve meyve yetiştirilmesinde, bahçecilik ve fidanlık mahsullerinde kullanılabilir. Özellikle ABD ve İskandinav ülkelerinde uzun yıllardır kompostlaştırma başarıyla uygulanmaktadır.
4. Evsel atıksu çamurlarının nihai uzaklaştırma yöntemini, çamur kalitesi de etkilemektedir. Özellikle araziye serme, tarım alanlarında uygulama ve kompostlaştırma çamurun ağır metal muhtevası ile yakından alakalıdır. Sanayileşmiş bölgelerde, endüstriyel ön arıtma tesislerinin denetimi ve kanal deşarj standartları

evsel atıksu çamurlarının kalitesi de dikkate alınarak uygulanırsa bu çamurların nihai uzaklaştırma alternatifleri daha fazla olacaktır.

5. Çamurun tahsis edilmiş alanlara depolanması da kısa vadede uygulanabilecek bir öneridir. İstanbul Büyükşehir Belediyesinin yapmış olduğu bir araştırmaya göre İstanbul bölgesinde 118 adet taş/maden ocağı bulunmaktadır. Ek'de bu kum ve taş ocaklarının listesi harita ile birlikte gösterilmiştir. Bunların içinde Kartal Maden Ocağı en büyük olanıdır. Özellikle su havzalarının dışındaki alanlar ve yine özellikle kömür ocakları arıtma çamurlarının depolanması için oldukça uygun alanlardır. Özellikle kömür ocaklarında taban zemini geçirimsiz olarak yapılmalıdır. Bu çamur deposu olarak kullanılması bakımından çok idealdir. Çamurların terkedilmiş bölgelere, taş, kum ve maden ocaklarına depolanması için Katı Atıklar Kontrol Yönetmeliğine göre stabilize edilmesi gerekir. Böylece çamurun taşınması ve depolanması esnasında ve sonrasında sinek, haşere v.s. üremesi de engellenmiş olur. Çürütücü olmayan tesislerde çamur stabilizasyonu için oldukça ucuz bir malzeme olan kireç kullanılabilir. Bu durumda çamur miktarındaki artış gözardı edilmemelidir. Ayrıca çamurların bu dolgu alanlarına taşınması kapsamlı bir planlama çerçevesinde yapılmalı; özellikle trafiğin daha yoğun olduğu bölgelerde taşımacılığın, trafiğin daha az olduğu saatlerde yapılarak trafiği minimum etkileyecek önlemler alınmalıdır.

6. Yakma pahalı bir alternatif olmakla birlikte depolanacak madde miktarının az olması gibi özellikle İstanbul için önemli bir avantaja sahiptir. Ancak gerek Çamur Yönetim Çalışması (1993)'te gerekse devam etmekte olan Master Plan Çalışması'nda günlük depolanacak atık çamur ve kül miktarının kuru ağırlık ve hacim olarak hesabının yapılmadığı görülmektedir. Bu hesabın yapılması, seçeneklerin karşılaştırılması, depo alan ve yerinin tespiti açısından oldukça önemlidir.

7. Master Plan (1997) çalışmasında önerilen çamur arıtma sistemlerinin toplam ilk yatırım maliyeti yaklaşık 235×10^6 USD, işletme maliyeti ise yaklaşık 70×10^6 USD / yıl olarak verilmektedir. Sadece ilk yatır maliyeti 277.000-TL'ye eşit alındığında 6.5 trilyon T.L tutmaktadır. Buna işletme maliyeti de eklendiğinde çok daha yüksek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Bunun finansmanının temininin ve iş planlamasının atıksu arıtma tesisleri ile birlikte yapılması büyük önem taşımaktadır. Eğer öncelik

sıralaması yapılması gerekiyorsa bunun kriterlerinin ortaya konulması ve yatırım zamanlamasının ekonomik yapılabirlikle düşünülmesi gerekmektedir.





EKLER

KAYNAKLAR

ACE PLAN, (1990), Japan Sewage Works Agency Broşürü

AKÇA, L., (1996) Arıtma Çamurlarının Tarım Alanlarında Değerlendirilmesi, Mersin Çevre Sorunları Sempozyumu

BRADLAY, JW, SHUNSOKU KYASAİ DE, MATHEWS P (1993) Worldwide Sludge Management Practies and Disposal

GÖKGÖZ, E., (1993), İstanbul Atıksu Arıtma Tesislerinden Ortaya Çıkacak Çamur Miktarlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

DAVID A CORNELL, SISTEM YAPI, İSKİ, (1993), Domestic and Industrial Waste Sludge Management Study For Greater İstanbul, Enviromental Engineering Technology, Virgina Volume 1 -2

ISWA, (1994), 3 No, Times Dergisi, Sayı No:3 New York

IAWQ, CECILWE-HING, (1996), Sludge Management In Highly Urbanized Areas, Volume 34, No:3.4

IAWQ, JEREMY E. HALL, (1997), Development Of Sludge Treatment and Disposal Strategies For Large Conurbations, Volume 36, No:11

KINAYYİĞİT, G., KERESTECİOĞLU, M. (1993), İstanbul Metropolitan Alana Evsel ve Endüstriyel Çamur Yönetimi Projesi, Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi, Cilt3, Sayı 3, Sh 181-191

MEDCALF& EDDY (1991), Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse, McGraw - Hill Book Company, NY

MUSLU, Y., (1996), Atıksuların Arıtılması, İTÜ Yayını, Sayı: 1577, İstanbul

RICHARD DICK, DAVID L. SIMMONS, ROY. O.BALL, KIM PERLIN MICHAEL W. O HARA, 1978 Proses Selection for Optimal Manegement of Reginal Wastewater Recidual Final Project Report, Newyork Delaware

VESILIND, P.A., SKENE E.T, HARTMAN G.C (1985), Sludge Management Disposal For The Levis Publisher Practicing Engineering, Chelsa

SOYLU,N., (1994), Donma Çözülmenin Arıtma Çamurları Susuzlaştırılabilirliği Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul,

GARBER W.F. and ANDERSON D.R. , (1990), Sludge Management, Volume 27, No: 12, Cambridge

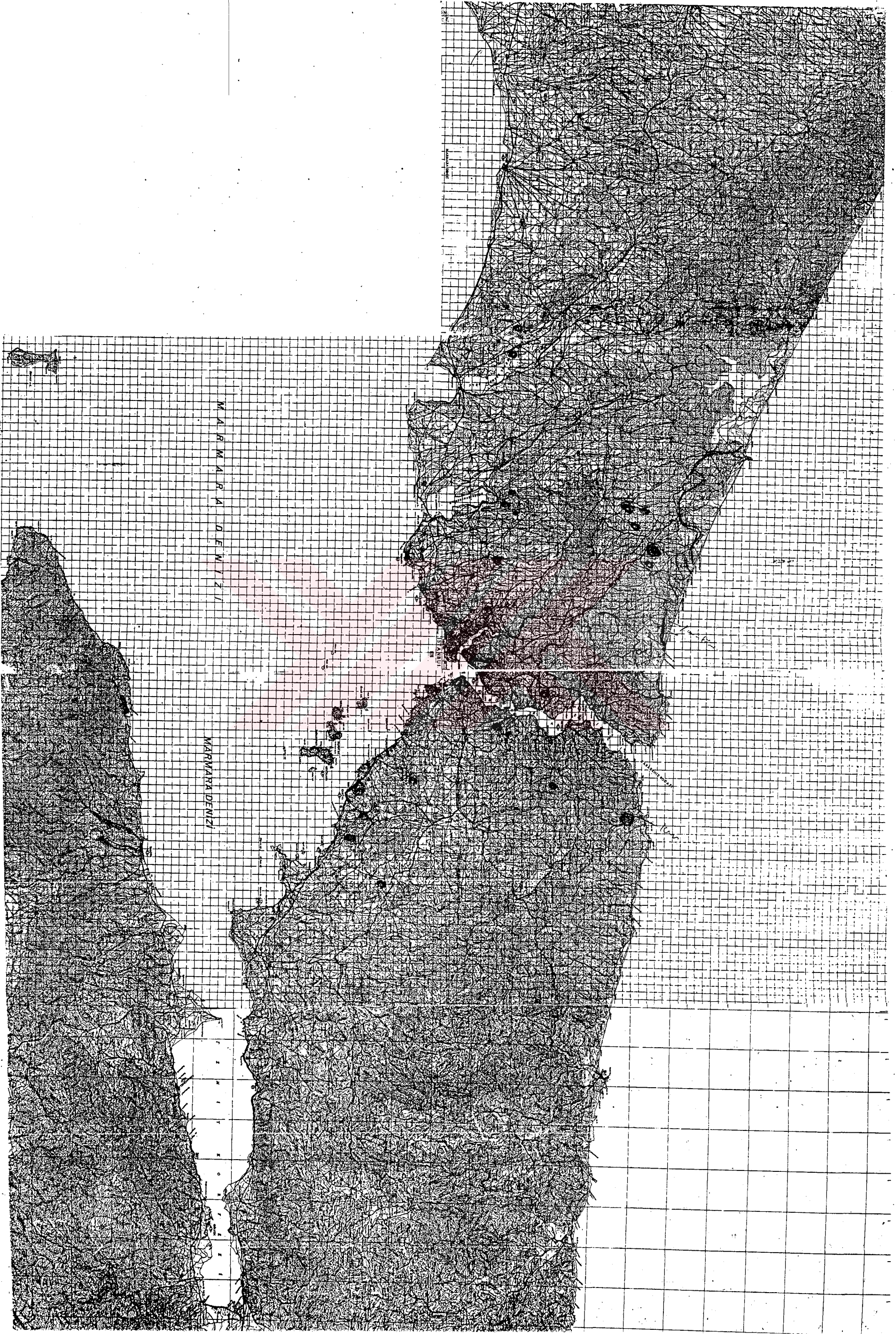
Ek 1.A İstanbul Bölgesi Kum / Taş / Maden Ocakları Listesi

NO	YER	KÖY	MEVKİ	OCAK CİNSİ
1	Şile	Yeniköy	Abdurrahman Değirmeni	Taş
2	Şile	Alacalı	Köy Hududu	Taş
3	Şile	Üvezli	Şeftali Dere	Taş
4	Şile	Ahmetli	Mezarlık	Taş
5	Şile	Ahmetli	Alafaka Deresi	Taş
6	Şile	Avcıkoru	Üç Kardeşler	Taş
7	Şile	Kızılca köy	Çamaşır Dere	Puzolantras
8	Ümraniye	Sırapınar	Kızılca Ingiltepe	Kil
9	Ümraniye	Hüseyinli	Yuvatarla	Taş-Kireç
10	Ümraniye	Ömerli	Asartepealtı Dindere	Taş
11	Ümraniye	Ömerli	Armutlu Deresi	Taş
12	Ümraniye	Hüseyinli	Topyeri Ayazma	Taş
13	Ümraniye	Ömerli	Eğeli	Taş
14	Ümraniye	Ömerli	Eğeli	Kil
15	Ümraniye	Ömerli	Cevizlidere	Taş
16	Ümraniye	Ömerli	Cevizlidere	Taş
17	Ümraniye	Sırapınar	Kızılca Ingiltepe	Kil
18	Ümraniye	Koçullu	Dönmece	KumAriet
19	Yalova	Yenimahalle	Kiremitdere	Moloz taş
20	Yalova	Esenköy	Çapla Deresi	Taş
21	Yalova	Esenköy	Çınarlı Dere	Kum
22	Yalova	Kabaklı	Köy Hududu	Taş Mıcır
23	Yalova	Çukurköy	Burhaniye Deresi	Stabilize Taş
24	Yalova	Taşköprü	Süleymanhoca Boğazı	Taş
25	Yalova	Denizçalı	Handere	Taş
26	Yalova	Güneyköyü	Doğandere	Taş Kireç
27	Yalova	Taşköprü	Değirmenbağları	Taş
28	Yalova	Kılıç	Kuruçeşme	Taş
29	Yalova	Sugören	Ayazma	Kireç
30	B. Çekmece	Hoşdere	Köyhududu	Kireç
31	Şişli	Ayazağa	Kemerburgaz Cendere Yol	Taş
32	Şişli	Ayazağa	Eskimandıra Deresi	Taş
33	Şişli	Ayazağa	Dereboyu	Taş
34	Şişli	Ayazağa	Baklatarla	Taş
35	Şişli	Ayazağa	Sulardeğirmen Yeri	Taş
36	Şişli	Ayazağa	Kızılağaç	Taş
37	Şişli	Ayazağa	Cendereyolu	Taş
38	Pendik	Tuzla	Aydıntepe (eşek ada)	Taş
39	Pendik	Aydınlı	Karatepe	Taş
40	Beykoz	Anadolufeneri	Kaynarca	Kum

NO	YER	KÖY	MEVKİ	OCAK CİNSİ
41	Beykoz	Ömerli	Cevzlidere	Taş
42	Beykoz	Ailbahadır	Abbasbey Çiftliği	Taş
43	Beykoz	Ömerli	Karaağaç	Taş Kireç
44	Beykoz	Çavuşbaşı	Karanlıkdere	Kum
45	Beykoz	Polonez	Döneçsirtı	Kum
46	Beykoz	İsaklı	Ayazma	Taş Kireç
47	Beykoz	Mahmut Şevke	Çayırılar	Taş
48	Beykoz	Ömerli	Uzunarmutlu Deresi	Taş
49	Beykoz	Öğümce	Turpludere	Taş
50	Beykoz	Cumhuriyet	Gemitepe	Taş
51	Beykoz	Çayağzı Riva	Kumköy	Kum
52	Sarıyer	Gümüşdere	Kartaltepe Ayazmatepe arası	Kum
53	Sarıyer	Gümüşdere	Çeşmeüstü	Taş
54	Sarıyer	Uskumru	Kireçlidere	Kum
55	Sarıyer	Uskumru	Kireçlidere	Kum
56	Sarıyer	Gümüşdere	Kartaltepe Kültepe arası	Kum
57	Gaziosmanpaşa	Cebeci	Sultançiftliği	Taş
58	Gaziosmanpaşa	Cebeci	Sultançiftliği	Taş
59	Gaziosmanpaşa	Cebeci	Sultançiftliği	Kireç
60	Gaziosmanpaşa	Cebeci	Taşlıkeçe	Taş
61	Gaziosmanpaşa	Hacımaşlı	Köyaltı	Taş
62	Gaziosmanpaşa	Cebeci	Yanıkkeçedere	Taş
63	Gaziosmanpaşa	Cebeci	Sultançiftliği	Kireç
64	Gaziosmanpaşa	Arnavutköy	Kızılyokuş	Toprak
65	Gaziosmanpaşa	Bolluca	Kurtalan	Taş
66	Gaziosmanpaşa	Boğazköy	Bolluca	Kum
67	Eyüp	Kemberburgaz	Dizenkışla	Taş
68	Eyüp	Kemberburgaz	İskoza Prinççiköy	Kum
69	Eyüp	Kemberburgaz	İskoza Prinççiköy	Kum
70	Eyüp	Kemberburgaz	Kısırmandıra	Taş
71	Eyüp	Kemberburgaz	Pirinççiköy	Kumlu Toprak
72	Eyüp	Kemberburgaz	Molova Deresi	Taş
73	Eyüp	Kemberburgaz	Pirinçli ağaçlı kavşağı	Taş
74	Kartal	Büyükbakkalköy	Eskibağlar	Stabilize Kum
75	Kartal	Emirli	Gençali	Toprak
76	K. Çekmece	Kayabaşı	Kuyular	Taş
77	K. Çekmece	Kayabaşı	Panayırbayırı	Taş
78	K. Çekmece	İkitelli	Çınar	Taş
79	Çatalca	Muratbey	Tepecik	Taş
80	Çatalca	Muratbey	Çamaşıртеpe	Taş

NO	YER	KÖY	MEVKİ	OCAK CİNSİ
81	Çatalca	Ferhatpaşa	Koşukdere Mayatepe	Taş
82	Çatalca	Ferhatpaşa	Koşukdere Mayatepe	Taş
83	Çatalca	Tepecik	Tepecik Glodina Tepesi	Kalker Taş
84	Çatalca	Muratbey	Köy Hududu	Taş
85	Çatalca	Ormanlı	Arpaağı	Kum-Çakıl
86	Çatalca	Ormanlı	Hamaylı Bağ	Kum-Çakıl
87	Çatalca	Yalıköy	Kuzuluk Deresi	Kum
88	Çatalca	Yalıköy	Hisartepe	Kum
89	Çatalca	Gümüşpınar	Mandradetre	Kum-Çakıl
90	Çatalca	Yalıköy	Camitepe	Taş
91	Çatalca	Karaman Dere	Sırameşeler Düzü	Kum-Çakıl
92	Silivri	Çeltik	Yarmatepe	Kum-Çakıl
93	Silivri	Küçüksinekli	Büyüksemizkum	Kum-Çakıl
94	Silivri	Beyciler	Karanlıkdere	Kum-Çakıl
95	Silivri	Küçüksinekli	Kabaağaç Geçidi	Kum-Çakıl
96	Silivri	Küçüksinekli	Tatlıdere	Kum-Çakıl
97	Silivri	Küçüksinekli	Sazlıköy Sırtı	Kum-Çakıl
98	Silivri	Küçüksinekli	Merkezçatağı	Kum-Çakıl
99	Silivri	Danamandıra	Bakacak	Taş
100	Silivri	Çeltik	Keleştepe	Kum-Çakıl
101	Silivri	Küçüksinekli	Kurtalanı	Kum-Çakıl
102	Silivri	Küçüksinekli	Kurtalanı	Kum-Çakıl
103	Silivri	Küçüksinekli	Kurtalanı	Kum-Çakıl
104	Silivri	Küçüksinekli	Veli Çeşmesi	Kum-Çakıl
105	Silivri	Küçüksinekli	Büyük Semizkum	Kum-Çakıl
106	Silivri	Küçüksinekli	Kabaağaç	Kum-Çakıl
107	Silivri	Küçüksinekli	Çulluk	Kum-Çakıl
108	Silivri	Küçüksinekli	Kurtalanı	Kum-Çakıl
109	Silivri	Küçüksinekli	Sazlıgöl Sırtı	Kum-Çakıl
110	Silivri	Küçüksinekli	Büyük Semizkum	Kum-Çakıl
111	Silivri	Küçüksinekli	Sazlıgöl Sırtı	Kum-Çakıl
112	Silivri	Çeltik	Yarmatepe	Kum-Çakıl
113	Silivri	Küçük Sinekli	Büyük Semizkum	Kum-Çakıl
114	Silivri	Küçük Sinekli	Kurtalanı	Kum-Çakıl
115	Silivri	Küçük Sinekli	Büyük Semizkum	Kum-Çakıl
116	Silivri	Değirmenköy	Araplı Deresi	Kum-Çakıl
117	Silivri	Değirmenköy	Büyük Semizkum	Kum-Çakıl
118	Silivri	Küçüksinekli	Çulluk	Kum-Çakıl

Şekil A.1 İstanbul Bölgesindeki Bazı Kum ve Taş Ocakları



ÖZGEÇMİŞ

H. Aysun KESAL SALTER, 1975 yılında Kayseri’de doğdu. İlk okulu Samsun Kocatepe İlkokulunda, orta eğitimini Samsun Cumhuriyet Ortaokulunda, lise eğitimini İzmir Karataş Lisesinde tamamladı. 1991 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek öğrenime başladı. 1995 yılında lisans diplomasını alarak yine aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisans eğitimi almaya hak kazandı. Halen EKOL Arıtma Sistemleri İnş. San. Ltd. Şti. ‘de Proje Mühendisi olarak görev yapmaktadır.