



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ
SUSUZLAŞTIRILMASI VE STABİLİZASYONUNDA
KAPALI KURUTMA YATAKLARININ KULLANIMI**

NEZİH KAMİL SALİHOĞLU

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2007



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ
SUSUZLAŞTIRILMASI VE STABİLİZASYONUNDA
KAPALI KURUTMA YATAKLARININ KULLANIMI**

Nezih Kamil SALİHOĞLU

Prof. Dr. Vedat PINARLI
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2007

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ
SUSUZLAŞTIRILMASI VE STABİLİZASYONUNDA
KAPALI KURUTMA YATAKLARININ KULLANIMI**

Nezih Kamil SALİHOĞLU

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez / / 2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Vedat PINARLI Prof. Dr. Hüseyin S. BAŞKAYA Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU
ASİL ÜYE ASİL ÜYE ASİL ÜYE

Prof. Dr. Pervin ANIŞ
ASİL ÜYE

Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR
ASİL ÜYE

ÖZET

Ülkemizde atıksu arıtma çamurlarının en yaygın bertaraf yöntemi depolamadır. Mekanik susuzlaştırma ekipmanlarıyla %20–30 Katı Madde (KM) içeriğine ulaştırılan atık çamurlar doğrudan veya kireç ilavesinden sonra düzensiz/düzenli depolama sahalarına depolanmaktadır. Yüksek patojen içeriğine rağmen önemli bir toprak zenginleştirici kaynak olarak düşünülen atıksu arıtma çamurlarının bertaraf maliyetlerini düşürmek amacıyla farklı teknolojiler uygulanmaktadır.

Bu çalışmada kapalı kurutma yataklarında güneşle çamur kurutma incelenmiştir. Çalışmanın temelini, ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinden yararlanmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak oluşturmuştur. Sistemin kullanımıyla daha az kimyasal sarfiyatı ve düşük maliyetle patojen mikroorganizma giderimi sağlanmıştır. Deneysel süreçte uzun havalandırmalı kentsel atıksu arıtma tesisi çamuru, açık ve kapalı sistemde beton zemin üzerine 25 cm. yüksekliğinde serilmiştir. Çamur kurutma süreci, kontrollü şartlarda incelenmiştir. Haziran –Ağustos döneminde 26 günde %23 Katı Madde (KM) içerikli çamur, açık ve kapalı tesislerde sırasıyla %79 KM ve %91 KM değerlerine ulaşmıştır. Kasım-Aralık döneminde aynı sürede açık tesiste hava şartları sebebiyle %17 KM'ye inilirken, kapalı tesiste %37 KM değerine ulaşılmıştır. KM ile eklenik güneş radyasyonu arasında ($R^2 > 0,9$) lineer bir ilişki bulunmuştur. Yaz döneminde kapalı sistemde başlangıçta %20 KM içerikli çamurdaki 10^7 Koloni Oluşturan Birim (CFU) / g. KM olan fekal koliform konsantrasyonu, Amerikan Çevre Ajansı (USEPA) tarafından belirlenen B sınıfı çamur sınırı olan 2.10^6 CFU / g. KM değerine 45 günde inmiştir. Sınırlı sönmemiş kireç (0,15 kg sönmemiş kireç / kg KM) ilavesiyle aynı dönemde aynı tip çamurdaki fekal koliform konsantrasyonu 5 günde USEPA tarafından belirlenen A sınıfı çamur sınırı olan 10^3 CFU / g. KM değerine inmiştir. Depolama kriteri olan %35 KM değerine yaz döneminde kireç ilave edilmeden 10 günde ulaşılmıştır.

Çalışma sonuçları, sınırlı kireçlemeyle birlikte gerçekleştirilen kapalı yatakta çamur kurutma sürecinin nihai çamur bertarafından önce ilave çamur susuzlaştırma ve kurutma amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Atıksu Arıtma Çamuru, güneşle kurutma, katı madde, fekal koliform.

ABSTRACT**UTILIZATION OF COVERED DRYING BEDS FOR DEWATERING AND STABILIZATION OF WASTEWATER TREATMENT SLUDGES**

Currently, landfilling is the most common method in sludge management in our country. Wastewater treatment sludge (WTS) that have been dewatered up to 20-30% dry solids (DS) content with mechanical dewatering equipment are disposed of at dumpsites or municipal landfills directly or after lime addition. Different technologies to decrease disposal costs can be applied to the WTS that can be considered as an important source with its soil enrichment capacity despite its high pathogen content.

Solar sludge drying was examined in this study. The basis for the study was to benefit from the solar energy potential of our country and increase the use of renewable energy sources. Pathogen microorganism concentration and the need for chemical material use were decreased when the system was used. Sludge was obtained from a municipal Wastewater Treatment Plant (WWTP) with extended aeration and spread over the concrete floor in covered and open system with a 25 cm. height. The drying process of the sludge was examined in controlled conditions. In 26 days in June-August period, the DS content of the sludge, which was 23% initially, increased up to 79%DS and 91%DS at open and covered plants, respectively. In November-December period initial 23%DS content of the sludge was decreased down to 17%DS in the open system, and increased up to 37%DS in the covered system, because of the weather conditions. A linear correlation ($R^2 > 0.9$) was found between the DS and cumulative solar radiation. Initial fecal coliform value of 10^7 Colony Forming Unit (CFU)/g.DS of the sludge with 20%DS content decreased down to U.S.Environmental Protection Agency(USEPA) Class B sludge limit, which is $2 \cdot 10^6$ CFU/g.DS in 45 days in summer period in covered system. By adding quicklime of 0.15kg/kg.DS to the sludge, the EPA Class A sludge limit target of 10^3 CFU/g.DS was reached in 5 days. 35% DS content target of landfilling was achieved without lime addition at the end of 10 days period of time in summer.

The results of the study showed that solar drying in covered sludge drying bed with limited liming would be used for further dewatering and drying purposes before the final disposal of the sludge.

Keywords: Wastewater treatment sludge, solar drying, dry solids, fecal coliform.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	İİİ
ABSTRACT	İV
İÇİNDEKİLER	V
SİMGELER DİZİNİ	Vİİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ	İX
TABLolar DİZİNİ	Xİ
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Gerekçe	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Çamurun Özellikleri	6
2.1.1. Çamurdaki Suyun Dağılımı	6
2.2. Dünya’da Arıtma Çamurlarının Bertarafı	9
2.3. Türkiye’de Atıksu ve Arıtma Çamurlarının Durumu	11
2.4. Arıtma Çamurlarının Suyunun Alınması	14
2.4.1. Çamur Susuzlaştırmayı Etkileyen Faktörler	21
2.4.2. Çamur Kurutma ve Buharlaştırma Teorisi.....	24
2.4.3. Çamur Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar	30
2.5. Seraların Özellikleri	34
2.5.1. Seraların Yerleşim Eksenleri.....	35
2.5.2. Seraların Şekli	36
2.5.3. Kuzey Duvarı İzolasyonu.....	37
2.5.4. Çift Kat Örtüler	37

2.5.5.	Isıl Örtüler	37
2.6.	Çalışmaya Esas Teşkil Eden Tasarımlar	38
2.6.1.	Tarımsal Ürün Kurutma Amaçlı Yapılar	38
2.6.2.	Özel Sera Tipleri	43
2.6.3.	Pilot Tesisin Anahatları.....	46
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	47
3.1.	Pilot Tesis Tasarımı	50
3.2.	Pilot Tesis Modelleme ve Benzerlik.....	51
3.3.	Pilot Tesis Bileşenleri	54
3.4.	Çamur Karakterizasyonu.....	57
3.5.	Kireç İlavesi ve Kurutma Süreci	58
3.6.	İzleme Süreci ve Yapılan Analizler	59
3.7.	Değerlendirme Süreci	63
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	64
4.1.	Giriş	64
4.2.	Dış ve İç Ortam Hava Verilerinin İlişkisi	65
4.3.	Ortam Sıcaklıkları ve Çamur Sıcaklıkları Arasındaki İlişki.....	74
4.3.1.	Yaz Dönemi Dış Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki....	74
4.3.2.	Yaz Dönemi İç Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki	76
4.3.3.	Kış Dönemi Dış Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	78
4.3.4.	Kış Dönemi İç Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki	80
4.4.	Kurumayı Etkileyen Parametreler İçin Korelasyon Matrisi.....	82
4.5.	Eklenik Radyasyon ve Çamur Katı Maddesi Arasındaki İlişki	84
4.6.	Eklenik Güneş Radyasyonu ve Eklenik Buharlaşma Akısı Arasındaki İlişki	

4.7. Açık ve Kapalı Sistemde Patojen Giderimi	89
4.7.1. USEPA Patojen ve Vektör Çekimi Azaltma Yöntemleri.....	89
4.7.2. Çamurdaki Patojenleri Önemli Ölçüde Azaltan Prosesler (PSRP).....	90
4.7.3. Vektör Çekimi Azaltma Yöntemleri	91
4.7.4. Sönmemiş Kireç İlavesinin Kapalı Sistemde Patojen Giderimine Etkisi ...	95
4.8. Elde Edilen Verilerin Kapalı Kurutma Yatağında Çamur Kurutma Konusunda Yapılan Model Çalışması İle Karşılaştırılması.....	98
4.9. Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur Kuruma Sürecine Etkileri	103
4.10. Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur Sıcaklığına Etkileri.....	106
4.11. Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur pH'ına Etkileri.....	108
4.12. Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamurun Toprağa Uygulanabilirliğine Etkileri	110
4.13. Çamur Kurutma ve Sera Gazı Emisyonları	112
4.14. Çamurun Bursa'da Nihai Bertaraf İmkanlarının Araştırılması.....	115
4.15. Ekonomik Analiz.....	121
5. SONUÇLAR	132
5.1. Araştırmacılar İçin Öneriler	138
KAYNAKLAR	139
TEŞEKKÜR	149
EKLER.....	150
ÖZGEÇMİŞ.....	152

SİMGELER DİZİNİ

- E - Buharlaşma akısı ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$),
 L - Buhar haline getirmek için gizli ısı (J kg^{-1})
 R_n - Toprak yüzeyindeki net radyasyon ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 G - Toprak ısı akısı (toprak profiline transfer edilen ısının oranı) ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 H - Toprak ve atmosfer arasındaki hissedilir ısı akısı ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 ρC_p - Hacimsel ısı kapasitesi ($\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$)
 T_s - Kuruyan toprak yüzeyinin sıcaklığı (K)
 T_a - Hava sıcaklığı (K)
 r_a - Aerodinamik direnç (s m^{-1})
 T_{sd} - Kuru toprak yüzeyinin sıcaklığı (K)
 R_{nd} - Kuru topraktaki net radyasyon ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 G_d - Kuru topraktaki ısı akısı ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 Δ - Ortalama hava sıcaklığında doyumluk buhar basıncı – sıcaklık arasındaki eğrinin eğiminden çıkarılan parametre
 PET - Evapotranspirasyon veya buharlaşma potansiyeli,
 α - 1,26. Priestley-Taylor tarafından bulunan ampirik sabit ,
 Γ - Psikrometrik sabit,
 s - Doyumluk buhar basıncı gradyanının eğimi (boyutsuz),
 Q_n - Net radyasyon ($\text{cal/cm}^2/\text{gün}$)
 Q_x - Su gövdesinde tutulan ısıdaki değişim ($\text{cal/cm}^2/\text{gün}$)
 U_2 - 2 m. yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)
 e_o - Doyumluk buhar basıncı (mbar)
 e_a - Hava sıcaklığı ve bağıl nemindeki buhar basıncı (mbar)
 SVP - Ortalama hava sıcaklığındaki doyumluk buhar basıncı (mbar/K)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünya’da Uygulanan Çamur Bertaraf Metotları (Chen ve ark. 2002).	10
Şekil 2.2. Belediyelerin Altyapı Durumu (Ildır 2007)	13
Şekil 2.3. Atıksu Arıtma Sektöründe Durum (Ildır 2007)	13
Şekil 2.4. Susuzlaştırma Prosesinin Seçiminde Uygulanan 5 Aşama	15
Şekil 2.5. Ön çökeltim ve Atık Aktif Çamur İçin Mekanik Susuzlaştırma Yöntemleri ve Katı Madde Konsantrasyonları (USEPA 1987)	19
Şekil 2.6. Çamur Kuruma Eğrisi (Vaxelaire ve Puiggali 2002).....	28
Şekil 2.7. BET İzotermine Göre Denge Nem Sabitinin Hesaplanması (Vaxelaire ve Puiggali 2002).....	29
Şekil 2.8. Kapalı Yatakta Çamur Kurutmayla İlgili Almanya’da Gerçekleştirilen Çalışmanın Verileri (Luboschik 1999)	30
Şekil 2.9. Seraların Çalışma Prensibi.....	34
Şekil 2.10. Yılın Farklı Zamanlarındaki Azimut Açısı.....	35
Şekil 2.11. Farklı Tipte Güneş Enerjisiyle Kurutma Sistemleri (Ekechukwu ve Norton 1999 b)	39
Şekil 2.12. Güneş Bacalı Kurutma Serası (Ekechukwu ve Norton 1997)	40
Şekil 2.13. Özel Bir Tünel Tip Kurutucu Örneği (Bala ve ark. 2002).....	42
Şekil 2.14. Kurutma Sistemlerinin Gruplandırılması (Ekechukwu ve Norton 1999 b).....	44
Şekil 2.15. Farklı Tip Seraların ve Havalandırma Sistemlerinin Özellikleri (Boulard ve ark. 1997)	45
Şekil 3.1. Çalışma Süreci Kavramsal Modeli	49
Şekil 3.2. Kapalı Çamur Kurutma Yatağı Pilot Tesis Kavramsal Modeli	50
Şekil 3.3. Düz Zeminde Laminer, Geçiş ve Türbülanslı Bölgenin Gösterimi	52
Şekil 3.4. Pilot Tesis Taban Teşkili	54
Şekil 3.5. Açık ve Kapalı Pilot Tesislerin Görünüşü	55
Şekil 3.6. Pilot Tesis Tabandan Isıtma Sistemi Şematik Gösterimi.....	56
Şekil 3.7. Deneysel Çalışma Süreci	58
Şekil 3.8. Çamur Analizlerinde Kullanılan Cihazlar	61
Şekil 3.9. Tesis İçi ve Dışı Ölçümlerle İlgili Cihazların Yerleşimi	62
Şekil 4.1. İç ve Dış Ortam Nem, Sıcaklık Ve Radyasyon Değişimleri.....	68
Şekil 4.2. Yaz Ve Kış Dönemi İç ve Dış Ortam Sıcaklık Ölçümleri.....	70
Şekil 4.3. Gündüz Saatleri Dış ve İç Ortam Sıcaklık İlişkisi.....	72
Şekil 4.4. Gece Saatleri Dış ve İç Ortam Sıcaklık İlişkisi	73

Şekil 4.5. Yaz Dönemi Dış Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki	75
Şekil 4.6. Yaz Dönemi İç Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	77
Şekil 4.7. Kış Dönemi Dış Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki	79
Şekil 4.8. Kış Dönemi İç Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki.....	81
Şekil 4.9. Katı Madde ve Eklenik Radyasyon Arasındaki İlişki.....	86
Şekil 4.10. Eklenik Güneş Radyasyonu ve Eklenik Buharlaştırma Akısı Arasındaki İlişki	88
Şekil 4.11. Yaz Döneminde Açık ve Kapalı Sistemde Patojen Giderimi ve Kireç Etkisi	94
Şekil 4.12. Sönmemiş Kireç İlavesinin Kapalı Sistemde Patojen Giderimine Etkisi	96
Şekil 4.13. Fekal Koliform ve Toplam Koliform Giderimi Arasındaki İlişki	97
Şekil 4.14. Katılım Modeli ve Çalışma Arasındaki Korelasyon.....	101
Şekil 4.15. Çarpım Modeli ve Çalışma Arasındaki Korelasyon	102
Şekil 4.16. Farklı Dönemlerde Sönmemiş Kireç İlavesinin Çamur Kurutma Sürecine Etkisi	104
Şekil 4.17. Susuzlaştırılmış Çamur ile Susuzlaştırılmış ve Sönmemiş Kireç	105
Şekil 4.18. Sönmemiş Kireç İlavesinden Sonra Çamur Sıcaklığında Meydana Gelen Değişim	107
Şekil 4.19. Sönmemiş Kireç İlavesi ve pH Değişimleri.....	109
Şekil 4.20. Türkiye'deki Tarımsal Toprakların pH Dağılımı (TGAE 1998).....	111
Şekil 4.21. Hamitler'de Depolanan Atık Miktarları (BBB 2006).....	116
Şekil 4.22. Hamitler Katı Atık depolama Sahasına Gelmesi Beklenen Atık ve Çamur Miktarları	118
Şekil 4.23. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (DAAT) Çamur Bertaraf Alternatifleri İçin Net Bugünkü Değer (Net Present Value - NPV) Karşılaştırması (%6 Faiz Oranı İçin).....	124
Şekil 4.24. Batı Atıksu Arıtma Tesisi (BAAT) Çamur Bertaraf Alternatifleri İçin Net Bugünkü Değer (Net Present Value - NPV) Karşılaştırması (%6 Faiz Oranı İçin)....	126
Şekil 4.25. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (DAAT) Çamur Bertaraf Alternatifleri İçin Net Bugünkü Değer (Net Present Value – NPV) Karşılaştırması (%4 Faiz Oranı İçin)....	128
Şekil 4.26. Batı Atıksu Arıtma Tesisi (BAAT) Çamur Bertaraf Alternatifleri İçin Net Bugünkü Değer (Net Present Value – NPV) Karşılaştırması (%4 İçin).....	130

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1 Tipik bir aktif çamurdaki suyun dağılımı (Filibeli 1996).....	7
Tablo 2.2. Yerel yönetimlere altyapı yatırımları için tanınan süreler.....	12
Tablo 2.3. İşletmeye Bağlı Olarak Çamur Susuzlaştırma Prosesinin Seçimi USEPA 1987.....	17
Tablo 2.4. Tesis Boyutu ve Susuzlaştırma Prosesinin Uyumu (USEPA 1987).....	18
Tablo 2.5. Çeşitli Nihai Bertaraf Seçenekleri İçin Susuzlaştırma Prosesiyle Elde Edilen Kekin Uygunluğu (USEPA 1987).....	20
Tablo 2.6. Buharlaştırma Eşitliklerinde Gerekli Veriler.....	27
Tablo 2.7. BET Eşitliğine Göre Elde Edilen Sonuçlar.....	29
Tablo 2.8. Kapalı Yatakta Çamur Kurutma Maliyeti Ticari Verileri.....	31
Tablo 3.1. Kurutulan Atık Çamurun Özellikleri.....	57
Tablo 4.1.Bursa’da Uzun yıllar İçinde Gerçekleşen Meteorolojik Değerler (1975-2006) (DMİ 2007).....	66
Tablo 4.2. Kurumayı Etkileyen Parametreler İçin Korelasyon Matrisi.....	83
Tablo 4.3. Katı Madde ve Eklenik Radyasyon Değerlerinin İstatistiksel Değerleri.....	84
Tablo 4.4. Bir Ton Çamurun %20’den %90 KM’ye Kadar Termal Kurutma ile Kurutulması Durumunda Oluşacak Teorik Sera Gazı Miktarları.....	115
Tablo 4.5. Hesaplama Dikkate Alınan Faktörler ve Birim Değerler.....	122
Tablo 4.6. Hesaplama Dikkate Alınan Parametreler ve Eşitlikler.....	122
Tablo 4.7. Çamur Bertaraf Alternatiflerinin Ekonomik Değerlendirmesi (Doğu Atıksu Arıtma Tesisi - %6 Faiz Oranı İçin).....	123
Tablo 4.8. Çamur Bertaraf Alternatiflerinin Ekonomik Değerlendirmesi (Batı Atıksu Arıtma Tesisi - %6 Faiz Oranı için).....	125
Tablo 4.9. Çamur Bertaraf Alternatiflerinin Ekonomik Değerlendirmesi (Doğu Atıksu Arıtma Tesisi - %4 Faiz Oranı İçin).....	127
Tablo 4.10. Çamur Bertaraf Alternatiflerinin Ekonomik Değerlendirmesi (Batı Atıksu Arıtma Tesisi - %4 Faiz Oranı İçin).....	129

1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Çevresel sorunların öneminin gün geçtikçe kavrandığı ülkemizde, son yıllarda sayıları artmakta olan atıksu arıtma tesisleri su kirliliğinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. İşletilen bu sistemlerin bir yan ürünü olarak atıksu arıtma çamurları oluşmaktadır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY) (1988), atıksu arıtma çamurlarıyla ilgili olarak;

“Atıksuların arıtılması sırasında, kendiliğinden çökelebilen katı maddeler ile biyolojik ve kimyasal işlemler sonucunda çökebilir veya yüzebilir hale getirilen katı maddeler, çökeltiyerek veya yüzdürülerek atıksudan ayrılırlar. Böylece konsantre hale getirilmiş olarak ayrılan kirliliğin oluşturduğu ‘arıtma çamurları’nın da yeni çevre kirlenmesine neden olmaması için tedbirler alınması gerekmektedir” denilmektedir. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan ve bertarafı teknik ve yasal olarak zorunlu olan çamurlara yönelik çalışmalar önem taşımaktadır.

Avrupa Konseyi (AK) yönergesinin (91/271/EEC) getirdiği sınırlamalarla AB'ye üye ülkelerde 1998'de oluşan 7,2 Milyon Ton çamur katı maddesinin (KM), 2005 yılında 9,4 Milyon Ton KM'ye çıkması beklenmektedir (Avrupa Çevre Ajansı 2001). Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri'nde (A.B.D.) 1998'de oluşan 6,9 milyon ton KM'nin 2005'te 8,2 milyon ton KM'ye ulaşacağı hesaplanmıştır (USEPA 1999). Ülkemizde 2004 yılı verilerine göre toplam nüfusun ancak %66'sına kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilmekte ve yine nüfusun %35'lik kısmının atıksuları bir arıtma tesisine ulaşmaktadır. Ayrıca belediyelere ait 165 atıksu arıtma tesisi ile 303 belediyeye hizmet verilmektedir. Arıtılan atıksuyun %56 biyolojik, %32 fiziksel ve %12'sine ileri arıtma uygulanmıştır (TÜİK 2005). Avrupa Birliği (AB) adaylık çalışmalarında öncelikli dosyalardan birini oluşturan çevre konusunda yasal zorunlulukların gelmesiyle birlikte ülkemizde atıksu arıtımında yaşanacak gelişmeler atık çamur miktarını da önemli ölçüde artıracaktır. Bu yüzden atıksu arıtma teknolojilerinin seçiminde çamur bertarafı önemli bir ana başlık oluşturmaktadır. Toplam arıtım maliyetinin yarıya yakın kısmını oluşturan çamur arıtımında ülkemizde kullanılacak yöntemlerin araştırılması, karşılanacak maliyetlerin azalmasında ve uygulamadan doğacak sorunların en aza

indirilmesinde fayda sağlayacaktır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmada ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinden yararlanmak amacıyla güneşle çamur kurutma sistemleri üzerinde durulmuştur.

1.2. Gerekçe

Avrupa Komisyonu, 2005'te toplam üretilen çamurun tarım ve toprak şartlandırma için kullanılan miktarının %53'e, yakmaya gidecek kısmının %25'e ulaşacağını, depolanacak kısmının ise %33'e düşeceğini beklemektedir. 1995'te 15 Avrupa Birliği ülkesindeki toplam sera gazının %3'ünü depolama sahalarındaki biyolojik atıklardan kaynaklanan metanın oluşturduğunu belirtmektedir. (AK 1999). AB, çevresel açıdan da depolamanın yüksek alan kullanımı ve yarattığı çevresel sorumluluklar bakımından kötü bir atık yönetimi seçeneği olduğunu düşünmektedir. Potansiyel tek bertaraf seçeneğinin kompostlama olduğunu belirtmektedir (AK 1999).

Avrupa Konseyi Depolama Sahası Direktifi 1999/31/EC ile bu miktarın 2016 yılına kadar 1995'teki seviyesinin %35'ine inmesinin etkili olacağı kararını almıştır. Bu nedenle Avrupa Birliği sürecinde ülkemizin atık bertaraf stratejilerinin oluşturulmasında depolama yönteminin bu bakış açısıyla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Arıtma çamurları; içerdikleri nutrientler sebebiyle toprak şartlandırıcı, kalorifik değerleri sebebiyle de yakıt veya ek yakıt olarak kullanılmaktadır. Değerlendirilebilir özellikteki bu yan ürün, uygun şekilde bertaraf edilmediği takdirde içerdiği patojen mikroorganizmalar sebebiyle Salmonellosis, Bacillary dysentery, Cholera, Gastroenteritis vb. birçok hastalığa yol açabilmektedir. Amerikan Çevre Ajansı (USEPA) ve AB tarafından çamur kullanımı ve bertarafına ilişkin belirli standartlar oluşturulmuştur. USEPA, biyokatı olarak isimlendirdiği atık arıtma çamurlarının bertarafına ilişkin nihai bertaraf ve kullanıma yönelik (1) Ev bahçelerini de içeren fayda amaçlı kullanımları, (2) Yalnız biyokatıların depolandığı depolama sahaları da dahil yüzeysel bertaraf sahalarını, (3) Zehirlilik, kalıcılık, konsantrasyon, taşınım veya maruz kalma potansiyeline karşı yakılmış çamurları düzenlemek amacıyla bu konuda yönetmelikler yayınlamıştır.

“Çamur kurutma, birkaç sebepten ötürü genellikle bütün nihai çamur bertaraf

metotlarında gerekli adımlardan birisidir. İlk olarak, kurutma su içeriğini önemli ölçüde azalttığından, azalan kütle ve hacim sebebiyle taşıma ve depolama maliyetlerinin düşmesini sağlamaktadır. İkinci olarak, yüksek sıcaklıkta kurutma patojen mikroorganizmaları öldürebildiğinden çamur uzun süre stabil halde kalmaktadır. Üçüncü olarak, çamur suyunun uzaklaştırılmasıyla kalorifik değeri arttığından bir yakıt kaynağı olarak kullanılabilir” (Chai 2007). Çamurun kurutulması, çamur içerisindeki suyun katı kısımdan ayrılarak buharlaştırılmasını zorunlu kılmaktadır (Vaxelaire 2000). Çamur içerisindeki su farklı özellikler gösterdiği için genel olarak iki ana kısımda düşünülmektedir. Bunlardan birincisi; katı taneciklere bağlı olmayan serbest su, diğeri; buharlaştırılması zor olan bağlı su kısmıdır (Vaxelaire ve Cézac 2004). Her çamur kurutma prosesi, çamur kompozisyonu ve çamurdaki suyun dağılımı sebebiyle farklılıklar göstermektedir. Nihai çamur bertaraf yöntemine göre farklı nem içeriklerine sahip çamur eldesi için hem doğal hem de mekanik susuzlaştırma ve kurutma yöntemleri geliştirilmiştir.

Hava kurutma süreçleri en eski susuzlaştırma yaklaşımlarındandır(kum yataklar). Bunlar, daha az karmaşıktır, işletimleri daha kolaydır ve mekanik susuzlaştırma sistemlerine göre daha az enerji gerektirirler. Bu süreçler yeterli arazinin bulunduğu, küçük, orta boy yerleşimlerle kurak ve yarı kurak bölgelerde daha büyük tesisler için düşünülmektedir.(USEPA 1987)

Doğal susuzlaştırma ve kurutma yöntemlerinde ana enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi geleneksel olarak seraların ısıtılmasında (Pieters ve Deltour 1999, Kürklü ve ark. 2003) veya gıda ve tahıl kurutmada kullanılmaktadır (Ekechukwu ve Norton 1999 a; Leon ve ark. 2002). Güneşle atıksu arıtma çamurlarının kurutulması konusunda yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalarda kentsel atıksu çamurlarının hacimlerinin azaltılması ve ilave stabilizasyon amacıyla gelişmiş güneşle kurutma tesislerinden bahsedilmektedir (Luboschik 1999, Haralambopoulos ve ark. 2002, Bux ve ark., 2002). Çamur özelliklerine bağlı olarak çamurun su muhtevası ve ağır metal vb, kirletici içeriği ne şekilde bertaraf edileceğini de belirler. Hangi tür işlem uygulanırsa uygulansın çamurun susuzlaştırılması hacim olarak daha az, işlenebilir özellikleri artmış ve yoğunlaştırılmış bir atıkla uğraşılmasına imkan verir. Bu yüzden doğal ve mekanik yollarla gerçekleştirilen çamur susuzlaştırma işlemleri çamur arıtımında önemli yer tutmaktadır. Daha düşük maliyetle, doğal kaynakların kullanıldığı ve daha etkili bir susuzlaştırma ve

kurutma işleminin gerçekleştirilmesi bu yüzden üzerinde durulması gereken bir konu olarak görülebilir. Özellikle ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyelinden faydalanmayı esas alan kurutma yatakları teknolojisinin geliştirilmesi ve bu sistemdeki alan gereksiniminin azaltılması ileride kurulacak olan arıtma tesislerinde çamur susuzlaştırma için önemli bir alternatif olacaktır. Bu çalışmada kapalı kurutma yataklarının geliştirilmesi ve bu sırada çamur davranışının belirlenmesi ana hedef olarak seçilmiştir. Çamurun susuzlaştırılması ve kurutulması sırasında daha stabil bir çamur eldesinde önemli unsurlardan birinin patojen mikroorganizmalar ve ağır metal içeriği olduğu görülmüştür. Çamur kurutma sırasında farklı özellikler gösteren su içeriğinin buharlaşma yoluyla giderilmesi ile ağır metallerin katı bünyesinde kalması ve patojen mikroorganizmaların giderimi hedeflenmektedir. Ayrıca çamur stabilizasyonu için kullanılan kireçleme ve güneşle kurutma yöntemlerinin birleştirilmesiyle USEPA A ve B sınıfı çamur eldesi hedeflenmiştir. Bu amaçla uygun sönmemiş kireç dozlaması ve güneş enerjisinden maksimum faydayı hedefleyen sera tasarımı konusunda çalışılmıştır. Bu çalışmanın oluşmasındaki önemli unsurlardan biri USEPA tarafından çamurdaki patojenlerin ve vektör (uçucular, kemirgenler vb.) cazibesinin kontrol altına alınmasında kullandığı genel yaklaşımlardır. USEPA bu yaklaşımları tanımlarken şu ana başlıkları kullanmıştır;

- Yüksek sıcaklık uygulamaları (Bu sıcaklık fiziksel, kimyasal veya biyolojik prosesler tarafından üretilebilir),
- Radyasyon uygulamaları,
- Kimyasal dezenfektan uygulamaları,
- Atıksu çamurundaki uçucu organik bileşiklerin (gıda kaynağının) azaltılması,
- Çamur suyunun uzaklaştırılması.

Güneşle çamur kurutmada kullanılan kapalı hacimlerin seralara benzerlikleri açık şekilde görülmektedir. Ancak seralardan farklı olarak ana tasarım amacı kurutma olduğu için yapısal bazı değişiklikler içermektedir. Güneş enerjisiyle kapalı kurutma yataklarında çamur kurutma konusunda son yıllarda gelişmeler görülmektedir. Güneş enerjisi; kurutma sistemlerinde doğrudan veya yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Ekechukwu ve Norton 1999 b). Doğu-Batı eksenli, çift gözlü kaplama örtüsüne sahip ve taş yataklı pilot tesis daha önce gerçekleştirilen sera

tasarımlarından esinlenilerek tasarlanmıştır (Gupta ve Chandra 2002, Kürklü 2003).

Bu verilerden hareketle çalışmada kullanılan pilot tesis tasarımında;

- Güneş enerjisinden yararlanarak kurutma maliyetlerinin azaltılması,
- Çamur şartlandırmada kullanılan kimyasal miktarının azaltılması,
- Kurutma sırasında dış ortam şartlarının etkilerinin en aza indirilmesi,
- Oluşturulan hacimde vektör, koku ve uçucu bileşiklerin kontrolünün sağlanması,
- Taşınabilir, depolanabilir ve farklı amaçlarla kullanılacak ürün eldesi,
- İstenildiğinde bir kompost tesisine de dönüştürülebilen ve özel durumlarda geçici depolamanın da gerçekleştirilebileceği bir hacim oluşturulması,
- Sistemdeki ısının korunması ve ilave enerji kaynağı kullanımını mümkün kılan bir yaklaşım hedeflenmiştir.

Ulaşılmak istenen hedef atık çamurların stabilizasyonudur. Çamur stabilizasyonunda önemli parametreler koku oluşumu, uçucu organik bileşiklerin azalması, oksijen kullanım seviyesi, anaerobik faaliyetin göstergesi olarak gaz oluşumu, toplam organik karbon, susuzlaştırılabilirlik, viskozite, kalorifik değer ve mikrobiyal aktivitedir (Vesilind 1979). Bu çalışma kapsamında özellikle susuzlaştırılabilirlik ve mikrobiyal aktivite üzerinde durulmuştur. Çamurların stabilizasyonunda kireç kullanımı oldukça yaygın bir uygulamadır.

Kireçleme ile çamurdan elde edilen kompostlardaki çözünmüş ve kimyasal veya fiziksel işlemlerle ortaya çıkabilen metal bileşikleri başarıyla azaltılmaktadır. Kireçleme ile Cu ve Mn'nın, Ni, Pb ve Zn'e göre daha az çözünür hale geldiği belirlenmiştir (Fang 2000).

Ancak kireç uygulamasıyla çamur miktarı artar, oluşacak bazı emisyonların kontrolü gerekir ve kireç ilave edilmiş nihai ürün her toprak ve bitki cinsine uygulanabilir bir toprak iyileştirici özelliğini yitirir. Çamurların kurutulması ve stabilizasyonunda kullanılan kapalı güneşle kurutma sistemleri, mevsimsel farklılıklardan ve meteorolojik etkenlerden daha az etkilenmektedir. Farklı ısıtma, havalandırma ve karıştırma düzenekleri ile bu sistemlerden yıl boyunca daha yüksek kurutma verimleri alınabilmektedir (Luboschik 1999, Parkson Corp. 2001, Bux ve ark. 2002). Kapalı güneşle kurutma sistemleri kurutmanın yanısıra USEPA A ve B sınıfı çamur eldesini de sağlayabilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Atıksu arıtımı sonucu oluşan sıvı ya da yarı katı halde, kokulu; uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25 ile %12 katı madde içeren atıksu arıtma çamuru olarak isimlendirilir. Çamur Çevre Mühendisliğinde önemli bir sorundur. (Filibeli 1996) Çünkü; arıtılmamış atıksu içinde önemli miktarlarda bulunan ve ona kokulu karakterini veren maddeleri içerir, biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamur, ham atıksu içindeki organik maddelerin bileşimi halinde, fakat başka bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğilimindedir, çamurun sadece küçük bir kısmı katı madde, önemli bir kısmı sudur, bu nedenle büyük hacimler işgal eder.

Çamur, atıksu arıtma tesislerinde genel olarak mevcut ünitelere bağlı olarak ön çökeltim tanklarından, kimyasal çökeltim tanklarından, son çökeltim tanklarından, çamur yoğunlaştırıcılardan, çürütücülerden çıkabilir (Filibeli 1996).

2.1. Çamurun Özellikleri

2.1.1. Çamurdaki Suyun Dağılımı

Çamurdaki su, ya serbest su halindedir veya partiküllere yapışık haldedir. Çamurdaki suyu 4 grup halinde incelemek gerekir.

Serbest Su: Çamur partiküllerine bağlı olmayıp, graviteli çökeltme ile kolayca ayrılır.

Flok Suyu: Floklar içinde hapsedilmiş su olup, yumakla birlikte hareket eder, mekanik su alma işlemleri ile giderilebilir.

Kapiler Su : Partiküller üzerinde bağlı (yapışık) halde bulunur ve partiküllerin sıkıştırılarak deformasyonları sonucu uzaklaştırılabilir.

Kimyasal Bağlı Su: Partiküller içinde kimyasal olarak bağlanmış sudur.

Tablo 2.1'de aktif çamur içindeki suyun dağılımı görülmektedir.

Tablo 2.1 Tipik bir aktif çamurdaki suyun dağılımı (Filibeli 1996)

% Hacim	
Serbest Su	%75
Flok Suyu	%20
Kapiler Su	%2
Kimyasal Bağlı Su	%2,5
Katı Maddeler	%0,5

Arıtma tesislerinden çıkan çamurun kolayca uzaklaştırılabilmesi için sıvı halinden çıkıp katı hale dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle çamura, içerdiği su miktarının azaltılması için, değişik işlemler uygulanmalıdır. Arıtma çamurları genellikle yoğunlaştırma işlemi sonrasında susuzlaştırma işlemine tabi tutulurlar. Susuzlaştırıcı olarak seçilecek olan ünitenin verimli olmasına dikkat edilmelidir. Filtre presler kesikli çalışmasına rağmen arıtma çamurlarının suyunun giderilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu sistemle diğer yöntemlere göre daha fazla katı madde oranına sahip olmanız mümkündür. Filtre pres otomatik mikroprosesör sistemli olduğu için eleman ihtiyacına gerek yoktur. Arıtma çamurlarının polielektrolitlerle şartlandırılması sonucu büyük yumakların elde edilebilmesi sürekli tarzda basınçlı filtrasyon için belt filtre preslerin geliştirilmesine yol açmıştır. Belt preslerin filtre preslerin hemen ardından gelen bir kullanım yaygınlığına ulaşmalarının başlıca nedenleri şunlardır;

- Kullanım kolaylığı ve filtrasyonun gözle takibi imkanı
 - Yatırım giderlerinin filtre preslerden düşük olması
 - Prosesin ve filtrasyon kayışlarının yıkanmasının sürekli oluşu
 - Mekanik tasarımın basitliği
 - Kuru madde içeriği filtre pres keki kadar yüksek olmamakla birlikte katı olarak taşınabilir çamur keki elde edilmesi.
 - Santrifüjler ile çamur susuzlaştırmanın avantajlarından bazıları şunlardır;
 - Sürekli çalışma
 - Kokuyu minimize edecek şekilde kapalı çalışma
 - Çamurun homojen olması koşuluyla işletme işgücü ihtiyacının azlığı
- Buna karşılık bu sistemin bazı dezavantajları da mevcuttur;
- Gürültü

- Enerji sarfiyatının yüksek oluşu
- Personel ihtiyacı
- Hızlı aşınma

Mekanik su giderme tekniklerinin en eskisi olan vakum filtrasyonu bugün çok sınırlı bir uygulamaya sahiptir. Vakum filtrasyonunun çok sınırlı bir uygulamaya sahip olmasının nedenlerinin başında vakum yaratmak için enerji kullanımının azlığı ve şartlandırma için kimyasal madde ihtiyacının yüksek oluşu gelir. Kurutma yatakları, yüksek işçilik giderleri, geniş arazi kullanımı ve performansın hava şartlarına bağlı olması nedeniyle pek fazla kullanılmamaktadır.

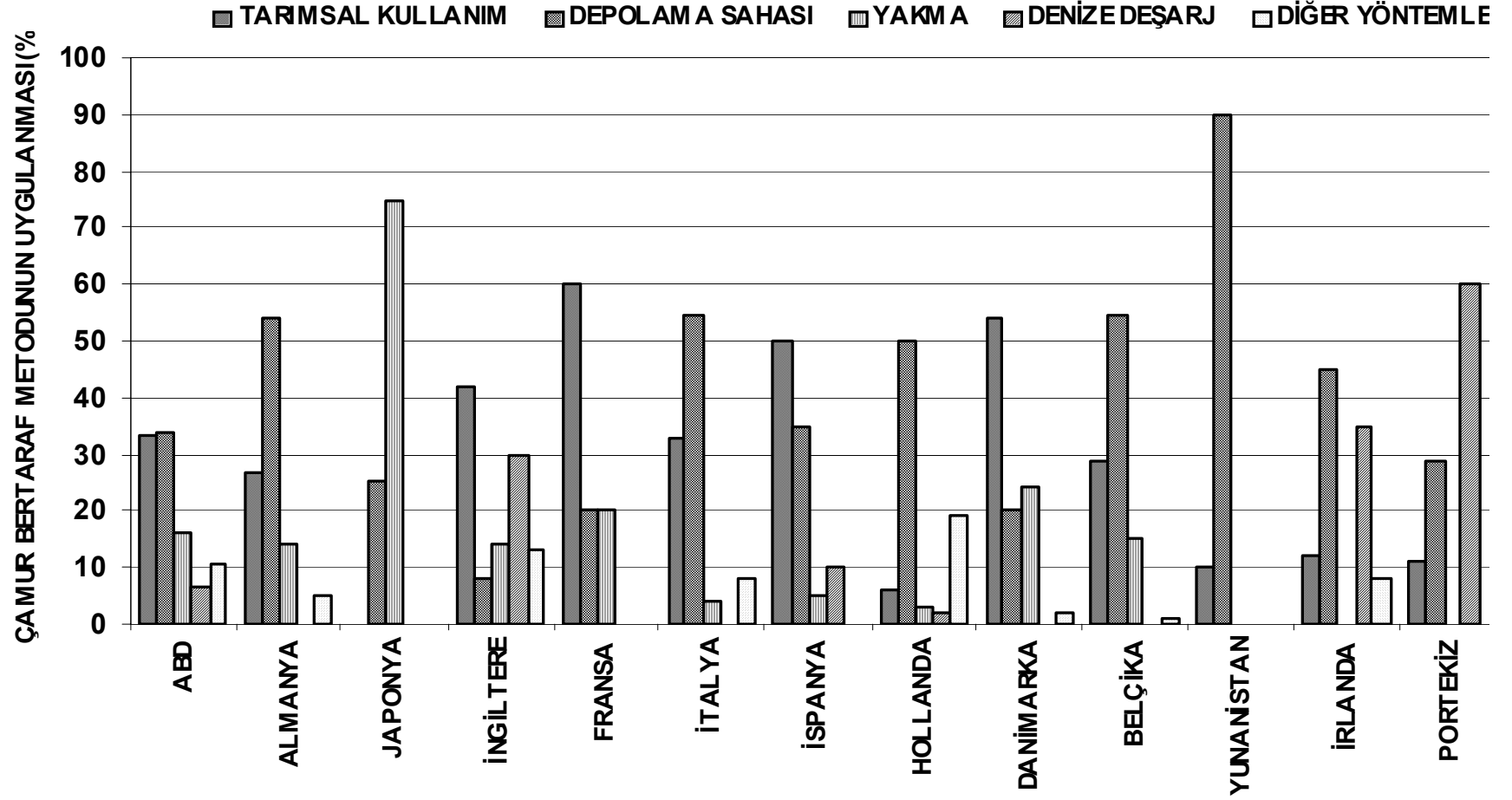
Aritma çamurlarının karakterizasyonunu ortaya koymak için çok sayıda fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametre ve testler mevcuttur. Bunların yardımı ile arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertarafı sırasında çevreye olan etkileri tayin edilebilir.

Yukarıda tartışılan testlerle ilgili bir problem, bunların yapıldığı laboratuarlardaki metodolojilerin ve uygulamaların farklı koşullar altında gerçekleştirilmesi ve bu nedenle de elde edilen sonuçların seyrek olarak birbiri ile mukayese edilebilir sonuçlar vermesidir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, Avrupa Standardizasyon Organizasyonu (CEN-TC308) adı altında bir Teknik Komite oluşturmuş ve arıtma çamurları karakterizasyonu tayininde kullanılan metotların standardize edilmesine karar vermiştir. Buna ek olarak, konvansiyonel parametrelerin tayinleri arıtma çamurunun işlenmesi ve bertarafı sırasında uygulanan metot ile ilişkili olduğundan, üzerinde çalışma yapılan arıtma çamuru ile ilgili daha temel bilgiler üretebilen (diğer) parametrelerin ve testlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, son zamanlarda geliştirilen araştırma faaliyetleri, arıtma çamurlarının temel özelliklerini tanımlayacak metotların geliştirilmesine yöneliktir.

2.2. Dünya’da Arıtma Çamurlarının Bertarafı

Dünyada uygulanan çamur bertaraf yöntemleri farklılık göstermektedir. En çok uygulanan nihai bertaraf metodları; toprak iyileştirici olarak tarımda kullanım, depolama, yakma ve denize deşarjdır. Aşağıda dünya’daki nihai bertaraf metodlarına ilişkin yüzdeler görölmektedir (Chen ve ark. 2002).

Dünya’da uygulanan çamur bertaraf yöntemleri ile AB ve ölkemizde uygulanan ve gelecekte uygulanması düşünölen yöntemler arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Şekil 2.1’de göröleceğı üzere halen dünyada en çok uygulanan yöntemler AB tarafından konulan kriterler için öncelikli hedef olarak gözükmemektedir. Nihai çamur bertarafında Türkiye’nin izleyeceğı yola karar verirken mevcut durum ve yeni yönetmelikler arasında oldukça ince bir çizgide ilerlemek durumunda kalacaktır.



Şekil 2.1. Dünya’da Uygulanan Çamur Bertaraf Metotları (Chen ve ark. 2002).

2.3. Türkiye’de Atıksu ve Arıtma Çamurlarının Durumu

Arıtma çamurlarının bertarafına ülkemizdeki yönelik son yasal düzenleme 31.05.2005 tarih ve 25831 nolu Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nde yapılmıştır. Bu yönetmeliğin madde 10 b bendi uyarınca sınır değerleri aşmayan stabilize arıtma çamurlarının toprakta kullanılması izne tabidir. Toprağın ve çamurun fiziksel ve kimyasal özellikleri, ağır metal içerikleri, pH’ları, çamurun uygulanma sıklığı, uygulanan ürünlerin türleri, besin zincirine dahil olunması ile oluşabilecek riskler, özel koruma alanları, taşkın sahaları vb. birçok unsur stabilize çamurların toprağa uygulanmasında dikkate alınan hususlardır. Bütün bunları sağlayacak şekilde bir uygulama yapılsa dahi çamur ve toprak özelliği, uygulanan alan, miktar, kişi, ürün belirli aralılarla analiz edilerek raporlanmak zorundadır. Yönetmeliğin madde 13 b bendi uyarınca “Atıksu arıtma tesislerinden çıkan evsel ve kentsel arıtma çamurları toprakta kullanılmayacaksa, 14/3/1991 tarihli ve 20814 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda katı atık depolama sahalarında bertaraf edilmesi gerekmektedir.” denilmektedir. Bu yönetmeliğe göre ise çamurun ilgi yönetmeliğin EK 11 A ‘da belirtilen sınır değerleri geçmemesi ve en az %35 KM içermesi gerekmektedir.

Ülkemizde, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıksu deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevreyi korumak amacıyla 08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Özellikle Avrupa Birliği uyum sürecinde gündeme gelen yasa, atıksuların arıtımıyla ilgili özellikle mülki amirler, mahalli idareler ve endüstrilere birçok yeni yükümlülükler getirmektedir. Bu yönetmeliğin belki de en önemli unsurlarından biri mevcut atıksu altyapısının oluşturulmasını bir takvime bağlamasıdır. Buna göre yönetmeliğin Madde 15, geçici 1. maddesi uyarınca verilen süreler Tablo 2.2’de belirtilmiştir.

Tablo 2.2. Yerel yönetimlere altyapı yatırımları için tanınan süreler

Nüfus*	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne Göre Arıtma Tesisini İşletmeye Alma Tarihleri (Yıl)	Ana Kolektör Yapımı İçin Verilen Ek Süreler** (Yıl)	Bu Yönetmelik Gerekliklerinin Sağlanması
>100000	2008	2	2022
100000-50000	2009	3	2022
49999-10000	2010	3	2022
9999-2000	2011	3	2022
<2000	-	-	-

Tarihler yıl sonunu ifade etmektedir.

* 31.12.2014 tarihinden itibaren eşdeğer nüfus olarak alınacaktır.

** İş temrin planında ana kolektör ihtiyacını belirten ve Bakanlıkça uygun görülen belediyeler için geçerlidir.

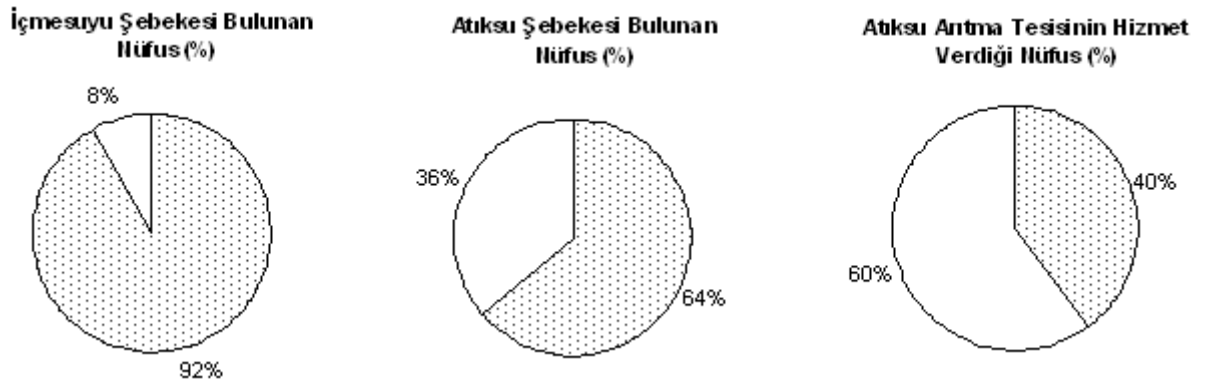
Kaynak: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmi Gazete

Bu tabloda da belirtilen süreler sebebiyle yerel yönetimlere önemli görevler düşmektedir. Yönetmelik; atıksu altyapı tesislerinin bulunduğu yörelerde, kanalizasyona bağlantı izni veren, atıksu altyapı tesislerinin inşası, bakımı ve işletilmesinden sorumlu olan, büyük şehirlerde büyükşehir belediyeleri su ve kanalizasyon idarelerini; belediye ve mücavir alan sınırları içinde belediyeleri yetkili kılmıştır. Ayrıca, alıcı su ortamlarına deşarj izni için, mahalli çevre kurullarının alacağı karar ve görüşler doğrultusunda büyükşehir belediye hudutları içerisinde ve dışında mahallin en büyük mülki amirini görevlendirmiştir.

Bu yönetmelikle ilgili varılacak en önemli sonuç özellikle ülkemizdeki atıksu toplama ve arıtma sistemlerinin belirli bir süre içinde oluşturulması veya yenilenmesiyle ilgili bir yatırım sürecinin başlayacağıdır.

Türkiye’de bu konudaki mevcut durumla ilgili olarak en güncel veri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından gerçekleştirilen 2003 yılı Belediye Kanalizasyon İstatistikleri Anketi sonuçlarında yer almaktadır. Buna göre; 3215 belediyeden 2195’ine kanalizasyon şebekesi ile hizmet verildiği tespit edilmiştir. Kanalizasyon hizmeti veren

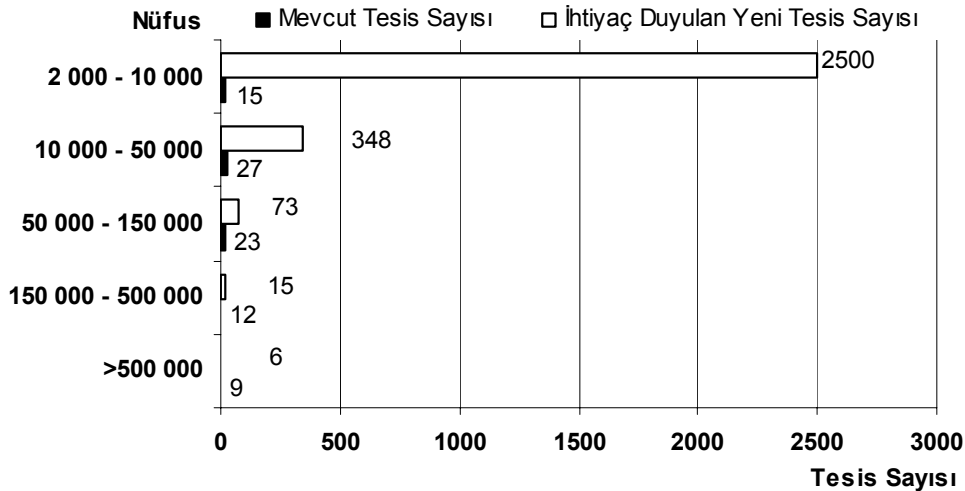
belediyeler tarafından, 2003 yılı itibariyle 2,86 milyar m³ atıksuyun %49,2'si akarsuya, %41'i denize, %1,6'sı göl-gölete, %1,5'i araziye, %3,4'ü baraja ve %3,3'ü diğer alıcı ortamlara deşarj edildiği belirlenmiştir (TÜİK 2005). Türkiye'deki belediyelerin altyapı durumlarını gösteren ve İller Bankası'nın elindeki bilgiler ışığında hazırlanan diğer bir bilgi ise aşağıdaki grafikte sunulmuştur. Şekil 2.2'den de görüleceği üzere belediyelere bağlı nüfusun %98'i içmesuyu imkanına kavuşurken, oluşan atıksuyu iletmek için sadece nüfusun %71'ine hizmet götürülebilmekte ve bu atıksuyun sadece %40'ı bir ön arıtma veya biyolojik atıksu arıtma tesisine ulaşmaktadır.



Şekil 2.2. Belediyelerin Altyapı Durumu (Ildır 2007)

Atıksu şebekesiyle toplanan atıksuyun ulaştığı arıtma tesislerinin durumuyla ilgili veri ise

Şekil 2.3'de görölmektedir.



Şekil 2.3. Atıksu Arıtma Sektöründe Durum (Ildır 2007)

Bu grafikte göröldüğü gibi zaten yetersiz olan atıksu arıtma tesislerinin mevcut

olanları da iyileştirme ve kapasite artırımına ihtiyaç duymaktadır.

Yukarıdaki verilerden de anlaşılacağı üzere ülkemizde atıksu toplama sistemlerinin ve atıksu arıtma tesislerinin artmasıyla birlikte çamur miktarında da bir artış beklenmektedir. Bunun sonucu olarak ülkemizin kişi başına düşen milli geliri, nüfus artış hızı, coğrafi konumu dikkate alınarak seçilecek çamur bertaraf metodlarının uygulanabilir teknolojiler arasından yapılması daha da önem kazanacaktır.

2.4. Arıtma Çamurlarının Suyunun Alınması

Çamur suyunun alınması işlemi aşağıdaki nedenlerin bir veya birkaçının yerine getirilmesi amacıyla gerçekleştirilir.

- Su alma ile çamur hacmi azaldığından, çamurun nihai bertaraf sahasına taşınması maliyeti önemli ölçüde azalacaktır.
- Suyu alınmış çamur, sulu çamuru göre daha kolay işlenir. Bir çok durumda suyu alınmış çamur traktörler veya bantlı konveyörlerle iletilebilir.
- Yakma işleminden önce çamurun su içeriği azaltılarak enerji muhtevası arttırılabilir.
- Kompostlama öncesi gözenek verecek malzeme gereksinimi azaltılır.
- Bazı durumlarda çamurun kokusunun önlenmesi için aşırı nemin giderilmesi gerekir.
- Mono depolama sahalarında sızıntı suyu oluşumu azaltılmış olur. (Filibeli 1996)

Su alma işlemi doğal ve mekanik yöntemlerle gerçekleştirilir. Bunlar;

Doğal Su Alma Yöntemleri

- a) Çamur Kurutma Yatakları,
- b) Çamur Tarlaları,
- c) Çamur Lagünleri.

Mekanik Su Alma Yöntemleri

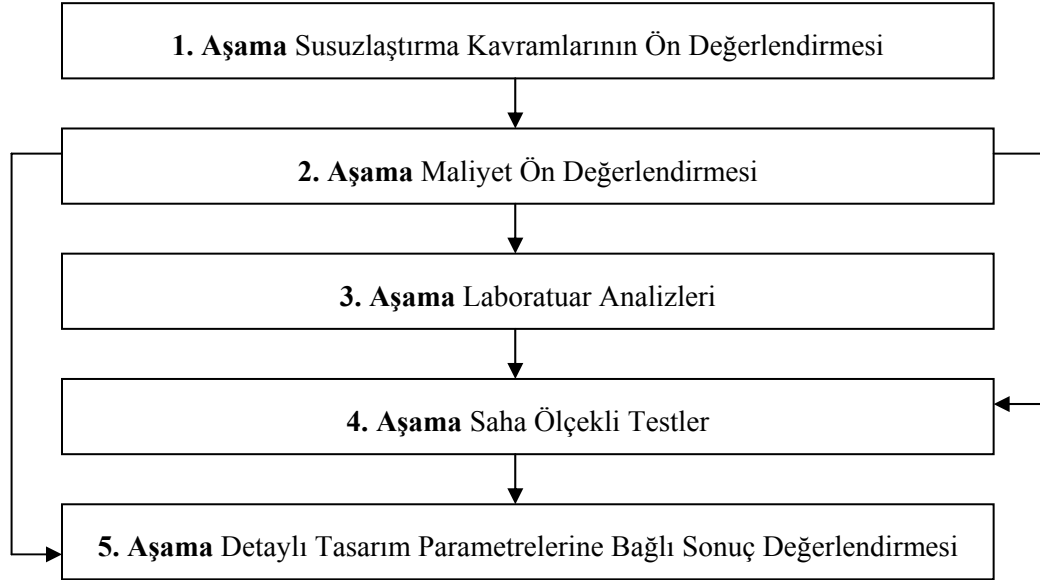
- d) Vakum filtreler,
- e) Plakalı pres filtreler,
- f) Bantlı pres filtreler,
- g) Santrifüjler.

Çamur Kurutma Yatakları

Çamur suyunun alınması için uygulanan en eski yöntemlerden biri çamur kurutma yataklarıdır. Çamur kurutma yataklarının en önemli avantajları maliyetinin düşük olması, işletilmeleri için özel itina gerektirmemesi ve elde edilen çamur kekinin katı madde içeriğinin yüksek oluşudur. Dört farklı tipte kurutma yatağı kullanılmaktadır.

- 1) Klasik kurutma yatakları,
- 2) Kaplamalı (Paved) kurutma yatakları,
- 3) Sentetik malzemeli kurutma yatakları,
- 4) Vakumlu kurutma yatakları.

Çamur susuzlaştırma yöntemi seçiminde geçilen aşamalar Şekil 2.4'de sıralanabilir. (USEPA 1987)



Şekil 2.4. Susuzlaştırma Prosesinin Seçiminde Uygulanan 5 Aşama

1. AŞAMA--- Susuzlaştırma Prosesinin Ön Elemesi

Ön eleme aşamasında aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır.

- Tesis boyutuna ve mevcut ünitelere uygunluk,
- Üretilen çamurun tipi ve miktarı,
- Nihai bertaraf tekniklerine uygunluk,
- Eldeki işçi ve saha imkanlarına uygunluk,
- Gerekli şartlandırma ihtiyacı,

- Çevresel faktörler,
- Diğer tesislerde edinilen saha tecrübesi.

2. AŞAMA--- Maliyet Ön değerlendirmesi

Uygun susuzlaştırma proseslerinde tasarım ve işletme kriterlerine dayalı en iyi tahminin yapılması için maliyet ön değerlendirmesi yapılmalıdır. Bazı durumlarda; bu aşamada 4-5 farklı susuzlaştırma prosesini içeren 10-20 çamur bertaraf alternatifi değerlendirilir. Genellikle en düşük maliyete sahip 3-5 kadar alternatif detaylı incelemeye alınır.

3. AŞAMA--- Laboratuvar Analizleri

Laboratuvar analizleri, 2. aşamada seçilen uygun alternatiflerden en iyi olanların belirlenmesinde kullanılır. Bu analizler tesiste veya ekipman üreticilerin laboratuvarlarında yapılabilir. Bu testlerin kaynağın yakınında yapılması nakliye sırasında meydana gelecek değişikliklerin önlenmesi ve taze çamur özelliklerinin korunabilmesi açısından önem taşır. Karışık çamurda günlük değişimler bile büyük hatalara yol açabilir. Küçük tesisler hariç analizlerde saha çalışmaları yapılmalıdır.

4. AŞAMA--- Saha Ölçeğinde Çalışmalar

Tesis boyutları büyükse ve/veya çamur su içeriğine kritik ise bir veya birden fazla uygun susuzlaştırma yöntemi pilot ölçekli çalışmalarda sınanır. Çamur özellikleri benzer çamurlara göre oldukça geniş bir aralıkta salınım göstereceğinden pilot çalışmaları proses seçimi ve boyutlandırılmasındaki hataları önemli ölçüde düşürecektir. Böylece fayda/maliyet analizi daha rahat yapılacaktır. Eğer iki tip susuzlaştırma ekipmanı karşılaştırılacaksa testler çamur içeriğine bağlı değişimlerden kaynaklanacak hataları gidermek için aynı anda yapılmalıdır. İdeal olarak pilot çalışmalar uzun süreli olarak yapılmalıdır. Ne var ki uzun testler genellikle pratikte mümkün olmayabilir. Test programları genellikle soğuk havalarda çamur suyu viskozitesinin yüksek olduğu ve atık aktif çamurun daha fazla üretildiği durumlarda ham çamur/atık aktif çamur oranının

değerlendirilmesinde etkilidir. Bununla birlikte çamurun son katı içeriği, ilk yatırım ve işletme maliyetleri tam ölçekli uygulama için yeniden hesaplanmalıdır.

5. AŞAMA--- Detaylı Tasarım Parametrelerine Bağlı Olarak Nihai Değerlendirme

4. aşama tamamlandıktan sonra uygun tasarım, tasarım mühendisi ve üretici firma desteğiyle gerçekleştirilir. Bu süreçte ilk yatırım, işçilik, enerji, kimyasal ve bakım maliyetleri detaylandırılır. Bu bilgiler benzer tesislerden sağlanan tecrübelerle ilgili olarak yapılabilir.

Tablo 2.3’de çamur susuzlaştırma prosesinin seçiminde işletmeye bağlı olan faktörler görülmektedir.

Tablo 2.3. İşletmeye Bağlı Olarak Çamur Susuzlaştırma Prosesinin Seçimi USEPA 1987

Tesis Boyutu (Debi)	Kriterler
Küçük < 0,08 m ³ / sn	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En az mekanik bileşen, ▪ Yerel olarak yedek parça ve bakım imkanı, ▪ En düşük işletmecisi desteği, ▪ Özel servis imkanının gerekmemesi, ▪ İklim şartlarından etkilenmemesi, ▪ Kapasite artırımı imkanı, ▪ Taşınabilecek kek eldesi.
Orta 0,08-0,44 m ³ /sn	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Düşük işletmecisi desteği, ▪ Rahatsızlık yaratmadan nakledilebilecek kek eldesi, ▪ Mekanik güvenilirlik, ▪ Rekabet edebilir işletme ve bakım maliyeti, ▪ Daha kuru kek eldesi.
Büyük <0,44 m ³ / sn	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kuru madde başına en düşük işletme ve bakım maliyeti, ▪ Kuru madde başına en düşük ilk yatırım maliyeti, ▪ Elde edilecek en kuru kek, ▪ Birim başına en yüksek çıktı, ▪ Mekanik güvenilirlik.

Genel Olarak Dikkate Alınması Gerekli hususlar

- Uzun süreli çamur bertarafında mevcut ekipmana uyumluluk,
- Uzun süreli servis alabilme ve kullanma imkanı,
- Kabul edilebilir çevresel etkiler,
- İşletim ve montajında tecrübe,
- Yerel işletmeci ve servis personelinin kabiliyet ve kalitesi,
- Tesis boyutuyla uyumluluk,
- Kullanıcı ve yasal mercilerce kabul edilebilirlik,
- Üretici servisinin bulunabilirliği ve gereksinimi.

Tablo 2.4'de tesis boyutu ve susuzlaştırma prosesinin uyumu arasındaki ilişkiler görülmektedir.

Tablo 2.4. Tesis Boyutu ve Susuzlaştırma Prosesinin Uyumu (USEPA 1987)

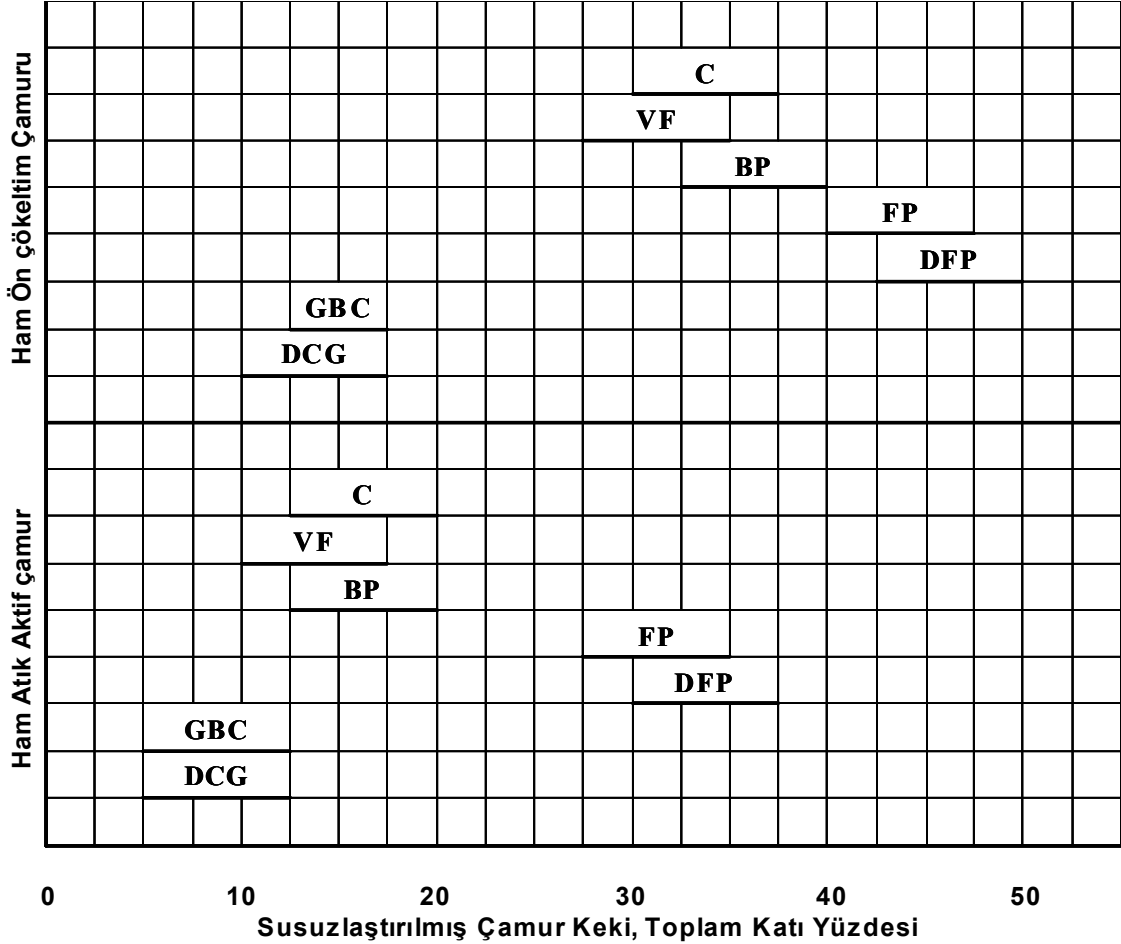
Susuzlaştırma Yöntemi	Tesis Boyutu (m ³ /sn)		
	<0,04	0,04 – 0,44	>0,44
Bant ve tambur yoğunlaştırıcı	X ¹	X	X
Santrifüj		X	X
Bant Pres	X ²	X	X
Vakum Filtre		X	X
Filtre Pres		X	X
Kurutma Yatağı	X	X	
Çamur Lagünleri	X	X	

¹: Sahaya serme veya enjekte etmeye uygun çamur.

²: Bu debi aralığında genellikle sadece düşük basınçlı presler kullanılır.

Mekanik su alma yöntemleri arasında da elde edilen çamur kekinin su muhtevaları arasında farklar bulunmaktadır. ulaşılmak istenen katı madde %'si bir sonraki bertaraf adımını da belirleyecektir. Bununla ilgili olarak Şekil 2.5'te Ön

çökeltim ve Atık Aktif Çamur İçin Mekanik Susuzlaştırma Yöntemleri ve Katı Madde Konsantrasyonları hakkında bilgi verilmektedir. Çamur susuzlaştırma tesislerinde ulaşılmak istenen katı madde yüzdesine göre ekipman seçimi Şekil 2.5'e göre yapılabilir.



Şekil 2.5. Ön çökeltim ve Atık Aktif Çamur İçin Mekanik Susuzlaştırma Yöntemleri ve Katı Madde Konsantrasyonları (USEPA 1987)

C: Santrifüj, VF: Vakum Filtre, BP: Bant Pres, FP: Filtre Pres, DFP: Diyafram Filtre Pres,
GBC: Graviteli Bant Yoğunlaştırıcı, DCG: Çift Hücreli Graviteli Ünite

Farklı proseslerle elde edilen kekin bir sonraki aşamada uygulanacak bertaraf alternatifine uygunluğuna ise Tablo 2.5'te değinilmiştir. Bu tablo susuzlaştırma sonrası uygun bertaraf yönteminin belirlenmesinde kullanılabilir. Tabloya göre ulaşılmak istenen katı madde yüzdesine hangi susuzlaştırma prosesi ile ulaşılabileceği ve bu prosenin hangi bertaraf yöntemi için yeterli olduğu belirlenebilir.

Tablo 2.5. Çeşitli Nihai Bertaraf Seçenekleri İçin Susuzlaştırma Prosesiyle Elde Edilen Kekin Uygunluğu (USEPA 1987)

Susuzlaştırma Prosesi	Kuru Madde %'si	Sahaya Serme	Sahaya Enjeksiyon	Depolama Sahası	Yakma/ Kurutma	Kompost
Lagün	15-40	1	-	2	3	2
Kum yatakları	30-60	1	-	1	1	1
Vakum Destekli Yataklar	10-	1	-	3	3	3
	16	2	-	2-1	3	2
Sonsuz vida pres	12	1	-	3	3	3
	20	2	-	2	3	2
Kaplama Tabanlı Yataklar	30-60	1	-	1	1	1
Bant Pres	18-	2	-	2	3	2
	24	2	-	2	2	2
Santrifüj	5-7	1	1	3	3	3
	18	2	-	2	3	2
	24	2	-	2	2	2
Vakum Filtre	16-20	2	-	2	3	2
Filtre Pres	26-	1	-	1	2	2
	34	1	-	1	1	1
Tambur / Bant Yoğunlaştırıcılar	5-8	1	1	3	3	3

1= İyi, 2=Yeterli , 3= Uygun değil.

2.4.1. Çamur Susuzlaştırmayı Etkileyen Faktörler

Çamur kurutma çalışmalarının araştırılması sırasında rastlanılan önemli bir konu, çamur susuzlaştırmayı etkileyen faktörleridir. Bu konuda yapılan çalışmalar mikrobiyoloji, akışkanlar mekaniği, su kimyası gibi farklı çalışma konularını da içine almaktadır. Çamur susuzlaştırma, bütün çamur bertaraf ve yeniden kullanım seçeneklerinin değerlendirilmesinde önemli bir yer tutar. Çamur su içeriğinin en aza indirilmesi çevresel ve ekonomik olarak ana amaçlardan birisidir (Emir 2002). Dick ve Ball (1980), susuzlaştırmayı etkileyen faktörleri üç ayrı kategoride değerlendirmiştir. Buna göre;

Akışkanın Özellikleri: Çamurun bağlı su içeriği, viskozitesi, iyonik direnci ve yoğunluğu,

Partikül Özellikleri: Boyut ve şekil dağılımı, yüzey potansiyeli, yüzey alanı ve partikül yoğunluğu,

Çamur Özellikleri: Katı madde konsantrasyonu, permeabilitesi, gerilimi ve elektrokinetik özellikleri.

Bir çamurun susuzlaştırılabilirliği Chen ve ark. (1996) tarafından susuzlaştırma işlemi sonrasında çamur kekinde kalan su muhtevasına ve çamurun filtre edilmesindeki kolaylığa göre karakterize etmişlerdir.

Susuzlaştırılmış çamur kekindeki katı madde muhtevasını etkileyen faktörler halen tam olarak anlaşılamamıştır. Çamur yüzeylerinin fiziksel ve kimyasal olarak bağlayan suyun düşük katı madde muhtevasını etkileyen en önemli konu olduğu düşünülmektedir (Mikkelsen ve Keiding 2002). Bir çok araştırmacı bağlı su içeriği ve susuzlaştırılmış çamur kekindeki katı madde muhtevası arasında bir ilişkiyi ortaya koymuştur.

Çamurda susuzlaştırmayla ilgili araştırılan önemli konulardan biri de mikroorganizmalarca hücre parçalanması veya aktif taşımayla dış ortama bırakılan hücre dışı polimerik maddeler (EPS)dir. EPS; protein, polisakkarit, humik bileşikler, nükleik asitler ve yağları içerir. Hücre dışı bu madde, özel bazı protein-polisakkarit bağlarının etkileşiminde, hidrofobik etkileşimlerde, hidrojen bağlarında ve iyonik etkileşimlerde bazı görevlere sahiptir (Higgins ve Novak 1997).

Çamur susuzlaştırmayı etkileyen hususlardan bir diğeri ise çamur şartlandırmada

kullanılan kimyasallardır. Bunların içerisinde özellikle molekül ağırlığı fazla, güçlü adsorblama özelliklerine sahip ve genellikle yüksek iyonik yüklere sahip suda çözünebilen polimerler önemli yer tutar. Çamur susuzlaştırmada kullanılan polimerlerin etkilerinin açıklanmasında kullanılan teorilerden birisi, DLVO adıyla anılan teoridir.

Derjaguin, Landau, Verveij, Overbeek tarafından geliştirilen DLVO teorisi; özellikle doğadaki kolloidal boyuttaki sistemlerin açıklanmasında örneğin partikül dağılımları, sabun filmleri, jeller, kristaller ve 1nm-100nm arasında boyutlara sahip yüzeylerin etkileşimlerini açıklamak üzere geliştirilmiştir. DLVO teorisine göre; yüzeysel yükün artmasıyla dispersiyonun da artacağı beklenir. Bu yüzden, artan toplam hücre dışı polimerik maddeler (Extracellular Polymeric Substances – EPS) içeriğiyle ilgili olarak zeta potansiyeli ve yük konsantrasyonu artışıyla kesme hassasiyetinde de bir artış beklenmektedir. Ancak bu durum görülmemiştir (Mikkelsen ve Keiding 2002) Aktif çamur floklarının kompleks ve heterojen kompozisyonu olduğu ve boyut, mikroyapı, yüzey özellikleri, yoğunluk gibi flok karakteristiklerinin ortam şartlarına (örneğin değişen atıksu kompozisyonu ve işletim şartları) bağlı olarak çok farklı olabilecekleri bilinmektedir (Jin ve ark. 2003). Bakterilerin dışında floklar EPS ve çeşitli inorganik ve organik moleküller içerirler. Su, mikrobiyal agregatların ana bileşenidir, bunu EPS ve biyokütle izler. EPS, ya metabolizmadan ya da mikroorganizmaların lysisinden veya atıksudan gelen bileşenlerin adsorblanmasından kaynaklanır. EPS organik, inorganik maddeleri ve iyonları özellikle Ca^{+2} ’yi bağlayabilir. Bakterilerin yüzeye tutunmalarına yardımcı olur. Flok oluşumunu geliştirdiklerine inanılmaktadır. Ancak yüksek konsantrasyonlar, zayıf çökelme ve sıkışma özelliklerine neden olabilirler. EPS, %98 su içeriği olan çok hidrate olmuş bir matriksi temsil etmektedir. Çamurun susuzlaştırılabilirliği 2 şekilde tanımlanabilir: susuzlaştırmadan sonra filtrasyon oranı veya çamur kekinin bağlı su içeriği olarak tanımlanabilir. Bağlı su, çok iyi tanımlanmış bir parametre değildir. Kurutma, santrifüj çöktürme ve dilatometrik ölçümler gibi metodlar bağlı suyu karakterize etmek için kullanılmışlardır. Çamurun su içeriği, iki kategoriye ayrılabilir; serbest su ve bağlı su. Serbest su, yoğunlaştırma veya zayıf mekanik araçlarla kolaylıkla uzaklaştırılabilir ve saf su gibi termodinamik davranış gösterir. Ancak bağlı su, flok matriksi içinde sıkı bir şekilde tutulmuştur, çamura bağlanmıştır veya çamur partikülleri arasına tutunmuştur. Mekanik araçlarla giderilemez ve toplam suyun küçük bir oranını temsil eder. Bunun da ötesinde

bağlı su su kütlesiyle kıyaslandığında farklı bir kimyasal potansiyele sahiptir. Bağlı su, 105°C'nin üzerinde ısı kurutmayla giderilebilen fiziksel bağlı su, kimyasal bağlı su ve mikro ve makro boşluklardaki kılcal kuvvetler tarafından bağlanmış mekanik bağlı su olarak ayrılabilir. Önceleri bağlı su ve kapiler emme süresi (CST) aktif çamurun susuzlaştırılabilirliğinin karakterizasyonunda kullanılmıştır. CST, basit ekipman , ihtiyacı sebebiyle oldukça yaygınlaşmış ve kabul görmüştür.

Jin ve ark. (2003) yaptığı çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır.

Hem bağlı su hem de CST susuzlaştırılabilirlikle benzer belirtileri ifade etmektedir. Bu nedenle belli şartlar altında çamurun susuzlaştırma özelliklerini anlatmada birbiri yerine kullanılabileceğini açıklamışlardır. Ancak, bağlı su içeriği ve CST aktif çamurun faklı su bağlama özelliklerini yansıtmaktadırlar. CST çamur floklarındaki daha zayıf bağlanmış suyu ve/veya aktif çamurdaki serbest su hacmini yansıtmaktadır. Bağlı su, çamur floklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinden önemli bir şekilde etkilenmiştir. Floklaşma yeteneği, hidrofobisite, yüzey yükü , çamur viskozitesi gibi flok fiziksel özellikleri, çamur floklarının su bağlama yeteneğini etkileyen önemli faktörlerdir. Floklaşma yeteneği, hidrofobisite, negatif yüzey yükü ve viskozitenin yüksek değerleri yüksek oranda bağlı su içeriğine ve uzun CST'ye karşılık gelmektedir. Bu da zayıf susuzlaştırılabilirliği göstermektedir. Çamurun flok boyutu, boyutsal ölçüleri ve filament endeksi tarafından belirlenen morfolojik özellikleri, bağlı su ve CST değerleriyle istatistiksel olarak zayıf korelasyonlar gösterir. Yüksek sayıda filament içeren büyük ve sıkı flokları olan çamurların, yüksek su bağlama kapasitesi vardır. Polimerik maddeler, protein ve hidrokarbon çamur floklarının su bağlama kapasitesine katkıda bulunurken humik maddelerin bu etkiyi göstermediği görülmüştür. CST'nin gerek çamur gerek se EPS'den özümşenen polimerik içerikle iyi derecede istatistiki ilişkilere sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bağlı suyun ise sadece çamurdaki tekil polimerlerle iyi bir ilişki gösterdiği bulunmuştur. EPS'den özümşenen yüksek miktardaki tekil ve toplam polimerlerin CST ile belirlenen iyi susuzlaştırılabilirliğe karşılık geldiği ortaya konmuştur. Çamurda yüksek konsantrasyonda bulunan Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} ve Al^{+3} 'ün çamur susuzlaştırılabilirliğinin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkı yaptığı görülmüştür.

2.4.2. Çamur Kurutma ve Buharlaştırma Teorisi

Kapalı kurutma yataklarında çamurun kurutulmasının teorik altyapısının oluşturulması için temel bazı kavramlar üzerinden hareket etme gereği duyulmuştur. Çalışmanın ana prensibi çamur içindeki suyun buharlaşmasına dayandığından buharlaşma konusunun kısaca açıklanmasında fayda bulunmaktadır. Doğada suyun hidrolik çevriminin gerçekleşmesinde önemli adımlardan biri buharlaşmadır. Buharlaşma, suyun sıvı fazdan gaz faza geçişi ve oradan da atmosfere yayılımı olarak tarif edilebilir. Kar ya da buzun doğrudan su buharına dönüşmesi de aynı yolla gerçekleşse de buna süblimleşme adı verilir. Su yüzeylerinden meydana gelen buharlaşmaya “evaporasyon”, bitki yüzeylerinden meydana gelen buharlaşmaya “transpirasyon”, bitki yüzeyi ve topraktan meydana gelen buharlaşmaya ise “evapotranspirasyon” adı verilmektedir. Buharlaşmanın normalde deniz, göl ve rezervuar gibi su yüzeylerinden gerçekleştiği düşünülse de önemli bir kısmı sulak alan ve bitkiyle kaplı topraklarda meydana gelmektedir. Dünyamızda serbest su yüzeyinden gerçekleşen yıllık en yüksek buharlaşma 2250 mm. ile 10^0 - 30^0 enlemler arası Alize Bölgesinde, yıllık en düşük buharlaşma ise 50^0 - 60^0 enlemler arası bölgede gerçekleşmektedir (DMİ 2007). Buharlaşma sırasında 1g. su için yaklaşık 600 kalorilik enerji gereksinimi bulunmaktadır (DMİ 2007). Bu enerji doğada güneş radyasyonundan, havanın ısısından, zeminden veya suyun kendi ısısından elde edilebilir. Ancak bunların tümünde sağlanan enerjinin ana kaynağı güneştir. Ayrıca su yüzeyi ve üzerindeki hava arasında bir buhar basıncı farkı da bulunmalıdır. Buhar basıncı atmosferdeki su buharına karşılık gelen kısmi basınçtır. Doygunluk buhar basıncı doymuş hava kütleindeki buhar basıncıdır. Bu değer, sıcak havanın soğuk havaya göre daha yüksek konsantrasyonda su buharı taşımamasından dolayı sıcaklıkla artar.

Çamur suyunun termal yöntemlerle alınmasında Stasta ve ark. (2006) 1 g. çamur suyunu buharlaştırmak için 614,02 kalori gerektiğini belirtmişlerdir. Buradan hareketle (614,02 kalori /g. su – 600 kalori / g. su) 14,2 kalori / g. su kadar saf su ile çamur suyunun buharlaştırılması için gereken fark enerji bulunur. Yine Kopp ve Dichtl (2000) çamurdaki bağlı suyun bağlanma enerjisinin (5 kJ/kg) çamurdaki serbest suyun bağlanma enerjisinden (0,28 kJ/kg) büyük olduğunu belirtmiştir. Bu enerji, güneş radyasyonundan, havanın ısısından zeminde veya suyun kendi ısısından elde edilebilir.

Ayrıca su yüzeyi ve üzerindeki hava arasında bir buhar basıncı farkı da bulunmalıdır. Buhar basıncı atmosferdeki su buharınca kullanılan kısmi basınçtır. Doygunluk buhar basıncı, doymuş hava kütesindeki buhar basıncıdır. Bu değer, sıcak havanın soğuk havaya göre daha yüksek konsantrasyonda su buharı taşımamasından dolayı sıcaklıkla artar.

Buharlaştırmanın açıklanmasında en çok başvurulan yol kütle ve ısı transferinin aynı anda gerçekleştiği prensibidir. Sıcaklık farkına dayalı ısı transferi ve kısmi buhar basınçlarına bağlı olarak gerçekleşen su kütesinin transferi buharlaşma sırasında her iki olayın da gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

Penman –Monteith Eşitliği (Monteith ve Unsworth 1990)

Ekilmemiş topraktaki enerji dengesi şöyle ifade edilebilir; (Qiu ve ark. 1998)

$$L E = R_n - G - H \quad (1)$$

1 nolu eşitlikte; L E gizli ısı akısıdır.

E: Buharlaşma akısı ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$),

L: Buhar haline getirmek için gizli ısı (J kg^{-1}),

R_n : Toprak yüzeyindeki net radyasyon ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$),

G: Toprak ısı akısı (toprak profiline transfer edilen ısının oranı) ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$),

H: Toprak ve atmosfer arasındaki hissedilir ısı akısı ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

1 a nolu eşitlikte H değeri açılacak olursa;

$$H = \frac{\rho C_p (T_s - T_a)}{r_a} \quad (1 a)$$

ρC_p : Hacimsel ısı kapasitesi ($\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$),

T_s : Kuruyan toprak yüzeyinin sıcaklığı (K),

T_a : Hava sıcaklığı (K),

r_a : Aerodinamik direnç (s m^{-1})

Referans yüksekliğindeki hava sıcaklığının eşit ve kurumakta olan ve kuru toprağın sıcaklığının r_a yaklaşık eşit olduğu kabul edilerek (Fox 1968, Ben-Asher ve diğ. 1983).

$$r_a = \frac{\rho C_p (T_{sd} - T_a)}{R_{nd} - G_d} \quad (1 b)$$

(1 b) nolu eşitlikte ;

T_{sd} : Kuru toprak yüzeyinin sıcaklığı (K),

R_{nd} : Kuru topraktaki net radyasyon ($J m^{-2} s^{-1}$),

G_d : Kuru topraktaki ısı akısı ($J m^{-2} s^{-1}$) dır. Elde edilen değer yerine konacak olursa ;

$$LE = R_n - G - (R_{nd} - G_d) [(T_d - T_a) / (T_{sd} - T_a)] \quad (1 c) \text{ bulunur.}$$

Monteith ve Unsworth, (1990) tarafından Penman- Monteith modelinin uyarlanmasıyla elde edilen (1 d) eşitliği aşağıda görülmektedir.

$$LE = \frac{\Delta (R_n - G) + \rho C_p [e_s - e_a] / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_s / r_a)} \quad (1 d)$$

Burada ; Δ : Ortalama hava sıcaklığında doymuluk buhar basıncı – sıcaklık arasındaki eğrinin eğiminden çıkarılan parametredir. e_s : Hava sıcaklığındaki doymuluk buhar basıncı, r_s : Toprak yüzeyinin direnci, γ : Psikrometrik sabittir.

Tanner ve Fuchs tarafından 1968'de sıcaklık farkına bağlı olarak ortaya konulan bir başka (2) nolu eşitlikte de benzer bir yaklaşım görülmektedir.

$$LE = (R_n - G) + \rho C_p [(T_s - T_a) / r_a] \quad (2)$$

Priestly-Taylor Modeli (Winter ve ark. 1995, Mosner ve Aulenbach 2003)

$$PET: \alpha \cdot (s / (s + \gamma)) \cdot [(Q_n - Q_x) / L] \text{ (cm/gün)}$$

PET = Evapotransprasyon veya buharlaşma potansiyeli,

α = 1,26, Priestley-Taylor tarafından bulunan ampirik sabit ,

$(s / (s + \gamma))$ = Ortalama hava sıcaklığında doymuluk buhar basıncı – sıcaklık arasındaki eğrinin eğiminden çıkarılan parametre,

γ = Psikrometrik sabit,

s = Doymuluk buhar basıncı gradyanının eğimi (boyutsuz),

Q_n = Net radyasyon ($cal/cm^2/gün$)

Q_x = Su gövdesinde tutulan ısıdaki değişim ($cal/cm^2/gün$)

Penman Eşitliği (Winter ve ark. 1995, Mosner ve Aulenbach 2003)

Winter ve ark. 1995 ve Mosner ve Aulenbach 2003 tarafından geliştirilen (3) nolu eşitlikte;

$$PET: (s / (s+\gamma)). (Q_n - Q_x) + (\gamma / (s+\gamma)). [(15,36(0,5+0,01U_2)).(e_o - e_a)] \quad (3)$$

$(\gamma / (s + \gamma))$ = Ortalama hava sıcaklığında doygunluk buhar basıncı – sıcaklık arasındaki eğrinin eğiminden çıkarılan parametre,

U_2 = 2 m. yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)

e_o = Doygunluk buhar basıncı (mbar)

e_a = Hava sıcaklığı ve bağıl nemindeki buhar basıncı (mbar) dır.

DeBruin- Keijman Eşitliği (Winter ve ark. 1995, Mosner ve Aulenbach 2003)

Winter ve ark. 1995 ve Mosner ve Aulenbach 2003 tarafından geliştirilen (4) nolu eşitlikte;

$$PET: [SVP/(0,95SVP+0,63 \gamma)]. (Q_n - Q_x) \text{ (cm/gün)} \quad (4)$$

Burada SVP: Ortalama hava sıcaklığındaki doygunluk buhar basıncı (mbar/K).

Bütün bu eşitliklerden ve daha önce yapılan çalışmalarda ulaşılan ana buharlaşma parametreleri Tablo 2.6'da görülmektedir.

Tablo 2.6. Buharlaşma Eşitliklerinde Gerekli Veriler

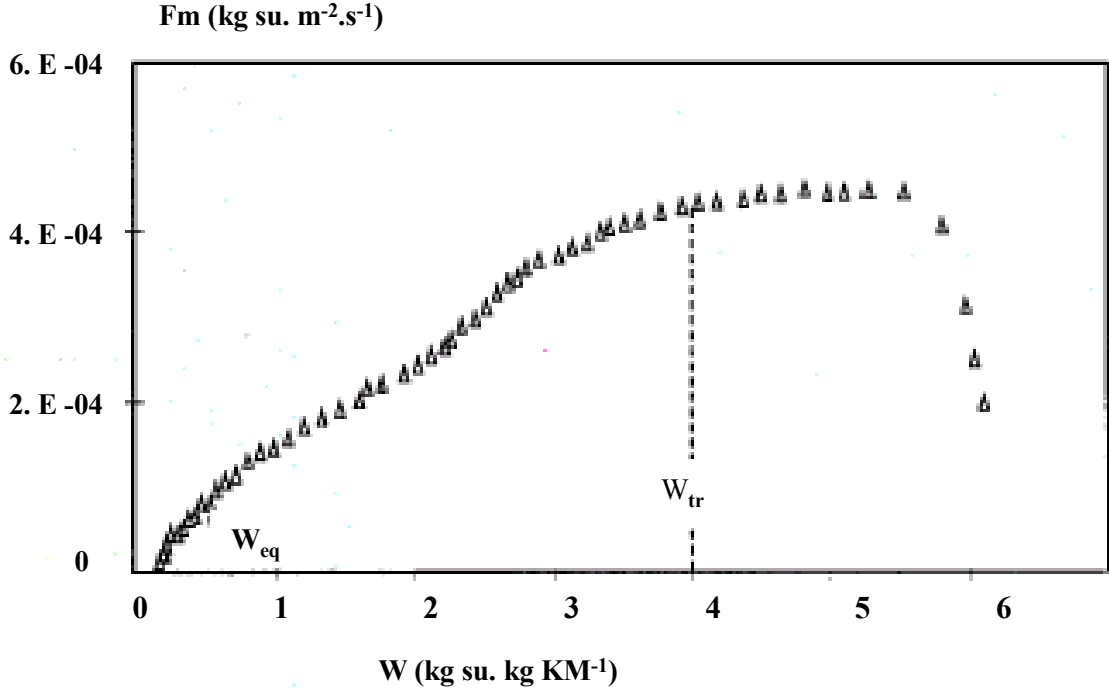
Metot	Sıcaklık	Nem	Rüzgar	Radyasyon	Referans
Blaney-Criddle	x				SCS, 1967
Linacre	x				Linacre, 1977
Stewart-Rouse	x			x	Steward & Rouse, 1976
Priestly-Taylor	x			x	Priestly & Taylor, 1972
deBruin	x	x	x		deBruin, 1978
Penman	x	x	x	x	Jensen, 1973
Kohler-Nordenson-Fox	x	x	x	x	Kohler et al. 1955
Kohler-Parmele	x	x	x	x	Kohler ve Parmele 1967

Kaynak :<http://library.wrds.uwyo.edu/wrp/85-21/85-21.html>

Yukarıda belirtilen bütün eşitlikler her ne kadar genel olarak su ve çıplak toprakta meydana gelen buharlaşma olayını izah etse de çamur içeriğinde yer alan farklı

su dağılımı buharlaşmanın açıklanmasını da güçleştirmektedir.

Bu konuda şu ana kadar sadece birkaç araştırmacı detaylı çalışmalar gerçekleştirmiştir. Vaxelaire ve Puiggali (2002) çamurun mekanik olarak ısı ile kurutulması sırasında su içeriği (W (kg su / kg KM)) ve buharlaşma akısı (F_m (kg su/ $m^2 \cdot s$)) arasındaki ilişkiden oluşturduğu kurutma eğrisi ile süreci tanımlamaya çalışmıştır. Kurutma eğrisi Şekil 2.6'da görülmektedir.



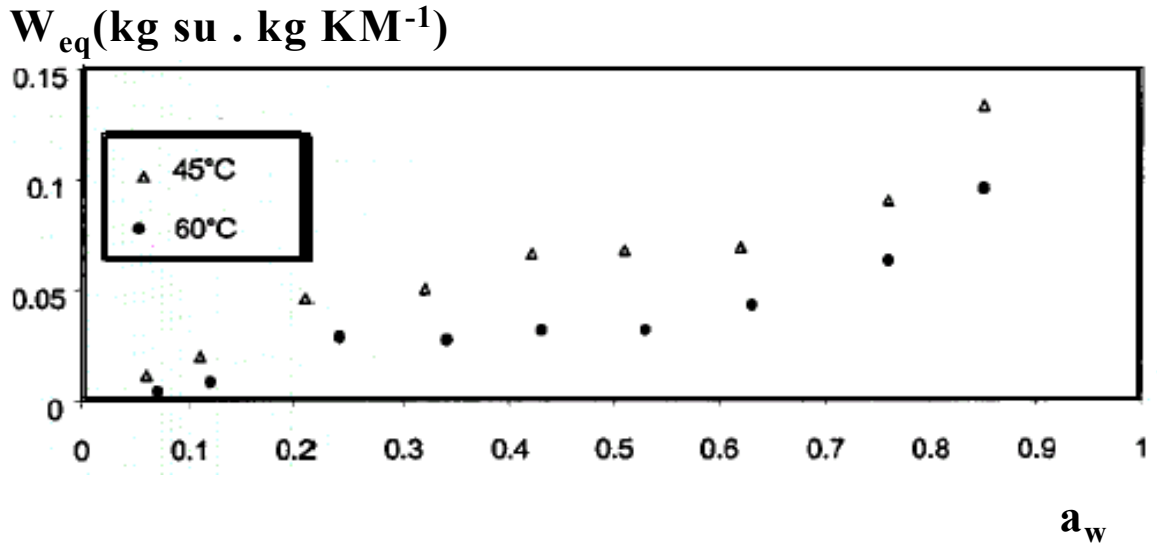
Şekil 2.6. Çamur Kuruma Eğrisi (Vaxelaire ve Puiggali 2002)

Bu eğride mekanik susuzlaştırma sonrası kalan serbest sudan dolayı başlangıçta hızlı bir buharlaşma akısı gözlenmektedir. Daha sonra W_{tr} bölümünde bağlı su kısmının buharlaşma için daha yüksek enerji talep etmesinden dolayı kurutma hızı düşmektedir. Isıya maruz kalan bölgede bir “kuru bölge” gözlenir ve bu bölge kek haline gelir. Ayrışmanın bu aşamasında kekin permeabilitesi ve dış transfer direncine bağlı olarak anlamlı nem eğimleri görülebilir. Ortalama bir nem içeriği bu durumda iç prosesi uzun süre temsil edici kalmaz ve bölgesel bilgi gerektirir. Bu ısı kurutma aşamasının sonunda beklenen düşük nem (W_{eq}) hem çamura hem de dış kurutma şartlarına bağlıdır. Yine aynı çalışma kapsamında çamur kurutmayla ilgili olarak sorpsiyon izotermi ve ısı sorpsiyonu yaklaşımı da açıklanmaya çalışılmıştır. Çamur nem içeriğinin termodinamik denge şartlarında ölçülmesi için birkaç hafta boyunca

atmosfer şartlarına bırakılmıştır. Denge halindeki bağıl nemin çamur içindeki su buhar aktivitesine(a_w) eşittir. Dengedeki örnek kütlesinin 105°C 'de kurutulmuş bulunan çamur kütlesiyle karşılaştırılmasıyla denge nem sabitinin (W_{eq}) hesaplanması ve sorpsiyon izotermelerinin çizilmesi mümkün olmuştur. S. Brunauer, P.H. Emmett ve E. Teller tarafından geliştirilen BET modeline göre uyarlanan (5) nolu eşitlikte;

$$W_{eq} = \frac{W_m C_b a_w}{(1 - a_w)(1 + (C_b - 1)a_w)} \quad (5)$$

Bu eşitliğe göre oluşturulan grafik Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7. BET İzotermine Göre Denge Nem Sabitinin Hesaplanması (Vaxelaire ve Puiggali 2002)

BET eşitliğinin en uygun hale getirilmiş parametreleri ve su moleküllerinin ilk tabakasının ısı adsorpsiyonuyla ilgili sonuçları Tablo 2.7'de görülmektedir.

Tablo 2.7. BET Eşitliğine Göre Elde Edilen Sonuçlar

T ($^\circ\text{C}$)	BET Parametreler	$E_{S1} - E_L$ (kJ kg^{-1})
45	$W_m = 0.035$ $C_b = 14.4$	390
60	$W_m = 0.024$ $C_b = 5.6$	270

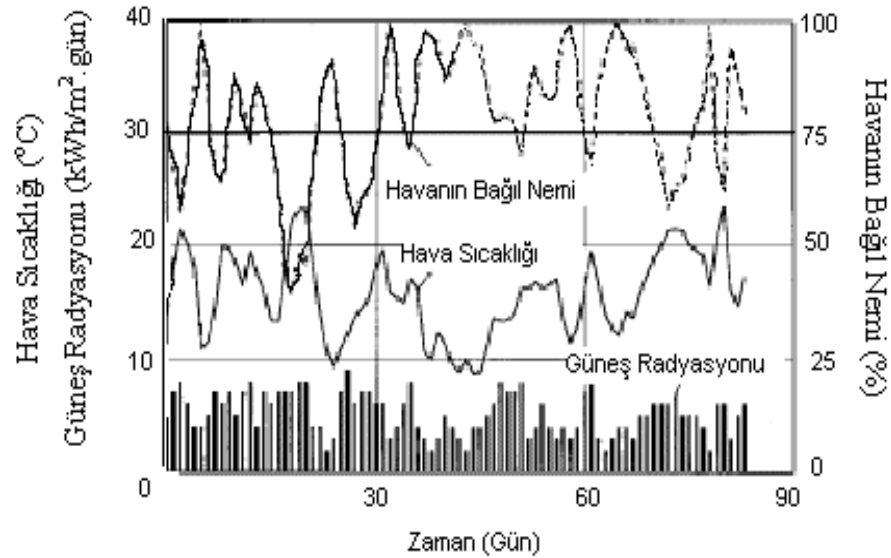
2.4.3. Çamur Kurutma Konusunda Yapılan Çalışmalar

IST Prosesine Dayalı Güneş Enerjisiyle Çamur Kurutma (Luboschik 1999)

Su içeren çamurlar mekanik olarak belirli ölçülerde susuzlaştırılırlar. Bu seviyenin üzerinde susuzlaştırma için ısı yöntemleri kullanılmaktadır. Kasım 1994'ten bu yana IST firması Kandern Hammerstein'de kendi geliştirdiği güneş enerjili bir çamur kurutucuyu kentsel atıksu arıtma tesisinde çalıştırmaktadır. Sonuçlar Almanya'nın güneyinde yılda 1 m² alanda bu sistemle çamurdaki 700-800 kg suyun buharlaştırılabildiğini göstermiştir.

Aynı zamanda 1997 Ağustos'undan bu yana benzer başka bir sistem de Baden-Baden yakınlarında işletilmektedir. Bu sistemler, endüstriyel kurutma ünitelerine göre oldukça yüksek alan ihtiyacı duymalarına rağmen çok düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Kurutma süresi başlangıçtaki nem içeriğine ve doğal radyasyona bağlıdır. Güneş enerjisiyle kurutma mevsimsel bazda değişim gösteren radyasyon yoğunluğuna büyük ölçüde bağlıdır.

Şekil 2.8'de Almanya'da gerçekleştirilen çalışmalar sırasında kaydedilen parametreler görülmektedir.



Şekil 2.8. Kapalı Yatakta Çamur Kurutmayla İlgili Almanya'da Gerçekleştirilen Çalışmanın Verileri (Luboschik 1999)

Bu sistemin maliyeti Tablo 2.8’de görülmektedir.

Tablo 2.8. Kapalı Yatakta Çamur Kurutma Maliyeti Ticari Verileri

İş	Alman Markı
1. İnşaat Mühendisliği Kısmı	200.000
2. Prefabrike Parçalar	115.000
3. Taşıma ve Karıştırma Ünitesi	99.500
4. Kurutma Alanı Maliyetleri ve Kaplama Örtüsü	117.800
5. Elektrik Tesisatı	38.200
6. Vantilatörler	9.400
7. Egzos Bacası ve Cephe Kaplaması	26.800
8. 2 yıllık İşletme Desteği	16.500
Toplam İlk Yatırım	623.200 (≈ 300.000 USD)

İlk Yatırım Maliyetleri:

(1 dönümlük bir alan için 1997 fiyatları esas alınarak hesaplanmıştır.)

Finansman Maliyeti

15 yıllık hizmet ömrü ve %6 faiz üzerinden inşaa maliyetinin yıllık %10,3’ü olan 64.000 Alman Markı.

İşçilik Maliyetleri

Çamur nakli, numunelerin analizi, teçhizat kontrol ve yağlama tutarı yıllık 14300 Alman Markı

Enerji Maliyetleri

18.000kWh*0,23DM/kWh= 4.140 Alman Markı

Toplam Yıllık Maliyet= 82. 440 Alman Markı(≈ 40.000 USD)

Güneş Enerjisiyle Çamur Kurutma (Parkson Corp. 2001)

Parkson firması tarafından sıvı, yoğunlaştırılmış veya susuzlaştırılmış çamurları hacimce %75 katı hale getirmek amacıyla otomatik ısı sistemli güneş enerjisi kurutucusu üretilmiştir. Bu sistemle buharlaştırma oranları bilinegelen kurutma yataklarına oranla 3 kat artmıştır. Kurutma işleminin büyük kısmı güneş enerjisiyle gerçekleştirildiğinden buharlaştırılan 1 m³ su için sadece 20-40 kWh enerji gerekmektedir. Sistemin bileşenleri, ışık geçiren bir bölme, atmosferik algılayıcılar,

hava panjurları, havalandırma fanları, karıştırma iskelesi ve otomasyon üniteleridir.

Karıştırıcı iskele çamuru günde 10 kez karıştırarak oksijenlendirmekte böylece kokuyu azaltmakta aynı zamanda buharlaşma hızını da arttırmaktadır. Kurutma bölmesi bir sera gibi inşaa edilmiş, üzeri 3 katlı ve içi hava dolu şeffaf bir örtü ile kapatılmıştır.

Atık Çamurun Isıl Yollarla Kurutulması (Vaxelaire 2000)

Atık çamurun bilimsel literatürde çok iyi açıklanmamış güncel çevresel bir problemdir. bu yüzden susuzlaştırmayla ilgili araştırma çalışmaları endüstriyel ihtiyaçların karşılanmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışma laboratuardaki konveksiyonla kurutma deneyleriyle, kinetik eğrileri ve kurutma potansiyeli cinsinden bir yaklaşımı hedeflemektedir. Burada ölçüt, tasarım araştırmalarının ilk aşamasını oluşturmak için dış şartları tek bir parametre halinde (sıcaklık, bağıl nem, hava hızı) gruplayarak farklı işletme stratejilerinde kolay sınıflandırmaya izin vermektir. Çalışmada atık aktif çamur ve atık pvc çamuru kullanılmıştır. Çalışma sonunda aktif çamurdaki kabuklaşma probleminden dolayı kurutma sürecinin daha güç işlediği buna karşın pvc çamurunun çok iyi kuruduğu görülmüştür.

Kullanılmakta Olan kurutma yataklarından Yüksek Hızlı, Yüksek kapasiteli Vakumlu Susuzlaştırma Yatakları (White 1998)

Basınçla susuzlaştırma hızını arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmış olmakla birlikte vakumun daha etkili olduğu görülmüştür. Başlangıçta uygulanan 250mm Hg civarındaki vakumlar yerine şu anda 625mm Hg civarında basınçlar uygulanmaktadır. böylelikle daha yüksek kapasitelere, daha kuru çamura ve daha kısa devir zamanına ulaşılmıştır. Biyolojik çamurların kurutma yataklarında kurutulmasını etkileyen başlıca faktörler şöyle sıralanabilir:

çamurun tipi ve katı içeriği, çamur derinliği, çamurun biyokimyasal özellikleri, çamurun başlangıçtaki drene edilebilirliği, çamur kekinin geometrisi, buharlaşma, sıcaklık, bağıl nem, rüzgar, güneş radyasyonu, yağış.

Vakumlu susuzlaştırma yatakları ise 1970'lerin ortasından itibaren gündeme gelmişlerdir.1990'larda standart filtrat/vakum sisteminde, motor işletmeli vanalar ve daha basit drenaj seviye kontrol sistemleri kullanılarak filtrat pompasından vazgeçilmiştir. Böylelikle 625mm Hg basınçlara ve her gün çamur yenileme imkânını

vermiştir. Günümüzde vakumlu susuzlaştırma yatakları tasarım ve işletme yönünden basit olmaları, susuzlaştırmadaki kontrol edilemeyen parametreleri ortadan kaldırmaları ve mekanik susuzlaştırma yöntemlerine göre daha ucuz olmaları sebebiyle önem kazanmışlardır.

Çamurun Susuzlaştırılabilirliği ve İkili Polimer Şartlandırmasındaki Yumak Yapısı (Lee ve Liu 2001)

Bu çalışmada tekli ve ikili polimerlerle çamur şartlandırılması incelenmiştir. Kılcal Emme Zamanı (Capillary Suction Time, CST) ve Özgül Süzme Direnci (Specific Resistance to Filtration, SRF) parametreleri çamurun susuzlaştırılabilirliğinin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Zeta potansiyelleri, yumak boyutları ve parçacık boyutları da çamuru karakterize etmek amacıyla incelenmiştir. Çalışma iyonik olmayan polimerlerin katyonik polimerlere göre çamur şartlandırmada daha etkili olduğunu göstermiştir. Buna ilave olarak uzun zincirli iyonik olmayan polimerler katyoniklere göre daha yüksek yumak dayanımları gösterdi. İkili polimerler daha güçlü yumak yapısı elde edilmiştir.

Atıksu Çamurlarının Güneş Durultucusuyla Susuzlaştırılması (Haralambopoulos ve ark. 2002)

Bu çalışmada, atıksu çamuru susuzlaştırma sürecini belirlemek amacıyla bir güneş durultucusunun içine konulmuştur. Özellikle deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında kullanılan güneş durultucusu benzer bir şekilde bu işlem içinde tasarlanmıştır. Kentsel bir atıksu arıtma tesisinden alınan çamur suyunun uzaklaştırılması ve bazı parametrelerin (KOİ, Uçucu AKM, AKM) izlenmesi için 5 gün boyunca güneş durultucusuna konmuştur. Çamur bütün suyunu kaybederken durultucuda oluşan destile sudaki kirletici miktarının uçucu organik bileşikler yüzünden arttığı görülmüştür.

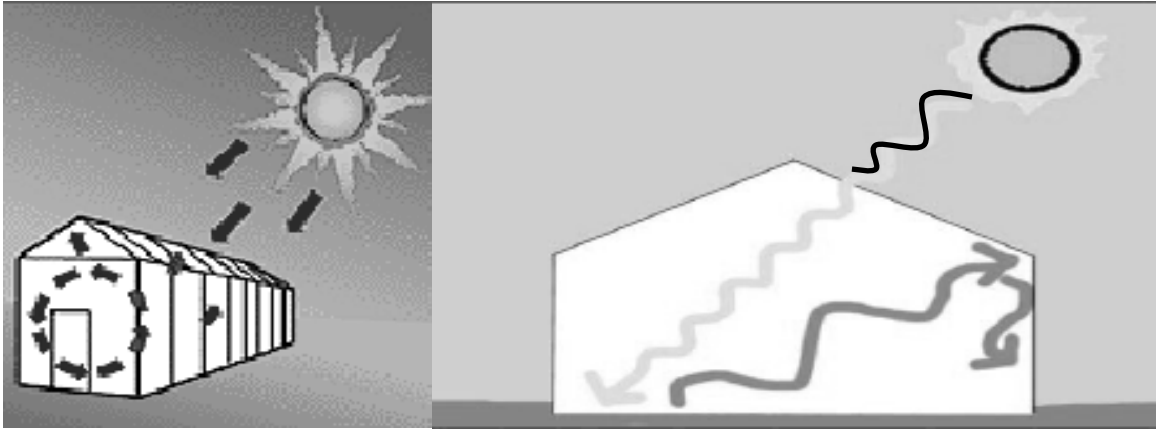
Atıksu Arıtma Çamurunun Konveksiyon Isıtmayla Kurutulmasının Kinetik Modellemesi (Leonard ve ark. 2000)

Bu çalışmada Çamurların konveksiyonla kurutulmasında farklı işletme parametrelerinin katkıları incelenmiştir. oluşturulan modellerle kurutma davranışları açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmada yeni deneysel düzeneklerden olan elektriksel

mikrotomografiyle kurutmadaki değişim süresi gözlenmiştir. Çamurun reolojik (akışkan yapısına bağlı) özellikleri çamurun yapısının anlaşılması için belirlenmiştir. Çalışmada kül eklenen çamurların daha çabuk kurdukları ve daha yüksek elastik modül ve viskozite gösterdikleri görülmüştür.

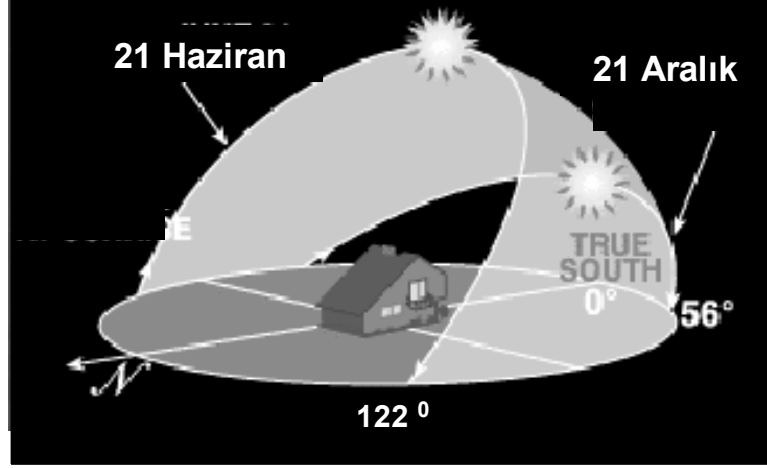
2.5. Seraların Özellikleri

Kapalı çamur kurutma yataklarının tasarımında esas aldığımız yapılar seralardır. Seralar güneş radyasyonunun şeffaf bir örtü ile kaplı yapı içerisine alınması ve bu yapı içerisinde yansımalar sayesinde yapıya gelen uzun ve kısa dalga boylu ışınların alıkonma süresini uzatarak iç ortamın ısıtılmasını sağlamak üzere planlanırlar. Özellikle sera tabanının, içerisindeki bitki örtüsünün ve şeffaf örtü malzemesinin güneş radyasyonunu ne kadar absorbe edeceği enerji bilançosu yönünden önem taşır. Şekil 2.9'da seraların çalışma prensibi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Seraların Çalışma Prensibi

Burada en önemli nokta, güneş enerjisi ile işletilen seranın doğru yönde konumlanmış olmasıdır: Seranın uzun ekseninin Doğu-Batı doğrultusuna yönlenmiş olması gerekir. Bunun sebebi kuzey yarı kürede güneş radyasyonuna en uzun süre maruz kalarak verimin artırılmasıdır. Bunun için önemli parametrelerden birisi bölgeye düşen güneş ışınlarının azimut açısıdır. Azimut açısı rasatçının bulunduğu enlem değeri ile rasatçı ile gözlenen cisim arasındaki doğrusal hat arasındaki açı olarak ifade edilir. Derece cinsinden 0 ile 360 arasında değerlendirilir (DMİ 2007). Şekil 2.10'da yılın farklı zamanlarında güneşin azimut açıları görülmektedir.



Şekil 2.10. Yılın Farklı Zamanlarındaki Azimut Açısı

Güneş ışınlarından en uygun şekilde (direk/dolaylı) faydalanabilmek için seranın güneşten en çok faydalandığı yönün saydam bir örtü ile kaplanması gerekir. Bunu sağlayabilmek için cam ya da güneş ışınlarına (UV) dayanıklı bir plastik folye kullanılması gerekir. Güneş enerjisi ile işletilen seraların kuzeye bakan kısımlarının iyi yalıtılmış bir duvar ile kapatılması gerekir. Bu işlem, oluşan ısı kayıplarını azaltmak için yapılır. Ayrıca, iç kısımdaki ısıyı koruyabilmek için çift cam yada çift folye kullanımı uygun görülmektedir. Bu konuyla ilgili detaylı bilgi diğer bölümlerde verilecektir.

Güneş enerjisinden pasif yarar sağlanabilmesi, seraya yerleştirilmiş ısı depolayan birimler aracılığı ile mümkündür. En doğal ısı depolayan madde olarak ilk akla gelen su olmaktadır. Seranın akılcı bir bölümüne yerleştirilmiş, kapalı bir kaptayada borular içinde bulunan su, gün boyunca ısıyı depolar ve geceleri de depolamış olduğu ısıyı dışarı verir.

2.5.1. Seraların Yerleşim Eksenleri

Gupta ve Chandra tarafından 2002 yılında seraların yerleşim eksenlerinin etkisi üzerine bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Brun ve Ville-o-de (1974), Akdeniz şartlarında seraların yerleşimi üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Kuzey –güney eksenli yerleşimin seradaki mikroiklim koşullarının homojenliğine katkısı olduğunu ortaya koymuşlardır. Diğer taraftan doğu-batı eksenli yerleşimin erken bitki büyümesinde

elverişli olmadığını görmüşlerdir. Mahsüller kuzey-güney eksenli yerleştirilen seralarda büyüyenlere göre daha büyüktü. Bu yerleşim aynı zamanda daha iyi kullanımı sağladı ve hüküm süren kuzeybatı rüzgârlarına karşı serayı desteklemeye yardım etti. Chandra (1976), doğu-batı eksenli yerleşimin serbest duruşlu gotik kemerli şekillendirilmiş bir seranın aynı boyutta kuzey-güney eksenli bir serayla kıyaslandığında %20 daha az ısınma ihtiyacı olduğunu gözlemiştir. (49,25°N enleminde) Harnett ve ark. (1979) farklı sera tiplerini ve yerleşimlerini karşılaştırmışlar ve ışık geçirimsiği açısından tutarlı bir avantaj sağladığı sonucuna varmışlardır. Chandra (1976) Boy/En Oranı > 1 olan bir sera için sera yerleşiminin bu alana gelen güneş enerjisi miktarını etkileyeceğini belirtmişlerdir. Facchini ve ark. (1983) düşük enerji tüketimi olan güneş enerjisi seraları üzerinde deneyler yapmışlar ve kuzey İtalya seralarının güneye bakan en uzun kenarlı seralar olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu nedenle, Boy/En Oranı > 1 olan seralar için doğu-batı eksenli yerleşimin enerji tüketimin azalttığı sonucu çıkarılabilir. Kurata ve ark.(1991) çeşitli açıklıklarda, yılın farklı zamanlarında, farklı enlemlerde sera yerleşiminin doğrudan güneş radyasyon geçirimsiğini bir matematik model kullanarak yukarıda sayılan faktörlerin düşük enlemlerde daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Ancak doğu batı eksenli seralardaki alansal radyasyon düzensizlikleri bütün enlemlerde problem olabilir. Yukarıdaki çalışmalar, amaca uygun özgül yerleşimin ve eksenin avantajını ortaya koymaktadır. Bu nedenle yerleşimin seranın enerji etkinliği üzerindeki etkisi üzerinde çalışma etkisi ortaya çıkmıştır.

2.5.2. Seraların Şekli

Facchini ve ark.(1983) düşük enerji tüketimi olan güneş enerjili seralar üzerinde yaptıkları deneylerde sera şeklinin güneş enerjisi kullanımını maksimize etmede önemli bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır. Kurata ve ark.(1991) optimum tünel tip seraların dik güney yüzeyleri, simetrik olmayan kesitleri olduğunu göstermiş ve soğuk iklimlerdeki doğrudan ışık geçirimsliliğinin yarı dairesel kesitlerle %10'un üzerine çıkarılabileceğini açıklamışlardır.

Zamir ve ark. (1984) eğimli bir yüzeye kurulmuş seranın aynı iklim koşullarında sıradan bir serayla kıyaslandığında ısı ihtiyaçlarını %15'e kadar azaltılabileceğini göstermişlerdir.

2.5.3. Kuzey Duvarı İzolasyonu

Chandra (1976) doğu-batı eksenli yerleşime sahip bir seradaki şeffaf kuzey kenarın kış aylarındaki güneş enerjisi kazancına etkisinin düşük olduğunu saptamıştır. (Aralık ayında yaklaşık %3 katkı). Hartz ve ark.(1982) yansıtmalı bir duvara sahip 5,5mx9m. Boyutlarında prototip bir seranın Ekim ve Mart ayları arasındaki ısınma için %14 daha az enerji gerektirdiğini bulmuştur. Tiwari ve Dhiman (1985) sera ısıl çevresi için geliştirdikleri matematik modelde kuzey duvarının mat olduğunda sistem performansının arttığını saptamışlardır.

2.5.4. Çift Kat Örtüler

Landgren (1985) çift kat örtülü sera için %35-40 ısı tasarrufu gözlemlemiştir. Mielsch (1985) çift katla %38 enerji tasarrufunun olduğunu söylemiş bunun yanında Gonzales ve Hannan (1988) geceleyin standart şartlar altında çift katın ısınma amaçlı gaz tüketimini azalttığını bulmuştur. Bu da bizim sistemimiz gibi geceleri ısıtma olmayan süreçlerde ısı kaybının daha az gerçekleşeceği anlamını taşımaktadır.

2.5.5. Isıl Örtüler

Gece perdeleri veya ısı örtüler gece boyunca ısı radyasyon kaybını azaltmak için geceleri kapatılırlar. Chandra (1976) analitik olarak gece perdelerinin seranın ısı ihtiyacı üzerindeki etkisini belirlemiş ve gece perdelerinin kullanımıyla %70 civarında tasarruf sağlanabileceğinin tahminini yürütmüşlerdir. Jolliet ve ark., etilen krom kaplı ısı örtülerin kullanımıyla gece çatı boyunca ısı geçirimsizlikte %35 –47 azalma olduğunu ve diğer eş zamanlı kullanımlarda %52 azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Pieters ve Deltour'un (1999) yaptığı çalışmada Batı Avrupa koşullarında seraların güneş enerjisi toplama verimini etkileyen inşaat parametrelerinin göreceli önemini açıklamak için yarı tek boyutlu iklim modeli kullanılmıştır. Seralardaki güneş radyasyonu girdisine göre yapılan araştırma, sera örtüsü ve çerçevesiyle sınırlandırılmamış, güneş radyasyonu geçişini etkileyen diğer başlıca faktörlere de dikkat edilmiştir. Sonuçlar; seraların mevcut güneş radyasyonunun 2/3'ünü aldığını göstermiştir. Bu düşük verim seraların geometrisi, tarımsal engellerle geometrisi

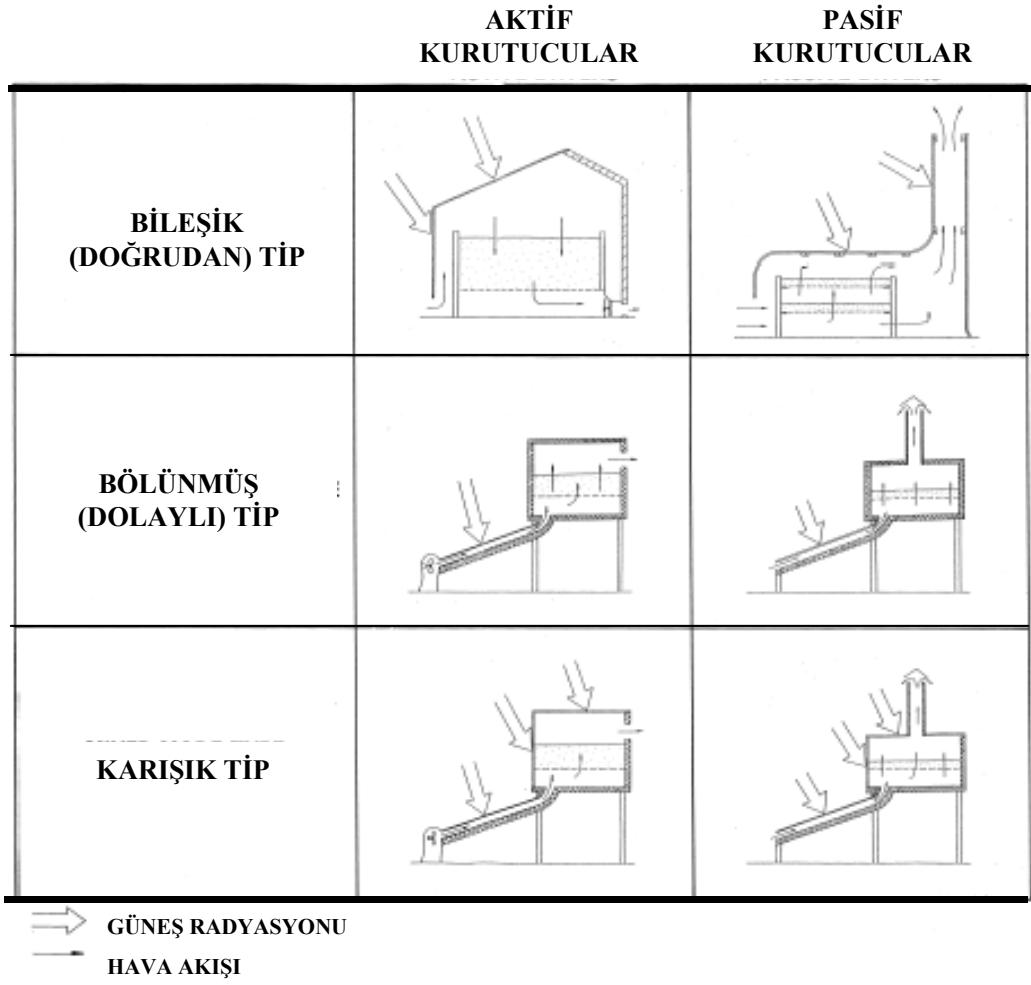
belirlenen sabit güneş kolektörleri olmaları gerçeği ile açıklanabilir. Radyasyon toplama verimi, kış aylarında daha düşük, yaz aylarında daha yüksek bulunmuştur. Bu enerjinin çoğu sera içindeki bitkilerce absorblanır. Yoğunlaşmadan kaynaklanan ve referans seraya göre %2,8 gibi yüksek geçirgenlik azalmasına rağmen yardımcı ısıtma gereksinimleri, çerçeve veya örtü geçirimsizliğindeki değişikliklerden etkilenir.

Simülasyonlarda zemin özelliklerinin sera enerji ihtiyacı üzerinde, mahsüle gelen güneş enerjisi miktarı üzerinde oldukça düşük bir etkisi olduğu görülmüştür. Bitkiler küçük olduğunda ve zeminin çoğunu kaplamadığında yaşanan başlangıç periyodu bu durum için istisnadır. Qiu ve ark. (1998) yaptığı çalışmada su buharı hareketine olan direncin tam hesabının, topraktan olan buharlaşmanın değerlendirilmesinde büyük bir güçlük olduğu görülmüştür. Topraktan olan buharlaşma prosesi nem, buhar basıncı, sıcaklık gradyanları, radyasyon, toprak atmosfer ara kesitindeki gibi atmosferik fiziksel parametrelerin ve toprağın bir fonksiyonudur, bu kompleks prosesler nedeniyle topraktan olan buharlaşmanın tam hesabı güç olmuştur. Toprak direncinin ve aerodinamik direncin tam hesabı belli uygulama amaçları için topraktan olan buharlaşmanın belirlenmesinde temel bir güçlüktür (Qiu ve ark. 1998).

2.6. Çalışmaya Esas Teşkil Eden Tasarımlar

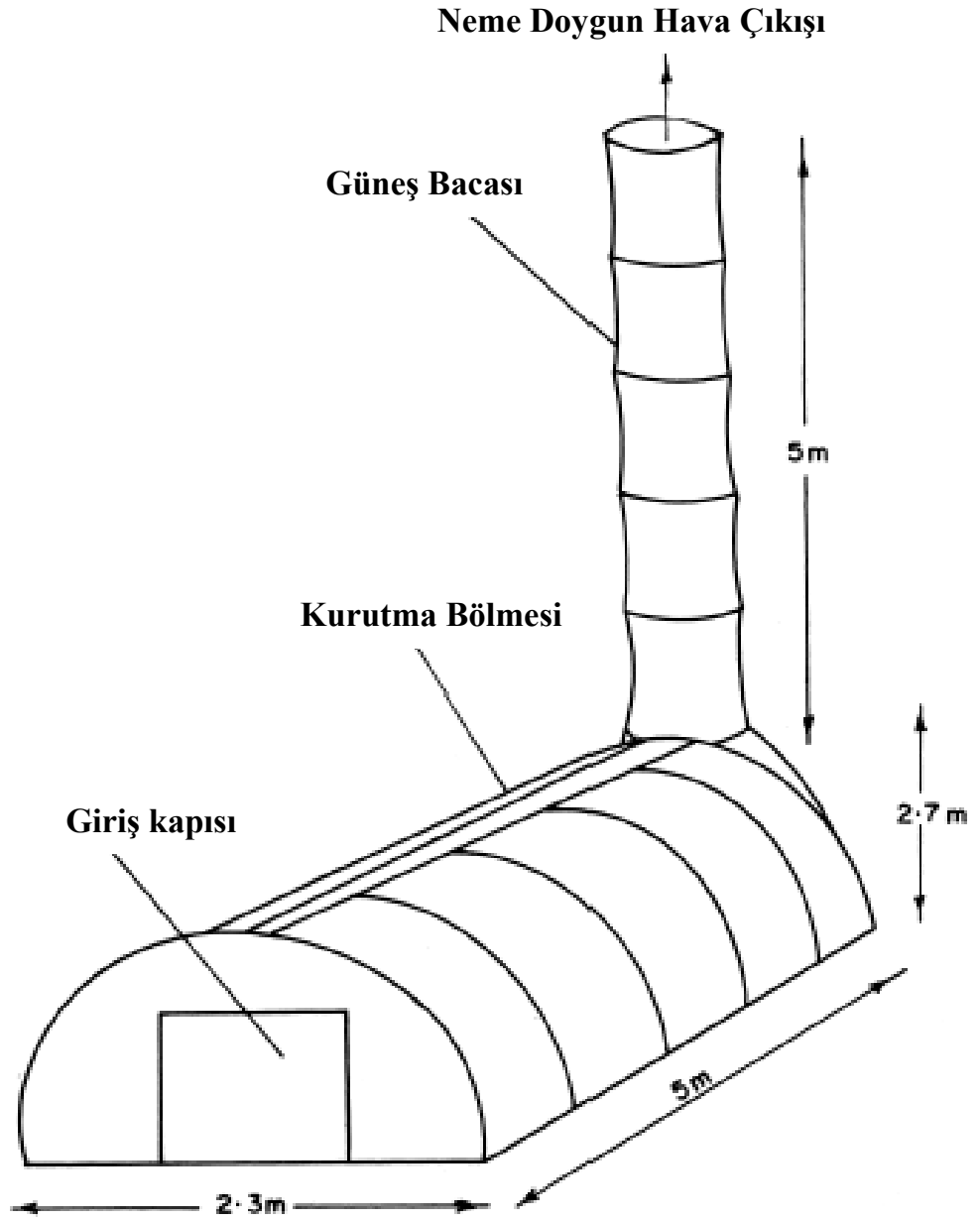
2.6.1. Tarımsal Ürün Kurutma Amaçlı Yapılar

Bu yapılar genellikle ürünün bir tepsi veya ara kademeye konulması ve yapının farklı yerlerinden hava girişleri sağlanarak ürünün kurutulmasını hedefler. Şekil 2.11’de farklı tipteki kurutucular ve çalışma prensipleri görülmektedir (Ekechukwu ve Norton 1999 b). Bileşik tip kurutucularda aktif sistemde bir fan yardımıyla iç ortam havası tahliye edilmekte, pasif sistemde bu işlem sıcak hava ile soğuk havanın yerdeğiştirmesine bağlı olarak kontrolsüz gerçekleşmektedir. Bölünmüş tipte güneş enerjisinin toplandığı kolektör kurutmadan bağımsız çalışmakta, elde edilen sıcak hava güneşle teması olmayan kapalı kurutma bölümüne gönderilmektedir. Karışık tipte ise hem kolektör hem de kurutma bölümü güneş enerjisinden yararlanmaktadır.



Şekil 2.11. Farklı Tipte Güneş Enerjisiyle Kurutma Sistemleri (Ekechukwu ve Norton 1999 b)

Şekil 2.12’de tesisimizin tasarımına ana kaynak teşkil eden güneş bacası bulunan bir kurutma serası görülmektedir. Bu şekilde solar chimney (güneş bacası) adı verilen ve ısınan havanın yükselirken izleyeceği yolu oluşturan ve böylece sistem içinde daha verimli hava tahliyesi ve çevrimi sağlayan bir yapı oluşturulduğu görülmektedir. Güneş bacası Almanya’da IST firmasının birkaç tesisinde kullanılmaktadır. Doğal yollarla hava yenileme bu tür sistemlerde enerji sarfiyatında önemli azalmalar sağlamaktadır. Bununla birlikte sistemin kontrolü daha güçtür.



Şekil 2.12. Güneş Bacalı Kurutma Serası (Ekechukwu ve Norton 1997)

Bilindiği üzere çalışmanın temeli atıksu arıtma çamurlarını taşınacak, depolanacak veya daha sonraki bertaraf işlemlerinde işlenebilecek kuruluğa getirmek için sera tarzı bir yapıda güneş enerjisinden faydalanarak kurutmaktır.

Daha önce de belirtildiği üzere konuyla ilgili doğrudan yapılmış olan bilimsel çalışma sayısı yok denecek kadar azdır. Bu yüzden çalışmayı oluşturan konular hakkında temel yaklaşımları içeren bilimsel makalelerden istifade edilmeye çalışılmaktadır.

Lazaar ve ark.(2004) yaptığı bir çalışmada, Akdeniz bölgesindeki seralarda gece ve gündüz sıcaklık farklılıkları sebebiyle ürün kalitesinin etkilendiğini, sera iç ortam şartlarının kontrolü için 1970'lerden itibaren rüzgar, ısı kaynağı ve güneş enerjisiyle aktif ve pasif sistemlerin kullanıldığını belirtmişlerdir. Isının suda ve zeminde depolandığı sistemlerin mevcudiyetinden söz etmişlerdir.

Tasarlanan sistemde de diğer çamur kurutma sistemlerinden farklı olarak iç ortamda oluşan sıcak hava dolgu yatakta depolanmaya ve içerdiği nem düşürülmeye çalışılmaktadır.

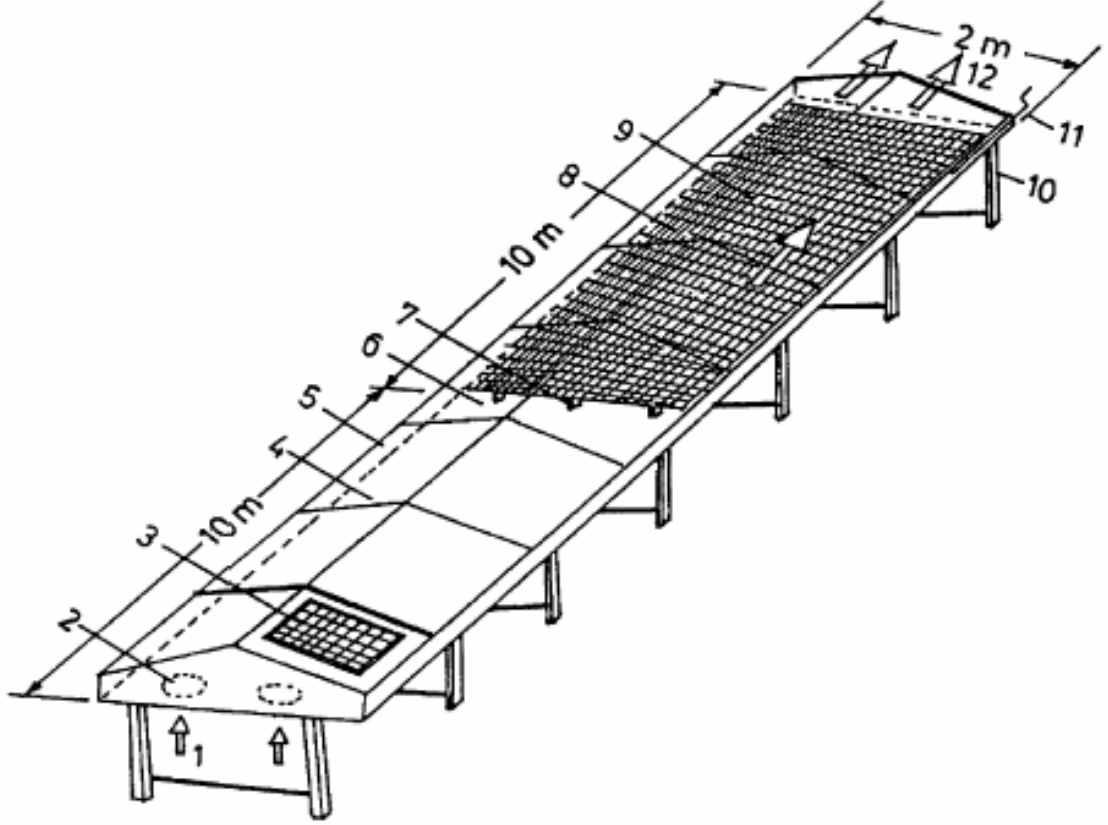
Daha çok sebze ve meyve kurutma amaçlı olarak kullanılan tünel tip güneş kolektörleri (seralar) farklı tiplerde inşa edilebilmektedir. Güneş enerjisiyle kurutma sistemleri genel olarak ısıtma tarzına göre gruplandırılır. İki ana grup altında toplamak gerekirse:

Aktif güneş enerjisiyle kurutma sistemleri (genel olarak hibrit tip kurutma sistemleri olarak anılırlar.)

Pasif güneş enerjisiyle kurutma sistemleri (genel olarak doğal çevrimli sistemler olarak anılırlar) (Ekechukwu ve ark. 1997).

Bala ve ark. (2002) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Bangladeş'in geçim kaynağı olan tarım ürünlerinden mango ve ananasın kurutulması için bir sistem tasarlanmıştır. Şekil 2.13'de görülen 2 nolu fanlarla iç ortam havalandırılmaktadır. Oldukça dar bir hacimde kontrolü daha kolay bir yapı oluşturulmuştur. Fanlar için gereken enerji 3 numara ile gösterilen fotovoltaiik piller ile sağlanmaktadır. Güneş radyasyonunun şiddetine bağlı olarak çalışan fotovoltaiik piller sayesinde artan ışınla ihtiyaç duyulan fan gücü de otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Bu sistemde iç ortam sıcaklığı 34,1-64 °C arasında değişim göstermiş ve 150 kg'a kadar dilimlenmiş ananasın

kurutulması sağlanmıştır.



Şekil 2.13. Özel Bir Tünel Tip Kurutucu Örneği (Bala ve ark. 2002)

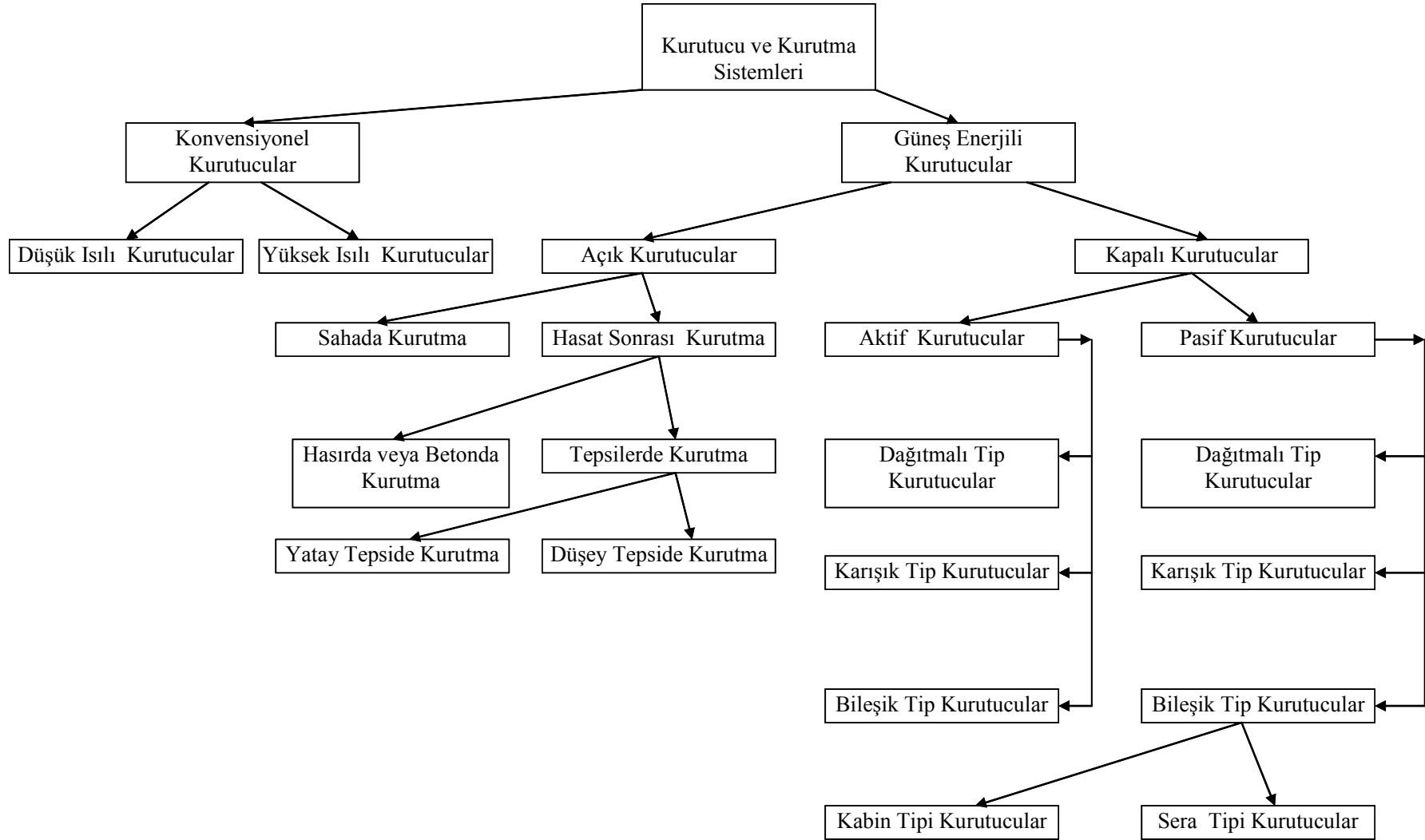
Güneşle kurutma sistemleri daha çok tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan bir yöntemdir. Güneş enerjisiyle kurutma sistemleri özellikle sebze ve meyve kurutma amacıyla kullanılmaktadır. Güneş enerjisiyle kurutma sistemleri genel olarak ısıtma tarzına göre gruplandırılır. İki ana grup altında toplamak gerekirse:

- Aktif güneş enerjisiyle kurutma sistemleri(genel olarak hibrit tip kurutma sistemleri olarak anılırlar.)
- Pasif güneş enerjisiyle kurutma sistemleri (genel olarak doğal çevrimli sistemler olarak anılırlar.)

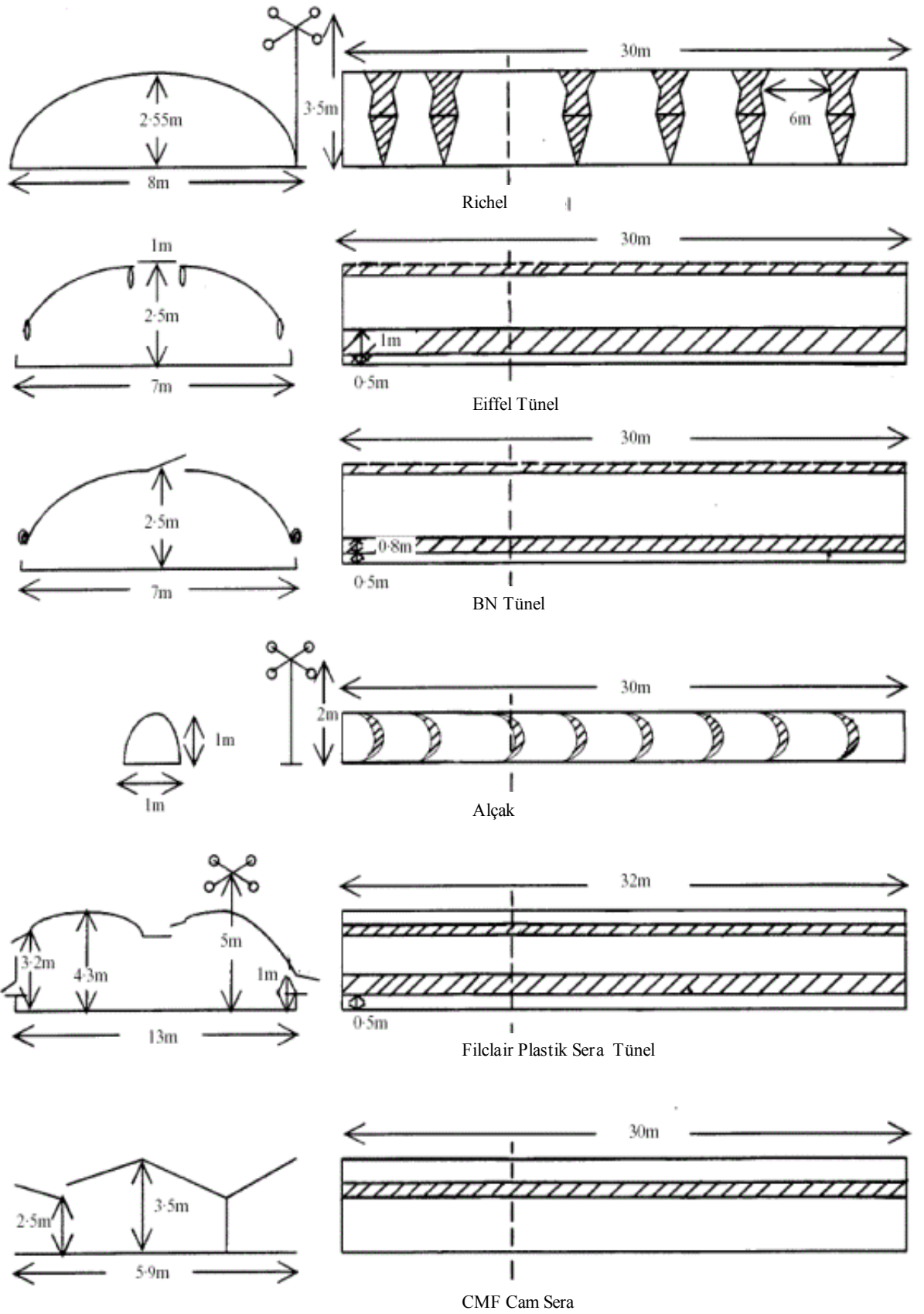
- Kurutma sistemlerinin gruplandırılmasına ait şema Şekil 2.14'de görülmektedir (Ekechukwu ve ark. 1997). Kurutma sistemlerinin gruplandırılmasında ana unsur olarak enerji kaynağı seçilmiştir. Herhangi bir ısı kaynağından elde edilen sıcak havanın yüksek veya düşük olmasına göre iki ana tip ayrımı görülmektedir. Güneş enerjili sistemlerde ise açık bir arazi veya sistem üzerinde kurutma ile kurutma için özel olarak inşa edilmiş tipler arasında ayrıma gidilmiştir. Çapraz akış (cross flow) olarak adlandırılan dikey hava geçişine izin veren sebze ve meyvenin özelliklerine bağlı olarak tepsili sistemler kapalı kurutma sistemlerinde kullanılmaktadır.

2.6.2. Özel Sera Tipleri

Şekil 2.15, 6 farklı tip seranın tasarım özellikleri ve havalandırma sistemleri üzerine yapılan bir çalışmadan elde edilmiştir (Boulard ve ark. 1997). Richel tip serada sistem boyunca belirli aralıklarla açılan yarıklardan hava girişi sağlanmaktadır. Eiffel ve BN tip serada alt-yanlardan ve üst kısımdan açılıp kapatılabilen örtüler kullanılmaktadır. Alçak tip seralar özellikle havanın kontrol edilebilmesi için daha küçük bir hacim eldesini sağlamaktadır. Filclair ve CMF tip seralar ardışık ve daha büyük seraların inşasında tercih edilmekte ve havalandırma üst ve alt-yan açıklıklardan sağlanmaktadır. Boulard ve ark. (1997) tarafından gerçekleştirilen çalışma sonunda farklı tip seraların doğal havalandırma verimlerinin açıklık miktarına, bunların konumlarına, açıklıkların baca etkisine ve bunların kombinasyonuna bağlı olduğunu açıklanmıştır. Üsten ve yandan doğal havalandırma amacıyla açılan seralar özellikle içerideki ürünün ideal sıcaklıkta yetişebilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Bu tip doğal havalandırma yaklaşımında havalandırma açıklıkları elle veya otomatik sistemlerle, nem ve sıvıklık değerlerine bağlı olarak açılıp kapatılmaktadır. Yaz ayları için çamur kurutma için de düşünülecek bu tür doğal havalandırma sistemlerinin dezavantajı kapalı hacimde oluşabilecek koku ve uçucu bileşiklerin kontrolünü ortadan kaldırmalarıdır.



Şekil 2.14. Kurutma Sistemlerinin Gruplandırılması (Ekechukwu ve Norton 1999 b)



Şekil 2.15. Farklı Tip Seraların ve Havalandırma Sistemlerinin Özellikleri (Boulard ve ark. 1997)

2.6.3. Pilot Tesisin Anahatları

Bu tür bir sistem üzerinde çalışılmasının sebepleri; çamur susuzlaştırma işletme maliyetlerinin yüksekliği, sadece mekanik susuzlaştırma ekipmanlarıyla depolama sahalarına kabul kriteri olan %35 katı maddeye ulaşamaması, çıkan ürünün kompost, yakma, depolama gibi birden fazla nihai bertaraf alternatifine uygun olması, yenilenebilir enerjinin kullanılması, işlem sonunda stabil bir ürün eldesi şeklinde sıralanabilir. Bununla ilgili Almanya’da yapılan bir çalışmada; güneş enerjisiyle çamur kurutma sistemiyle yaz aylarında %93'lere sonbahar ve kış aylarında %50'lere varan hacim azaltımı olduğu, böylece taşıma ve bertaraf maliyetlerinde oldukça önemli bir kazanç sağlanabildiği ortaya konulmuştur. Çalışmalar sırasında uçucu askıda katı madde miktarında %37 ile %43'ler seviyesinde azalma görülmüştür (Bux 2001).

Bu sistemle çamur karıştırma ve havalandırma için kullanılan enerji dışında ısıtma için güneş enerjisinin kullanılması enerji tüketim miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Elektrik tüketimi konvensiyonel kurutma sistemlerinde 70-110 kWh iken bu sistemle 17-28kWh'e indirilmiştir (Bux 2001).

Önerilen sistemde dolgu yatak kullanılmasıyla ilgili olarak temel dayanak taş dolgu yatak ile gün içerisinde iç ortamda elde edilen atıl ısının depolanarak iç ortam sıcaklığının dengelenmesinde kullanılmasıdır. Kürklü ve arkadaşlarının 2003 yılında yaptığı çalışmada 32 mm. tane boyutundaki taşlardan teşkil edilen taş yatak tabana ve içeride oluşan sıcak havanın taş yatağa verildiği bir düzeneğe sahip boş bir serayla ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Taş yatak, sera iç ve dış ortam havasında 6-9 °C'lik sıcaklık farkı oluşturmuştur.
- Sistem, yüksek güneş radyasyonu ve hava sıcaklığına sahip günlerde daha etkin çalışmaktadır.
- Sistemin enerji toplama verimi %34'tür.
- Kapalı bir günün ardından enerji depolaması olmasa dahi sistem iç ortam havasını 10°C civarında tutmaktadır.
- Sistem seralarda donmaya karşı kullanabileceğini ispatlamıştır.
- Sistem Türkiye’de işletilen, LPG ve Fuel –Oille ısıtılan seralara göre daha ekonomik şartlar sunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması, genel olarak çamur numunelerinin özel olarak tasarlanmış pilot ölçekli kapalı bir kurutma yatağında kurutulmasına dayanmaktadır. Çalışmanın planlanması aşamasında farklı zorluklarla karşılaşmıştır. Bunlardan en önemlisi pilot tesisin tasarımı ve inşaa aşamasıdır. Çalışmanın aşamaları kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Pilot Tesis Tasarımı ve İnşası
- Çamur karakterizasyonu
- Kireç İlavesi ve Kurutma Süreci
- İzleme Süreci ve Yapılan Analizler
- Değerlendirme Süreci

Pilot tesis tasarımında literatür araştırmaları sırasında ulaşılan bilgilerden yararlanılmıştır. Tesisin kurulması sırasında BUSKİ'den finansal kaynak ve yer, Yüksel Proje A.Ş.'den mühendislik ve müşavirlik hizmetleri, Sistem Yapı A.Ş.'den taahhüt desteği sağlanmıştır. Pilot tesislerin genel özelliği olarak ölçek büyütme ile tam ölçekli sistemi yansıtmaları hedeflendiğinden mümkün olduğunca aslının benzeri bir yapı inşası gerekmektedir. Bu yüzden tasarım ve inşaa aşamaları oldukça uzun ve zahmetli bir süreçte gerçekleştirilebilmiştir.

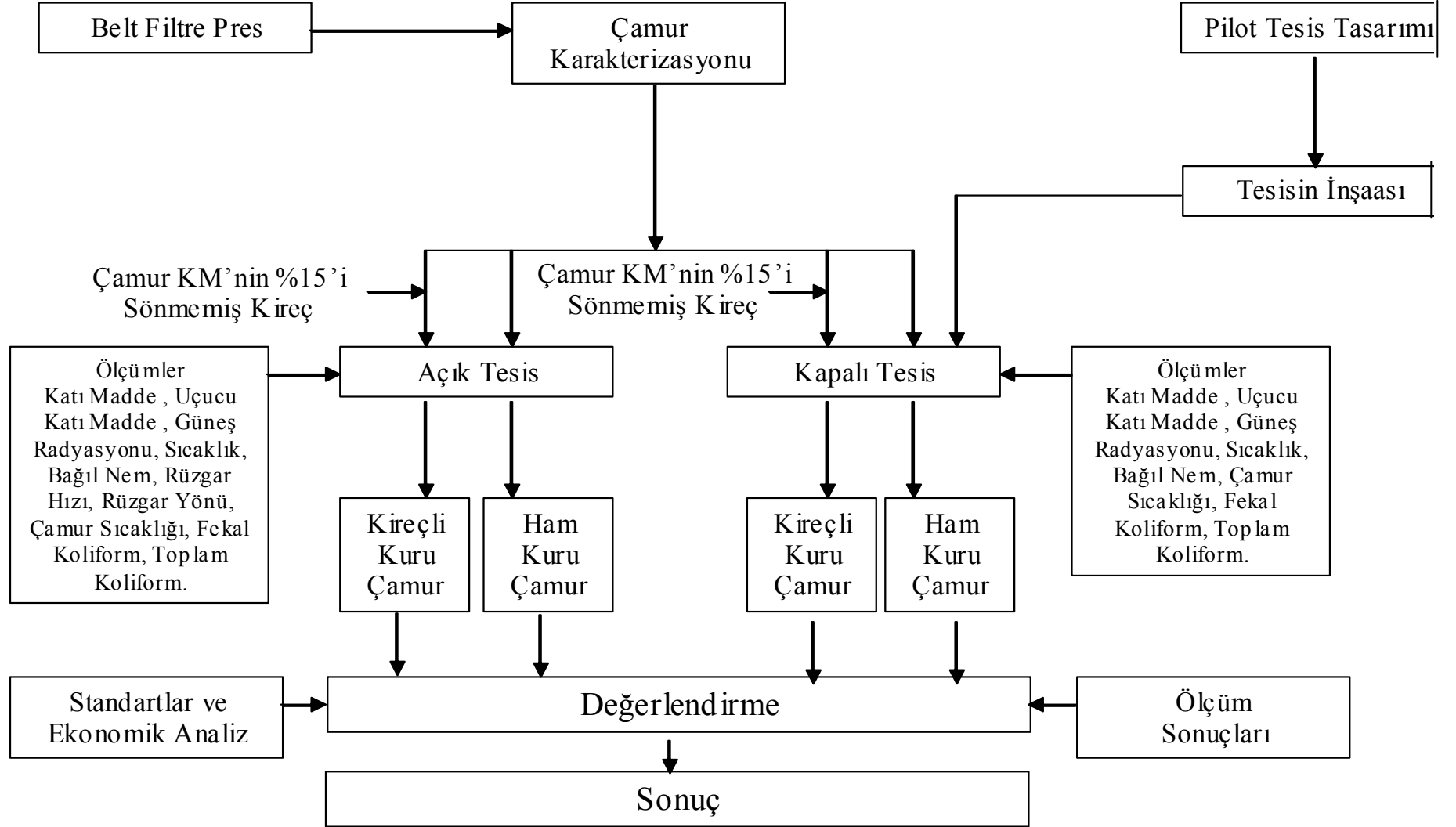
Tesis inşasını takiben BUSKİ tarafından inşaa edilen 5 kademe Bardenpho uyarlaması yeni tesisten çıkacak çamuru en iyi temsil edecek çamur araştırılmıştır. Bunun için benzer esaslarda tasarlanmış İnegöl Atıksu Arıtma Tesisi çamurlarından istifade edilmiştir. Çamur karakterizasyonu için BUSKİ atıksu laboratuvarlarından yararlanılmıştır.

Çamurun pilot tesise serilip kurutulması bir süre gerçekleştirildikten sonra özellikle patojen giderimi ve vektör çekimini engellemek amacıyla sönmemiş kireç ilavesi gündeme alınmıştır. Bunun için Amerikan Çevre Ajansı (USEPA) tarafından belirlenen standartlara dikkate alınmış ve pH 12 değerini 2 saat, pH 11.5 değerini 22 saat sağlayan sönmemiş kireç dozu farklı denemeler sonucu bulunmuştur.

Belt presten alınan %20KM'ye sahip susuzlaştırılmış ve susuzlaştırılıp kireç ilave edilmiş çamurların kuruma süreçleri incelenmiştir. Kurumayı etkileyen ana parametreler

sürekli olarak kaydedilmiştir. Kuruma sırasında özellikle yaz aylarında çamur üzerinde belirli bir tür kurçuk oluşumuna tanık olunmuş ancak bu konuda detaylı inceleme yapılmamıştır, Yine aynı şekilde Temmuz- Ağustos dönemlerinde özellikle kireçlenmemiş çamurda aşırı koku ve kara sinek oluşumu gözlenmiştir. Sistemde çamura sönmemiş kireç ilavesiyle kurumada belirgin bir artış olmasa da koku ve sinek oluşumu hissedilir ölçüde azalmıştır.

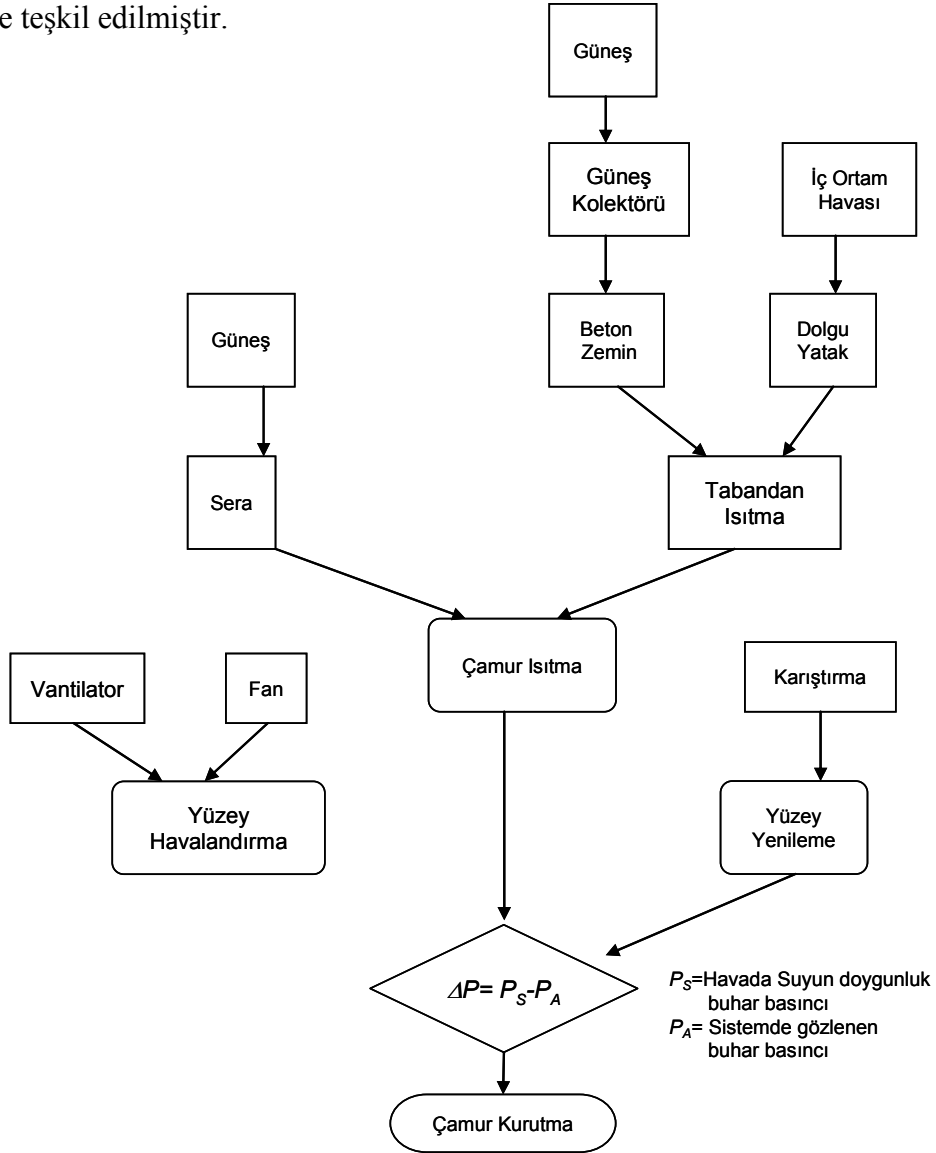
İzleme sürecinde iç ortam, dış ortam parametreleri ve çamurda katı madde, uçucu katı madde, fekal koliform ölçümleri yapılmıştır. Sürekli iç ve dış ortam değerleri otomatik olarak belirli sürelerle veri kaydediciye oradan da bilgisayara aktarılmıştır. Ölçümler ve analizler derlendikten sonra istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bunun için STATISTICA 5.0 ve SIGMA PLOT programları kullanılmıştır. Şekil 3.1' de yapılan çalışmanın kavramsal modeli görülmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma Süreci Kavramsal Modeli

3.1. Pilot Tesis Tasarımı

Çalışma için BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisleri içinde 40°13' N, 29° 04' E koordinatında 2m.x5m. taban genişliğinde oluşturulan kurutma yatağı tünel tip sera yapısında 8 mm. kalınlıkta tek hava bölmeli, %90 ışık geçirimsizliğine sahip şeffaf polikarbonat örtü ile örtülmüştür. Şekil 3.2'de kapalı çamur kurutma yatağı için oluşturulan kavramsal model görülmektedir. Tesis bu kavramsal model yaklaşımına göre teşkil edilmiştir.



Şekil 3.2. Kapalı Çamur Kurutma Yatağı Pilot Tesis Kavramsal Modeli

Yukarıdaki modelde de görüldüğü üzere; çamurun güneş radyasyonu ve güneş kolektöründen gelen sıcak su ile tabandan ısıtılması, çamurun karıştırılması ve yüzeyindeki yoğuşmanın havalandırılarak önlenmesinin amacı doygunluk buhar basıncı ile sistemdeki buhar basıncı arasındaki farkın büyütülmeye çalışılmasından kaynaklanmaktadır. Bu fark belirli bir değerin üzerinde tutulduğu sürece buharlaşma hızının da daha dar bir aralıkta salınım yaparak etkin kurutmanın sağlanacağı düşünülmektedir.

3.2. Pilot Tesis Modelleme ve Benzerlik

Gerçek araçlar ile deney yapmak çok zor ve pahalı hatta bazı durumlarda olanaksız olduğundan, onların yerine laboratuvar şartlarına uygun olan çok daha küçük modelleri yapılarak araştırmalar yapılır. Boyutsuz sayılardan hareketle belirli şartlar yerine getirilerek oluşturulan model ve prototip arasında geometrik ve dinamik benzerliğin sağlanmış olması gerekir. Bu amaçla Umur (1998) tarafından belirtilen yaklaşımlardan yararlanılmıştır.

Geometrik Benzerlik

Bir koordinat sisteminde bütün boyutlar (genişlik, uzunluk ve derinlik) aynı lineer ölçek oranına sahipse model ve prototip geometrik olarak benzer.

Dinamik Benzerlik

Dinamik benzerlikte geometrik benzerlik sağlandıktan sonra kuvvetler (basınç, yerçekimi, atalet ve sürtünme kuvvetleri gibi) arasında da aynı oranın sağlanması amaçlanır. Bunun için Mach, Reynolds, Froude, sürüklenme, Weber sayısı gibi akışı karakterize eden boyutsuz sayıların hem modelde hem de prototipte aynı olması gerekir. Pratikte; deneysel model çalışmaları için akışkan olarak su ve hava kullanıldığından dinamik benzerlikte Froude sayısının eşitliği sağlanarak Reynolds sayısından vazgeçilebilir. Reynold sayılarının eşitliği ele alınacak olursa;

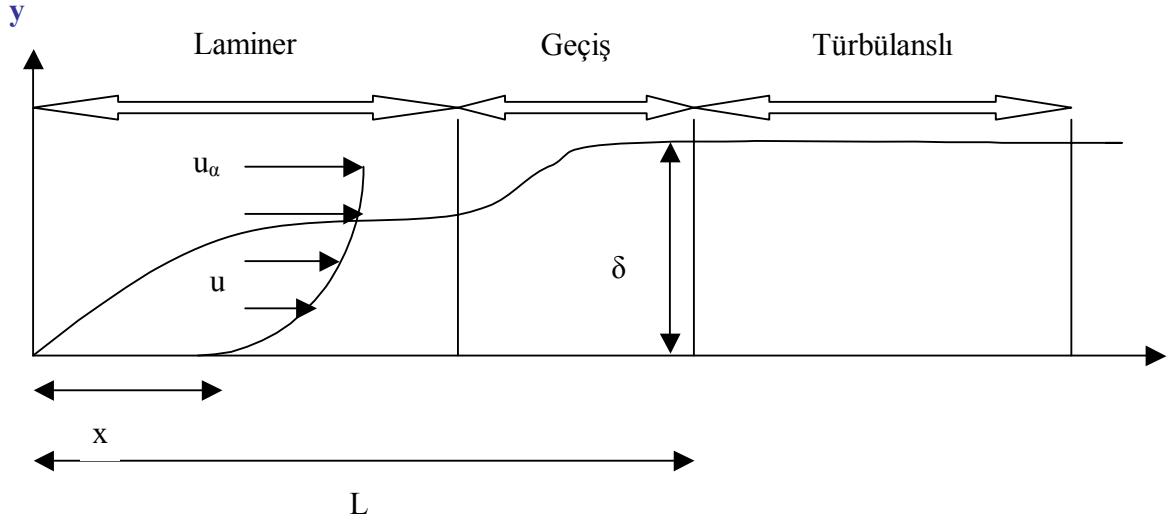
$$Re_{\text{prototip}} = (U_p \cdot L_p) / \nu_p = Re_{\text{model}} = (U_m \cdot L_m) / \nu_m \quad (6)$$

buradan;

$$\nu_m / \nu_p = (U_m \cdot L_m) / (U_p \cdot L_p) \quad (6a)$$

olur.

Tesisin tabanı pürüzlü bir levha yüzey olarak kabul edildiğinde; düz pürüzlü yüzeyler için türbülanslı sınır tabakasının oluştuğu mesafeyi hesaplamak gerekecektir. Şekil 3.3 düz bir levha üzerinde sınır tabaka koşullarının oluştuğu mesafeyi göstermektedir.



Şekil 3.3. Düz Zeminde Laminer, Geçiş ve Türbülanslı Bölgenin Gösterimi

Düz yüzey akışlarında laminer akıştan türbülanslı akışa geçişte kritik Reynolds sayısı $Re_{crit} = 5 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$ 'dır (Schlichting 1987). Düz bir yüzeyde uzunluğa bağlı olarak Re ifade edilecek olursa; $Re_L = (U_L \cdot L_L) / \nu_L$ olur. Burada U_L : akışkanın hızı (m/sn), L : uzunluk (m.), ν : Kinematik viskozite, (m^2/sn) dir. Kapalı kurutma yatağında kullanacağımız akışkan hava olduğundan ν değeri $15,68 \cdot 10^{-6} m^2/sn$ alınır. Düz yüzeyde türbülanslı akıma geçme şartı olarak $Re: 5 \cdot 10^5$ olduğunda; $Re_L = (U_L \cdot L_L) / \nu_L$, $5 \cdot 10^5 = (U_L \cdot L_L) / 15,68 \cdot 10^{-6} m^2/sn$ ve $U_L \cdot L_L = 7,84 m^2/sn$ bulunur. O halde sistem içerisine çamur yüzeyine paralel bir hava akımı verilirse verilen havanın hızına bağlı olarak belirli bir mesafeden sonra türbülanslı akıma geçilen ve üzerindeki değişimlerin hesaplanabileceği türbülanslı akım şartlarına ulaşılmış kabul edilebilir.

$U_L \cdot L_L = 7,84 m^2/sn$ değerinden hareketle;

$U = 1 m/sn$ olduğunda $L = 7,84 m$.,

$U = 2 m/sn$ olduğunda $L = 3,92 m$.,

$U = 3 m/sn$ olduğunda $L = 2,61 m$.,

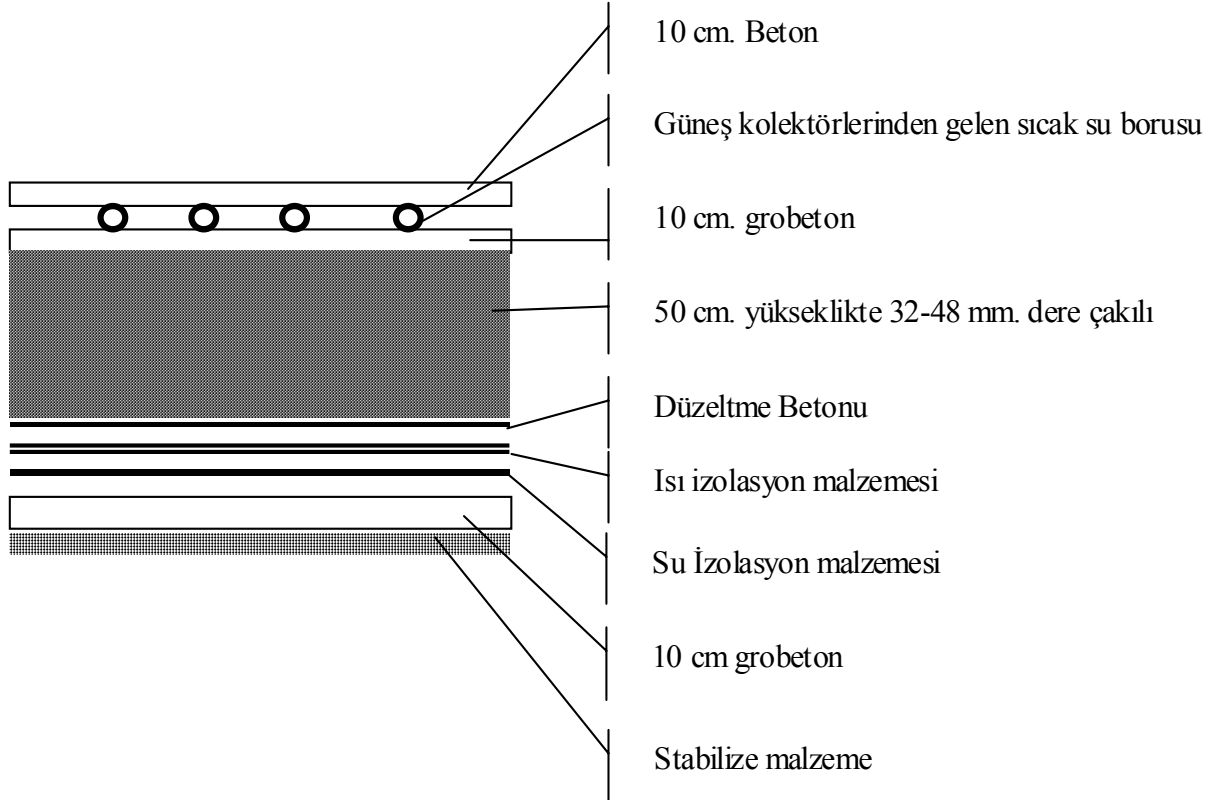
$U = 5 m/sn$ olduğunda $L = 1,568 m$ olacaktır.

Bu tür bir çalışmada; yüksek akım şartları sağlanması durumunda uzunluğu daha kısa bir pilot tesis kurma imkanı doğacaktır. Genel prensip olarak, yüzeye paralel akımla buharlaşmanın meydana geldiği film tabakasında gaz fazı için yüzey yenilenmesi olarak tarif edilebilecek bir yaklaşımla kısmi buhar basıncı düşecek ve buharlaşma hızlanacaktır. Ancak bu tür paralel akım şartlarında kurutmak istediğimiz çamur tabakasının yüzeyinden ancak belirli bir derinliğine kadar etki sağlanabilecektir. Bugüne kadar kapalı çamur kurutma çalışmalarında rastlanan tipik çamur kalınlığı olan 20-30 cm. dir (Bux 2001, Bux ve ark. 2002). Bu kalınlıktaki bir malzemenin tümüne nüfuz edilebilmesi ve buharlaşmanın hızlandırılması amacıyla farklı bir yaklaşımda bulunma gereği ortaya çıkmaktadır. Burada düşünülmesi gerekli bir başka unsur da buharlaşma sonucu oluşan bağıl nem oranı yüksek ve dolayısıyla daha yoğun olan yüzeydeki hava tabakasının tahliyesidir.

Çalışılan tasarımda yüzeye dik ve sıcaklığı yüksek hava ile birlikte çamurun mekanik olarak karıştırılması düşünülmüştür. Burada daha türbülanslı bir ortamın oluşması ve sıcak havanın hacimsel olarak daha geniş bir yüzey alanına etki etmesi sebebiyle buharlaşmanın da daha hızlı gerçekleşmesi beklenebilir. Çamurun viskoz özelliği sebebiyle tam bir karşılıklı hava geçişi sağlanamayacaktır. Özellikle yine yüzeyden başlayan bir kuruma gerçekleşecektir. Neme doymun hava, sıcaklık farkları ve yine sistem içinde sağlanacak fan gücünün etkisiyle tahliye edilecektir.

3.3. Pilot Tesis Bileşenleri

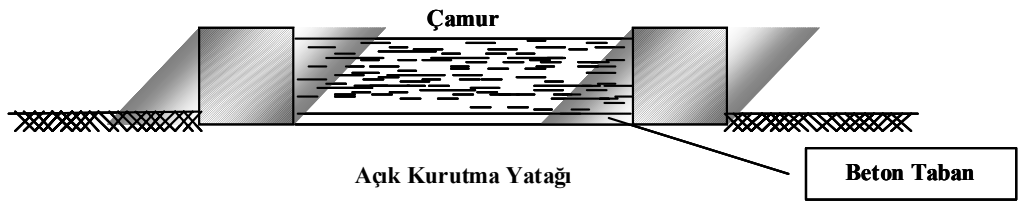
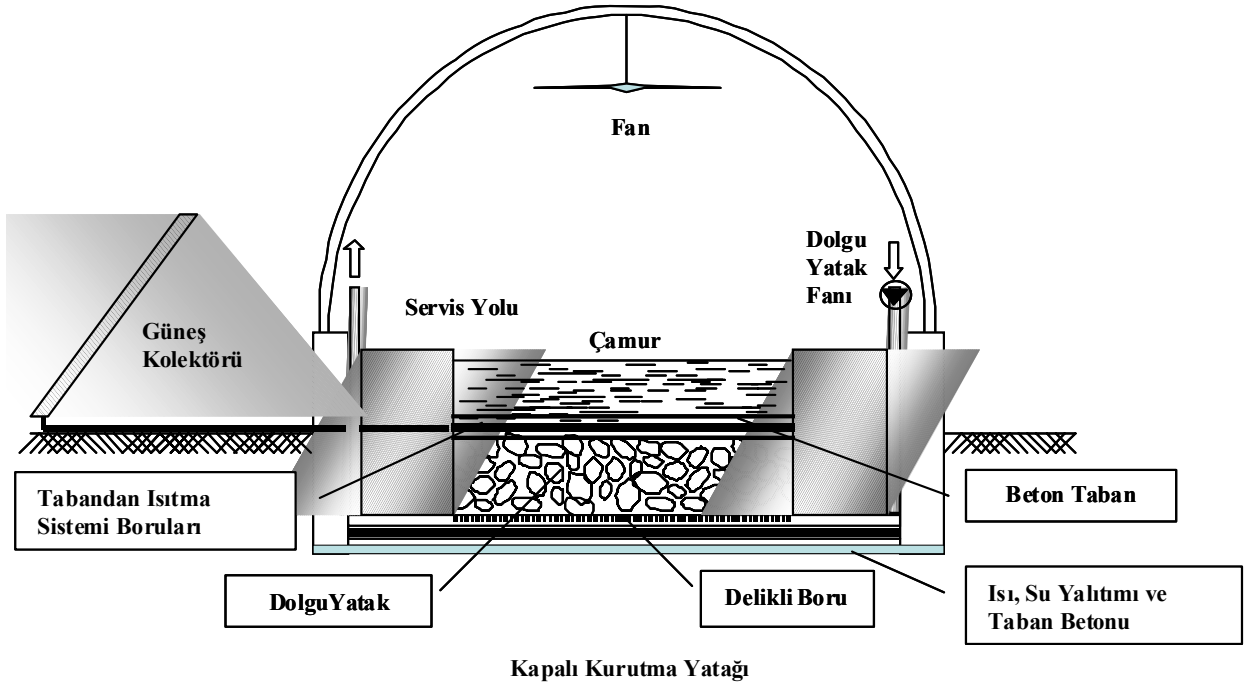
Pilot tesis taban teşkili için zemin iyileştirme amacıyla stabilize malzeme, ısı ve su izolasyonu için uygun malzemeler kullanılmış, dolgu yatağının üstündeki grobetonun yüzeyine güneş kolektöründen gelen sıcak su boruları döşenmiş ve en üst katman olarak ta çamurun konacağı beton yüzey teşkil edilmiştir. Yatak taban teşkili Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Pilot Tesis Taban Teşkili

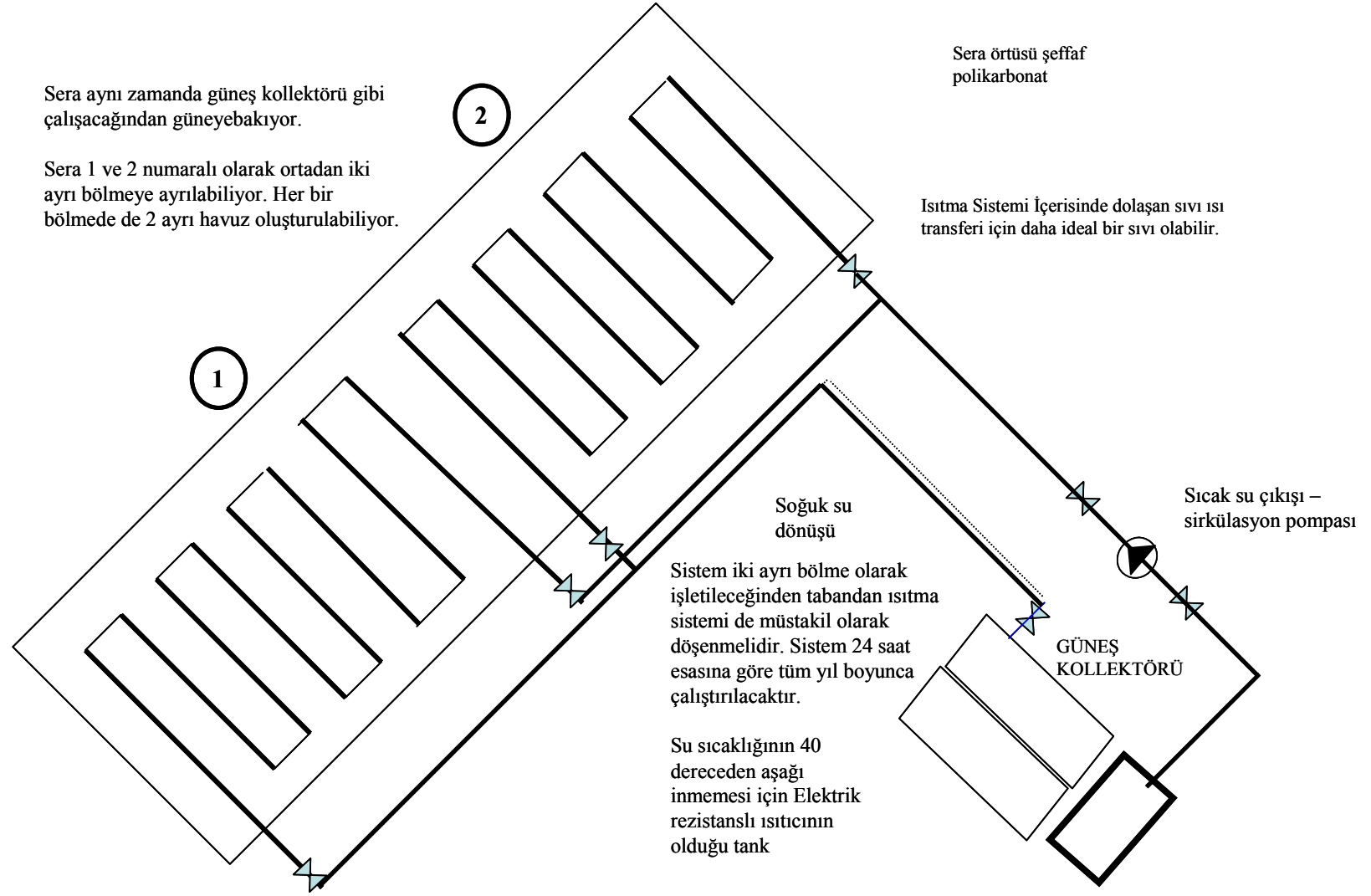
Pilot tesisin çalışma prensibi; kapalı bir kontrol hacmi olarak çalıştırılması ve çamur suyunun buharlaştırma hızının artırılmasına uygun şartların sağlanmasıdır. Bu amaçla pilot tesis içerisinde farklı iç ortam şartlarını sağlamak için 2 müstakil dolgu yatağı oluşturulmuştur. Taban ısıtma sistemi yine bu prensiple ayrı ayrı çalıştırılabilen 2 bölüm olarak teçhiz edilmiştir. Tesis içindeki 4 saç perde ile oluşturulabilen bölmeler sayesinde istenen ortam şartlarında 4 farklı çamurdaki değişim izlenebilmiştir.

Açık ve kapalı olarak inşaa edilen tesisler Şekil 3.5'te görülmektedir. Açık tesiste oluşturulan beton taban dışında hiçbir özel ilave yapılmamış ve çamurun tamamen dış ortam şartlarında klasik bir kaplama yatak sistemiyle kuruması hedeflenmiştir.



Şekil 3.5. Açık ve Kapalı Pilot Tesislerin Görünüşü

Kapalı tesisin en önemli özelliği güneş kolektöründen elde edilen sıcak suyla sıcak bir taban elde edilmesidir. Bu amaçla güneş kolektöründen gelen su kapalı bir sistem içerisinde dolaştırılmaktadır. Şekil 3.6'da tabandan ısıtma sistemi görülmektedir.



Şekil 3.6. Pilot Tesis Tabandan Isıtma Sistemi Şematik Gösterimi

3.4. Çamur Karakterizasyonu

Çalışmalarda kullanılan çamur evsel ve endüstriyel atıksuların birlikte arıtıldığı beş kademe bardenpho yaklaşımıyla tasarlanmış, 64.000 m³/gün atıksu debisine sahip İnegöl Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. Tesiste belt pres sonrası %20 KM içeriğine sahip yaklaşık günlük 30 ton çamur oluşmaktadır. Belt pres çıkışından alınan yaklaşık %20 KM içeriğine sahip çamur, her deneme için tesis boyutları ve 25 cm, serme yüksekliğine göre;

(2m. x 5m. x 0,25 m = 2,5 m³), çamur özgül ağırlığı yaklaşık 1020 kg/m³ alınarak, 2,5 m³ x 1020 kg/m³ = 2550 kg çamur BUSKİ'ye ait kamyonlarla alınarak tesise serilmiştir. Kuruma deneyleri sonunda kalan çamur BUSKİ Anaerobik Stabilizasyon Havuzlarına boşaltılmıştır. Tesise gelen çamur Standart Metotlara (APHA, AWWA, WEF 1998) göre Toplam Katı Madde, Uçucu Katı Madde deneylerine tabi tutulmuş ve pH'ına bakılmıştır. Gelen çamurda Toplam Organik Karbon (TOC) ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen değerler ve standart sapmalar Tablo 3.1'de görülmektedir.

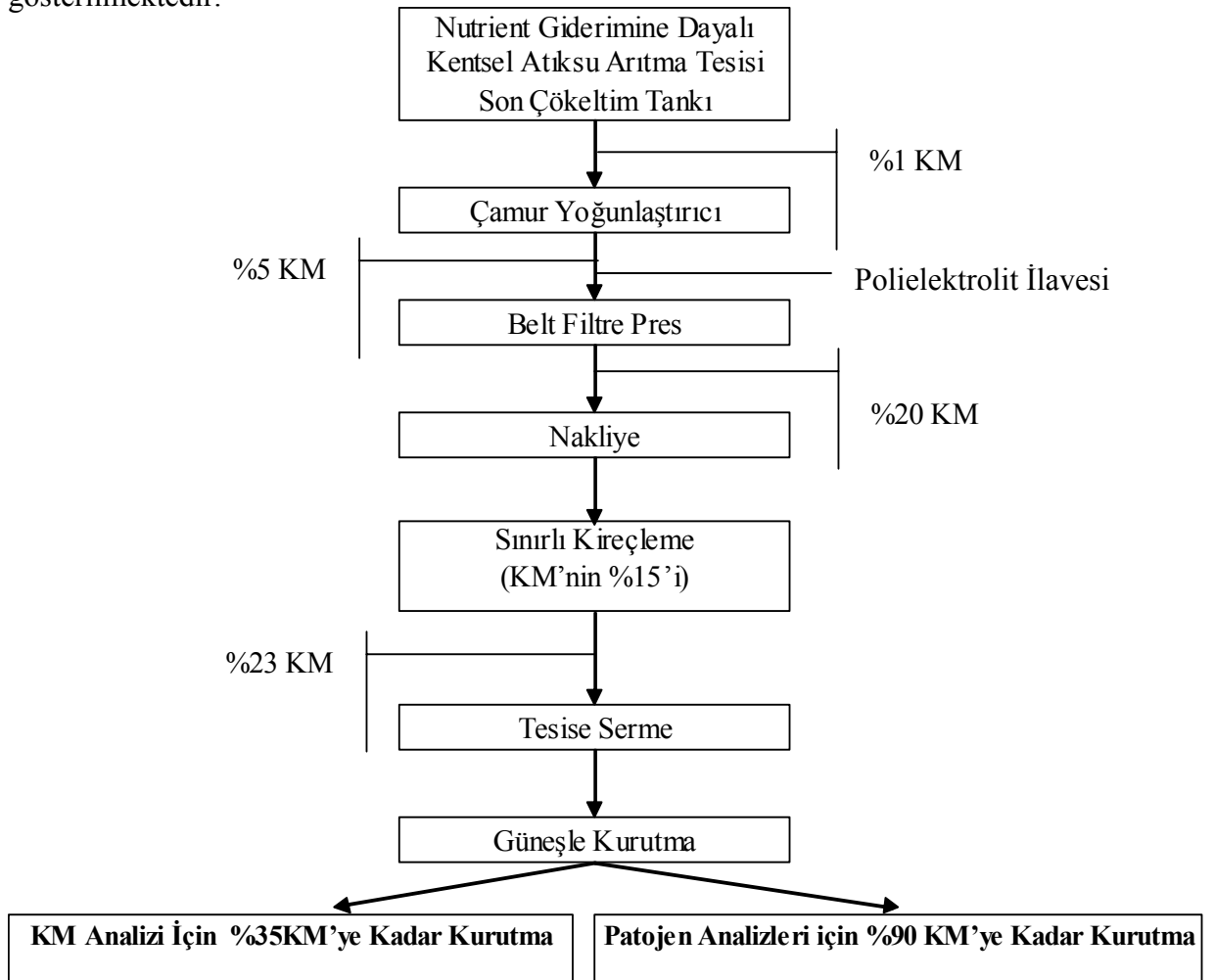
Tablo 3.1. .Kurutulan Atık Çamurun Özellikleri

Parametre	Ortalama ± Standart Sapma
pH	7,6 ± 0,8
Toplam Katı Madde (TKM), %	20,6 ± 1,8
Uçucu Katı Madde (UKM), %	60,4 ± 2,1
Toplam Organik Karbon (*) mg/L	1254,7± 25,1
Toplam Azot, %	5,38 ± 2,13
Toplam Fosfor, %	2,7 ± 0,6
Arsenik (As), mg/kg	44,9 ± 5,7
Kadmium (Cd), mg/kg	1,3 ± 0,4
Krom(Cr), mg/kg	321 ± 15
Bakır (Cu), mg/kg	388 ± 18
Demir(Fe), mg/kg	10375 ± 675
Mangan (Mn), mg/kg	165 ± 8
Nikel (Ni), mg/kg	128 ± 12
Kurşun (Pb), mg/kg	29,2 ± 3,6
Çinko (Zn), mg/kg	541 ± 73

(*) : Eluat üst suyundan alınan, suda çözülmüş kısım.

3.5. Kireç İlavesi ve Kurutma Süreci

Çamur numuneleri başlangıçta yaklaşık %20 KM içerikli olarak tesise 25 cm. yüksekliğinde serilmiş ve kurutma süreci izlenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonunda özellikle patojen mikroorganizma ve vektör (kuş, sinek, kemirgen vb.) çekimi konularında USEPA tarafından ortaya konulan A ve B sınıfı çamur standartlarına daha çabuk ulaşabilmek ve çamurun stabilitesini artırmak amacıyla sönmemiş kireç ilavesine karar verilmiştir. Çamurun tesisten alınıp pilot ve açık tesise serilmesi, ham ve sınırlı kireçleme uygulanması ve kurutma süreci çalışma süreci olarak Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Deneysel Çalışma Süreci

Sönmemiş kireç ilavesinden sonra çamur pH'ındaki değişim 4 gün boyunca izlenmiştir. USEPA tarafından tanımlanan Patojenleri Önemli Ölçüde Azaltan Prosesler

(Processes to Significantly Reduce Pathogens) (USEPA, 2003)'e göre temastan sonra 2 saat $\text{pH} > 12$ ve 22 saat boyunca $\text{pH} > 11.5$ 'i sağlayan kireç dozajı çalışmaları sırasında araştırılmıştır. Çamur katı maddesinin %5, %15, %25 ve %50 oranında sönmemiş kireç katılmıştır. Sıcaklık ve pH değerlerinde meydana gelen değişim üç tekrarlı olarak izlenmiş ve ortalama değerler kaydedilmiştir. Deneyde USEPA tarafından önerilen pH Düzeltme Faktörleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.6. İzleme Süreci ve Yapılan Analizler

Pilot tesisten alınan çamur numunelerine, BUSKİ atıksu laboratuvarlarında Standart Metotlara (APHA, AWWA, WEF 1998) göre toplam KM, uçucu KM ve sabit KM, pH deneyleri yapılmıştır. Analizlerde WTW 320 pH metre, Nuve Kurutma Fırını (FN400), SHIMADZU hassas terazi, TOLKİM 2004 saf su cihazı, LINDBERG / BLUE Yakma Fırını, NUVE FN 500 etüv, ICP-OES Varian Vista MP-X, Shimadzu TOC 5000A kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda haftada 3 kez ölçtüğümüz KM analizleriyle ilgili olarak Standart Metotlarla karşılaştırma yapmak üzere İsviçre menşeli Precisa XM 60 Nem Tayin Cihazı denenecektir. Cihazın en yüksek ölçüm ağırlığı 62g., 30-2300C arası ısıtma imkanı, RS232 bilgisayar bağlantısı bulunmaktadır ve hassasiyeti 0,001 dir. Fekal ve Toplam Koliform analizleri Standart Metotlar kitabında Bölüm 9221'de belirtilen En Muhtemel Sayı (MPN) yöntemine göre haftada 2 kez yapılmıştır. Toplam Koliform için brilliant green bile broth, Fekal Koliform için A-1 broth mikroorganizmaların (MO) besi yeri olarak kullanılmıştır. Fekal Koliform için dozlamamanın yapıldığı tüpler 21 ± 2 saat boyunca 44.5 ± 0.2 0C'lik etüvde, Toplam Koliform için dozlamamanın yapıldığı tüpler 48 ± 3 saat boyunca 35 ± 0.5 0C'lik etüvde bekletilmiştir. Daha sonra üremenin gerçekleştiği tüpler tespit edilerek MPN tablosundan gerekli hesaplamalar yapılmıştır. USEPA A sınıfı çamur kalitesine daha kısa sürede ulaşabilmek amacıyla 0,15 kg / kg KM oranında kullanılan sönmemiş kireç değeri laboratuvar denemeleri sonunda USEPA'nın tariflediği gibi (USEPA 1994, USEPA 2003) en az 2 saat pH'm 12 ve üzeri, 22 saat boyunca da pH 11.5'nin altına inmeyecek şekilde belirlenmiştir. Şekil 3.8'de Analizlerde kullanılan cihazlar görülmektedir.

Parametre	Metot	Cihaz
pH	pH Elektrot	WTW



Toplam Katı Madde (TS)

Gravimetrik (2540 G*)

Nuve Kurutma Fırını
(FN400)



Uçucu Katı Madde (VS)

Gravimetrik
(2540 G*)

LINDBERG / BLUE
Yakma Fırını



Fekal ve Toplam Koliform



Ağır Metaller

Çoklu Tüp Fermentasyonu
(9221 E2*)



Nuve LD 501 Etüv

ICP/Mass
(3125*)

Spectrometry

ICP-OES Varian Vista
MP-X



Toplam Organik Karbon (TOC)

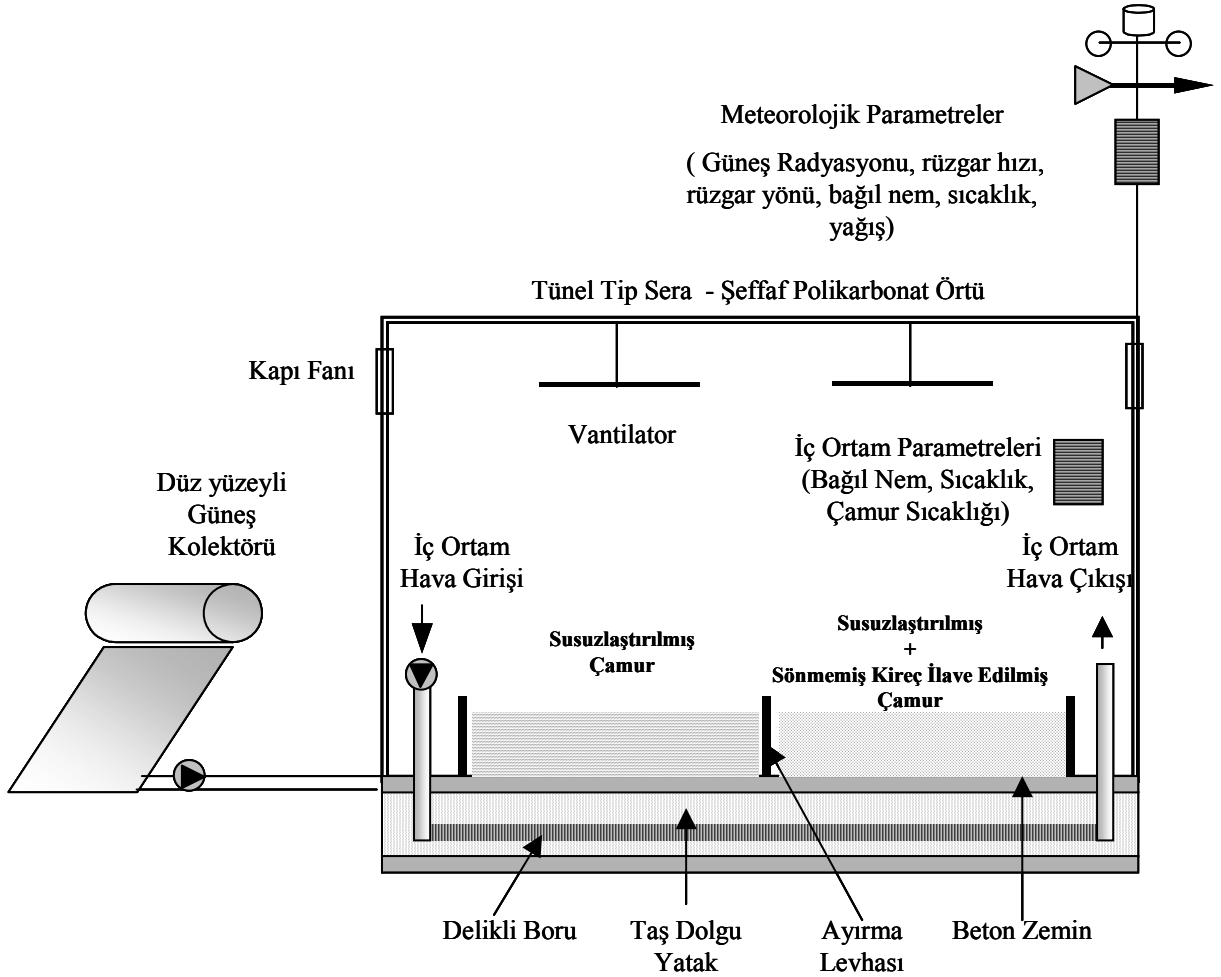
Yüksek Sıcaklıkta Yakma
Yöntemi (5310 B*)

Shimadzu TOC 5000A



Şekil 3.8. Çamur Analizlerinde Kullanılan Cihazlar

Dış ve iç ortam verileri Onset Computer H21-001 HOBO meteoroloji istasyonu ile ölçülerek saatlik ortalamalar olarak veri derleyiciye kaydedilmiştir. Ölçülen parametreler ve ölçüm sensörlerinin hassasiyetleri şöyledir: Dış ortam rüzgar hızı ve yönü ($\pm 0,5$ m/s; < 17 m/s için, $\pm 3\%$; 17-30 m/s için), güneş radyasyonu (10 W/m^2 veya $\pm 5\%$), sıcaklık ($+25^\circ\text{C}$ 'ye kadar $\pm 0,7^\circ\text{C}$), nem (0° dan $+50^\circ\text{C}$ 'ye kadar $\pm 3\%$ RH), yağış yüksekliği (20 mm'ye kadar $\pm 1,0$). Çamur sıcaklıkları ($+25^\circ\text{C}$ 'ye kadar $\pm 0,5^\circ\text{C}$), iç ortam nem (0° dan $+50^\circ\text{C}$ 'ye kadar $\pm 3\%$ RH) ve sıcaklık ($+25^\circ\text{C}$ 'ye kadar $\pm 0,7^\circ\text{C}$) değerleri de Onset Computer H21-002 HOBO Mikro istasyon ile ölçülerek saatlik ortalamalar olarak veri derleyiciye aktarılmıştır. Şekil 3.9'da tesis içi ve dışı ölçümlerle ilgili cihazların yerleşimi verilmektedir.



Şekil 3.9. Tesis İçi ve Dışı Ölçümlerle İlgili Cihazların Yerleşimi

3.7. Değerlendirme S¼reci

Çalışmalar sırasında ve sonrasında dış ve iç ortam hava verilerinin ilişkisi, ortam sıcaklıkları ve çamur sıcaklıkları arasındaki ilişki, kurumayı etkileyen parametreler için korelasyon matrisi, eklenik radyasyon ve çamur katı maddesi arasındaki ilişki, eklenik güneş radyasyonu ve eklenik buharlaşma akısı arasındaki ilişki, açık ve kapalı sistemde patojen giderimi, sönmemiş kireç (CaO) ilavesinin kapalı sistemde patojen giderimine etkisi, elde edilen verilerin kapalı kurutma yatağında çamur kurutma konusunda yapılan model çalışması ile karşılaştırılması, sönmemiş kireç ilavesinin çamur kuruma sürecine etkileri, sönmemiş kireç ilavesinin çamur sıcaklığına etkileri, sönmemiş kireç ilavesinin çamur pH'sına etkileri, sönmemiş kireç ilavesinin çamurun toprağa uygulanabilirliğine etkileri, çamur kurutma ve sera gazı emisyonları, sınırlı kireçlenerek kapalı kurutma yatağında kurutulan çamurun Bursa'da nihai bertaraf imkanlarının araştırılması, çamurların sınırlı kireçleme ve kapalı kurutma yatağında kurutulması sonrası depolanması ile kireç stabilizasyonu sonrası depolanması maliyetlerinin örnek bir çalışmayla karşılaştırılması incelenmiştir.

Yapılan analizler ve ölçümler sonucu elde edilen veriler istatistiksel olarak STATISTICA 5.0 ve Sigma Plot programlarında değerlendirilmiştir. Sonuçlar, tablolar ve grafikler halinde tez çalışması içerisinde kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Çalışmada polikarbon örtü ile örtülmüş 2m.x 5 m. taban genişliğinde, dolgu yataklı iç ve dış hava sirkülasyonuna sahip pilot tesiste gerçekleştirilen farklı dönemlerdeki deneme sonuçları ve bu sonuçların değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Denemeler sırasında özellikle iç, dış hava ve çamur sıcaklığı parametreleri sürekli ölçüm yapıp kaydedebilen özel sensörler ve veri derleyicilerle toplanmıştır. Çamur katı madde, patojen ekimi vb. analizler 3-4 gün aralıklı olarak laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışılan konuda detaylı bilimsel çalışmaların yapılamamış olması bir taraftan araştırılacak konuların nicelik ve niteliğini artırırken diğer taraftan literatür çalışmalarında problemler yaratmıştır.

Bulgular ve tartışma bölümünde;

- Dış ve İç Ortam Hava Verilerinin İlişkisi
- Ortam Sıcaklıkları ve Çamur Sıcaklıkları Arasındaki İlişki
- Kurumayı Etkileyen Parametreler İçin Korelasyon Matrisi
- Eklenik Radyasyon ve Çamur Katı Maddesi Arasındaki İlişki
- Eklenik Güneş Radyasyonu ve Eklenik Buharlaşma Akısı Arasındaki İlişki
- Açık ve Kapalı Sistemde Patojen Giderimi
- Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Kapalı Sistemde Patojen Giderimine Etkisi
- Elde Edilen Verilerin Kapalı Kurutma Yatağında Çamur Kurutma Konusunda Yapılan Model Çalışması İle Karşılaştırılması
- Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur Kuruma Sürecine Etkileri
- Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur Sıcaklığına Etkileri
- Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur pH'sına Etkileri
- Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamurun Toprağa Uygulanabilirliğine Etkileri
- Çamur Kurutma ve Sera Gazı Emisyonları
- Sınırlı Kireçlenerek Kapalı Kurutma Yatağında Kurutulan Çamurun Bursa'da

Nihai Bertaraf İmkânlarının Araştırılması

- Çamurların Sınırlı Kireçleme ve Kapalı Kurutma Yatağında Kurutulması Sonrası Depolanması İle Kireç Stabilizasyonu Sonrası Depolanması Maliyetlerinin Örnek Bir Çalışmayla Karşılaştırılması konuları ele alınmış ve açıklanmaya çalışılmıştır.

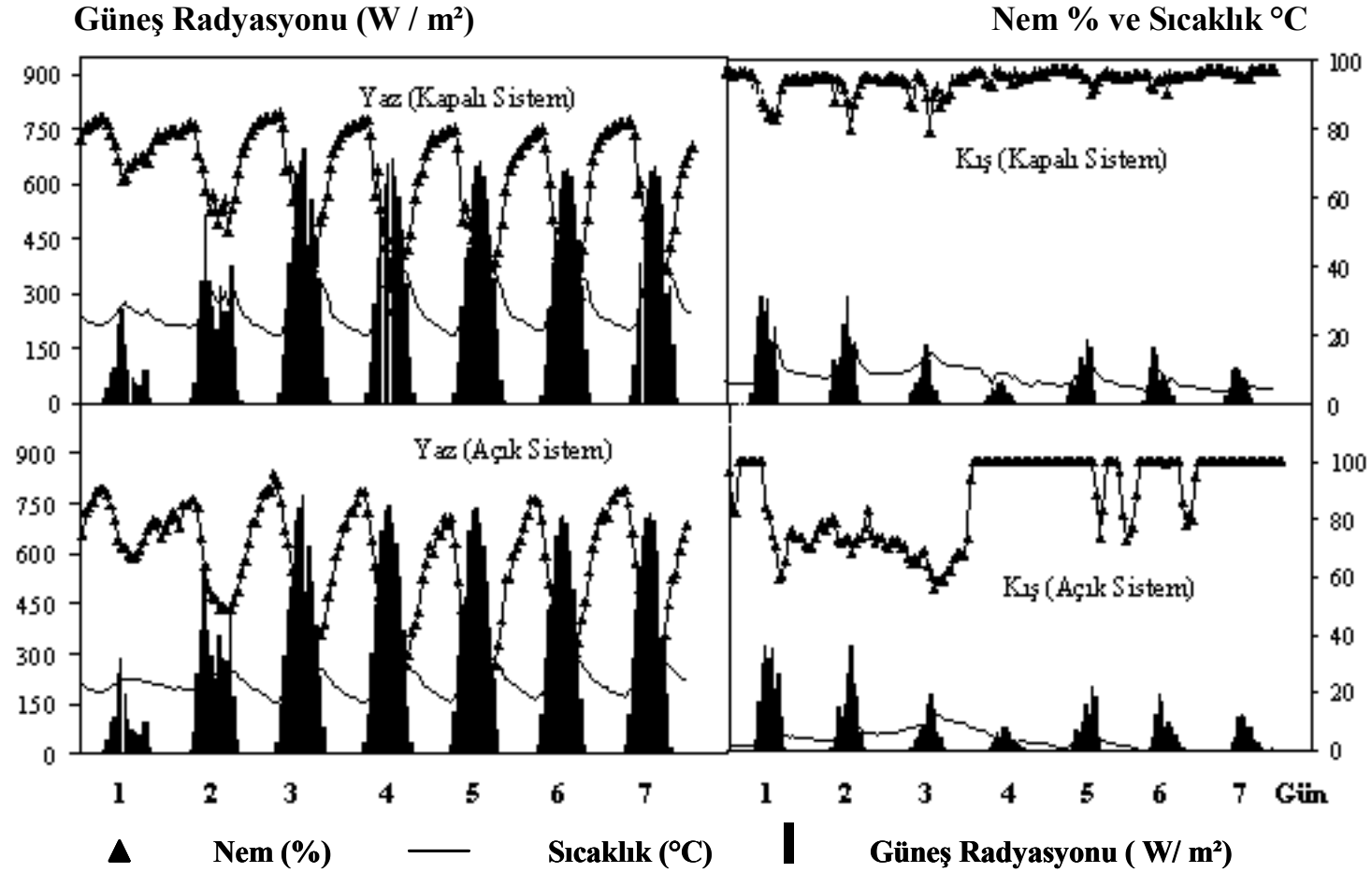
4.2. Dış ve İç Ortam Hava Verilerinin İlişkisi

Doğal ortamda veya kapalı sistemlerde kurutmaya ilgili en önemli veri buharlaşmanın gerçekleşeceği havanın özellikleridir. Bu sebeple iç ve dış ortamda hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, rüzgar hızı, rüzgar yönü ve yağış yüksekliği gibi veriler çalışma boyunca sürekli olarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bunun dışında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DMİ) Bursa'da gerçekleştirdiği uzun süreli ölçümler de dikkate alınmıştır. Tablo 4.1'de Bursa'da uzun yıllar içinde gerçekleşen meteorolojik değerler görülmektedir. (DMİ 2007)

Tablo 4.1.Bursa'da Uzun yıllar İçinde Gerçekleşen Meteorolojik Değerler (1975-2006) (DMİ 2007)

	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
Ortalama Sıcaklık °C	5,5	5,9	8,3	13,0	17,6	22,3	24,6	24,1	20,1	15,3	10,4	7,2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık °C	9,7	10,5	13,6	18,7	23,5	28,3	30,6	30,5	27,0	21,6	15,8	11,3
Ortalama En Düşük Sıcaklık °C	1,7	1,8	3,5	7,2	11,2	15,0	17,3	17,2	13,5	9,9	5,7	3,5
Ortalama Güneşlenme Süresi saat	3,1	3,5	4,3	5,7	8,0	10,0	10,7	9,8	7,9	5,5	4,0	2,8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14,2	12,6	11,8	11,8	8,4	6,0	3,5	4,0	5,4	9,4	11,6	14,3
En Çok Yağış	79,7 kg/m ²	En Hızlı Rüzgar	110,5 km/saat	En Yüksek Sıcaklık	43,8 ⁰ C			En Düşük Sıcaklık	-16,4 ⁰ C			

Yapılan çalışmalar sonunda elde edilen yaz (Ağustos) ve kış (Şubat) dönemlerine ait iç ve dış ortam nem, sıcaklık ve radyasyon değişimleri Şekil 4.1’de verilmektedir. Yapılan istatistiksel çalışmalar sonucu %95 güven aralığı için t Testi sonuçlarına göre kapalı kurutma yatağı iç ortam sıcaklığının kış ve yaz dönemlerinde dış ortam sıcaklıklarına göre yüksek olduğu bulunmuştur. İç ve dış ortam sıcaklıkları arasındaki ilişki yaz dönemi için $R^2=0,92$, kış dönemi için $R^2=0,84$ olarak hesaplanmıştır. Yaz döneminde 07.00-20.00 saatleri arasında ortalama dış ortam sıcaklığı $27,70 \pm 2,07$ °C, ortalama iç ortam sıcaklığı $36,77 \pm 3,13$ °C olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemde 20.00-06.00 saatleri arasında ortalama iç ortam sıcaklığı $26,27 \pm 1,58$ °C, ortalama dış ortam sıcaklığı $22,26 \pm 1,58$ °C’ye düşmüştür. Kış döneminde 07.00-17.00 saatleri arasında ortalama iç ortam sıcaklığı $15,29 \pm 5,48$ °C, ortalama dış ortam sıcaklığı $7,64 \pm 5,46$ °C olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemde 18.00-06.00 saatleri arasında ortalama iç ortam sıcaklığı $10,16 \pm 4,22$ °C, ortalama dış ortam sıcaklığı $6,09 \pm 5,34$ °C’ye düşmüştür. Kontrollü iç ortam şartları dış ortam sıcaklıklarında meydana gelen ani düşmelerden etkilenmemiştir. Kış döneminde $- 4,17$ °C’ye düşen dış ortam sıcaklığında, iç ortam sıcaklığının güneş kolektörü çalışmıyor olmasına rağmen $2,03$ °C’nin altına inmediği Şekil 4.1’de görülmektedir. İç ve dış ortam sıcaklık değerlerinin güneş radyasyonu değerlerinden etkilendiği görülmektedir. Yaz döneminde açık ve kapalı sistemlerde artan sıcaklıkla birlikte bağıl nem değeri düşmektedir. Bu iki parametre arasındaki ilişki bu dönemde kuvvetlidir. ($R^2= 0,92$) Kış döneminde iç ortam sıcaklığı ve bağıl nem arasındaki ilişki ($R^2= 0,61$), dış ortamda ($R^2= 0,68$) olmaktadır.



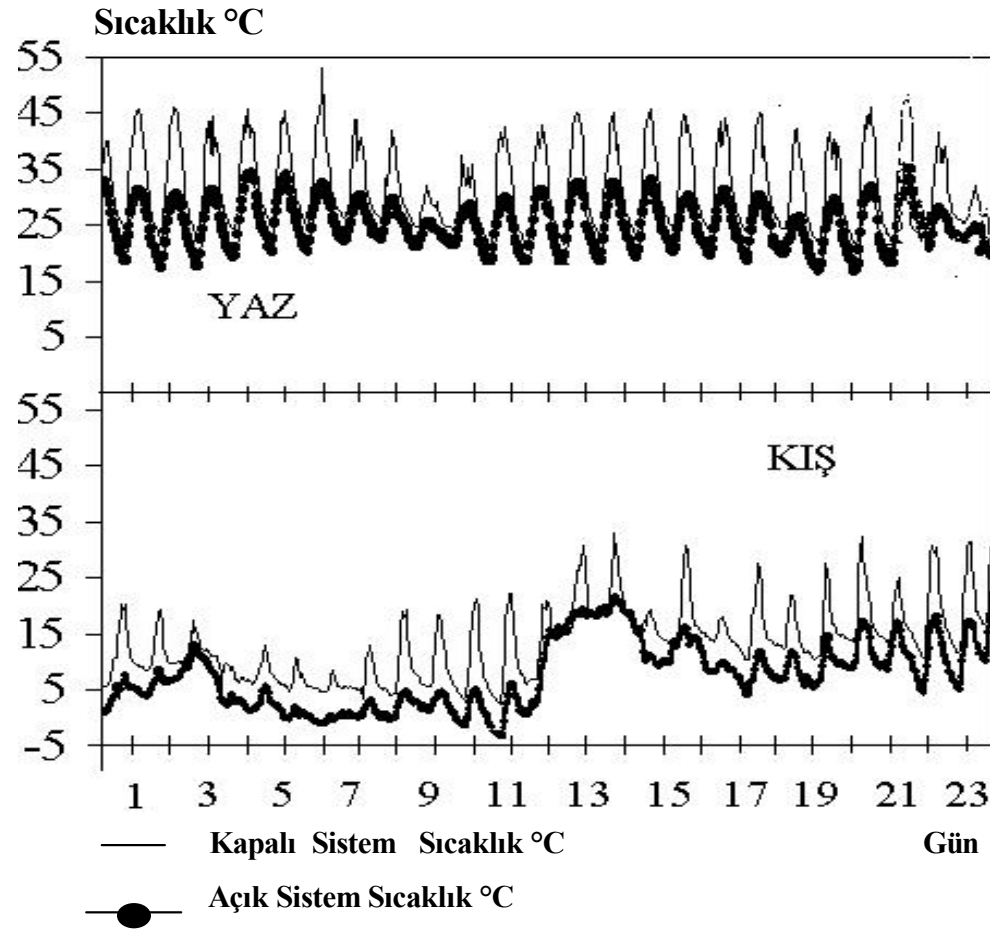
Şekil 4.1. İç ve Dış Ortam Nem, Sıcaklık Ve Radyasyon Değişimleri

Kapalı kurutma yatağının bağıl nem değeri t Testine göre %95 güven aralığında dış ortama göre hem yaz hem kış döneminde daha yüksek bulunmuştur. Yaz döneminde gündüz saatlerinde ortalama bağıl nem değeri iç ortamda %61,05±8,91, dış ortamda %51,95±11,67 olarak gerçekleşmiştir. Dış ortamda nem değerinin rüzgarla düştüğü saptanmıştır. Buradan, sistemde oluşan su buharının mevcut fanlarla tahliye edilemediği sonucuna varılmış, otomatik kontrol sistemiyle birlikte daha güçlü salyangoz tip fanlar kullanılmaya başlanmıştır.

Dış ortamda yapılan rüzgar yönü ölçümlerinde yaz döneminde hakim rüzgar Kuzey-Kuzey-Doğu (K-K-D), kış döneminde Doğu (D) olarak bulunmuştur. Ölçülen ortalama rüzgar hızı değerleri yaz döneminde 1,38±0,92 m/s, kış döneminde 2,34±2,27 m/s'dir. Yaz döneminde 20.00-06.00 saatleri arasında iç ve dış ortam ortalama nem değerleri sırasıyla %84,56±2,63 ve %76,23±5,28 olarak gerçekleşmiştir. Önemli etkenlerden biri olan ortalama güneş radyasyonu yaz döneminde 375,69±25,8 W/m², kış döneminde 85,94±9,2 W/m² olarak tespit edilmiştir. Güneş radyasyonundaki azalmaya bağlı olarak buharlaşma hızında da bir azalma tespit edilmiştir. Yaz döneminde iç ortam sıcaklığı ve radyasyon arasında (R²=0,84) gibi yüksek bir ilişki bulunurken, açık ortam sıcaklık ve radyasyon değerleri arasında bu ilişki daha düşük (R²=0,67) tespit edilmiştir. Bu değerler kapalı sistemin güneş radyasyonundan daha fazla yararlandığını göstermektedir. Bu durum kış döneminde kapalı sistem için hesaplanan R²= 0,65, ve açık sistem için hesaplanan R²= 0,26 ile de belirlenmiştir.

İç ortam çamur sıcaklığı yaz döneminde t Testi %95 güven aralığına göre iç ortam sıcaklığından daha yüksek bulunmuştur. Yaz döneminde açık sistemde dış ortam çamur sıcaklığı dış ortam sıcaklığından yüksek, kış döneminde ise eşit bulunmuştur. Yaz döneminde iç ortam ortalama çamur sıcaklığı 34,9±2,39 °C, dış ortam ortalama çamur sıcaklığı 27,99±3,17 °C ölçülmüştür. Kış döneminde ise bu değer iç ortam çamuru için 28,99±6,08 °C, dış ortam çamuru için 7,85±4,49 °C olarak tespit edilmiştir. Yaz ve kış dönemi iç ve dış ortam sıcaklık ölçümleri Şekil 4.2'de görülmektedir.

Dış ortamda kurutulmaya çalışılan çamurlar yağışlı dönemlerden etkilenmişlerdir. Kış döneminde m²'ye 209mm, yaz döneminde 14mm. yağış düşmüştür. Yaz döneminde açık ve kapalı sistemde birbirine çok yakın kuruma değerleri elde ediliyor gözükmeye rağmen çamurun yağış alma ihtimali her zaman mevcuttur.



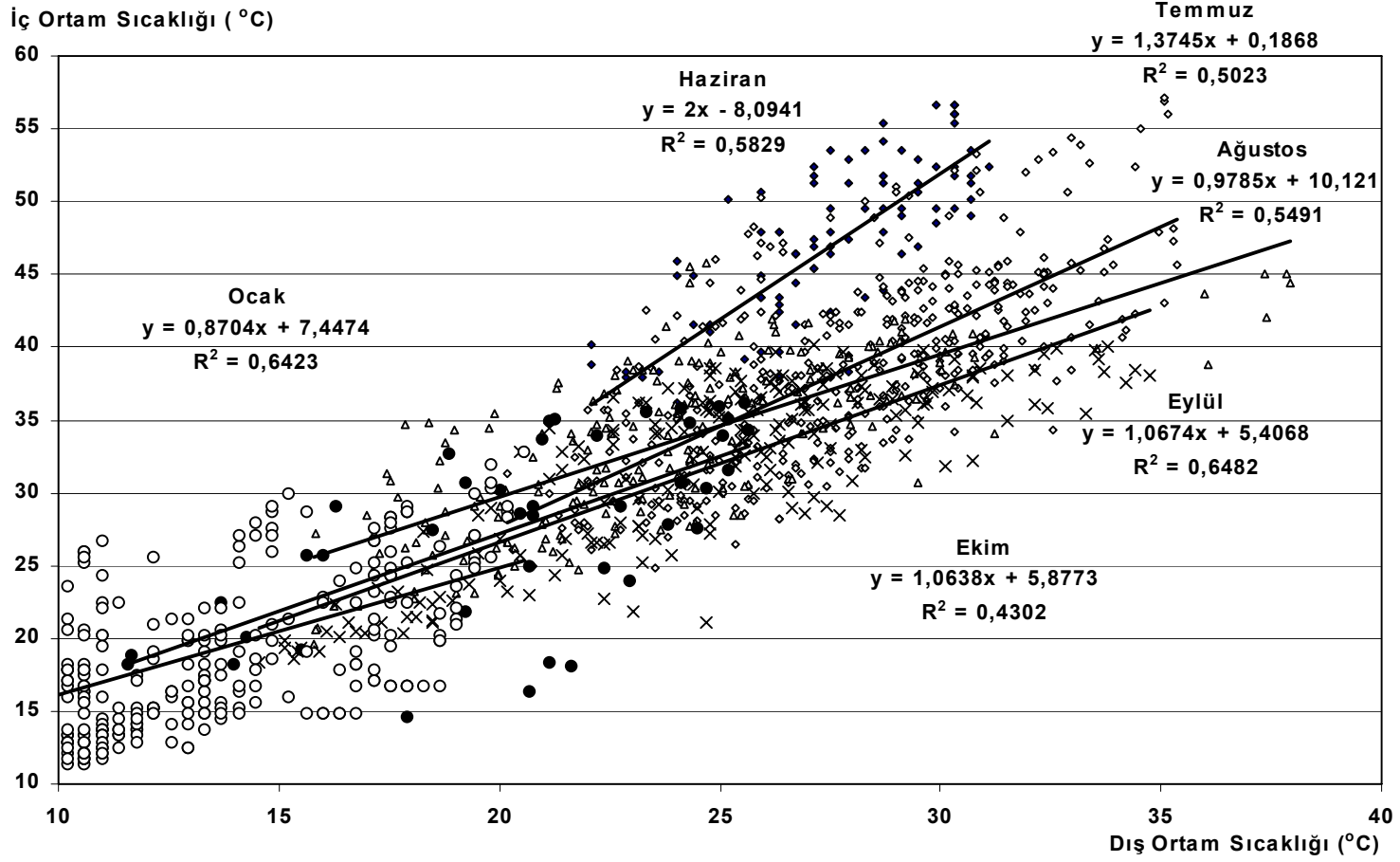
Şekil 4.2. Yaz Ve Kış Dönemi İç ve Dış Ortam Sıcaklık Ölçümleri

Gündüz saatlerinde (mevsimlere göre güneşlenme süreleri dikkate alınarak belirlenen gündüz saatleri için) dış ortam sıcaklığı ve oluşturulan pilot tesis iç sıcaklığı arasındaki ilişki Şekil 4.3'te görülmektedir.

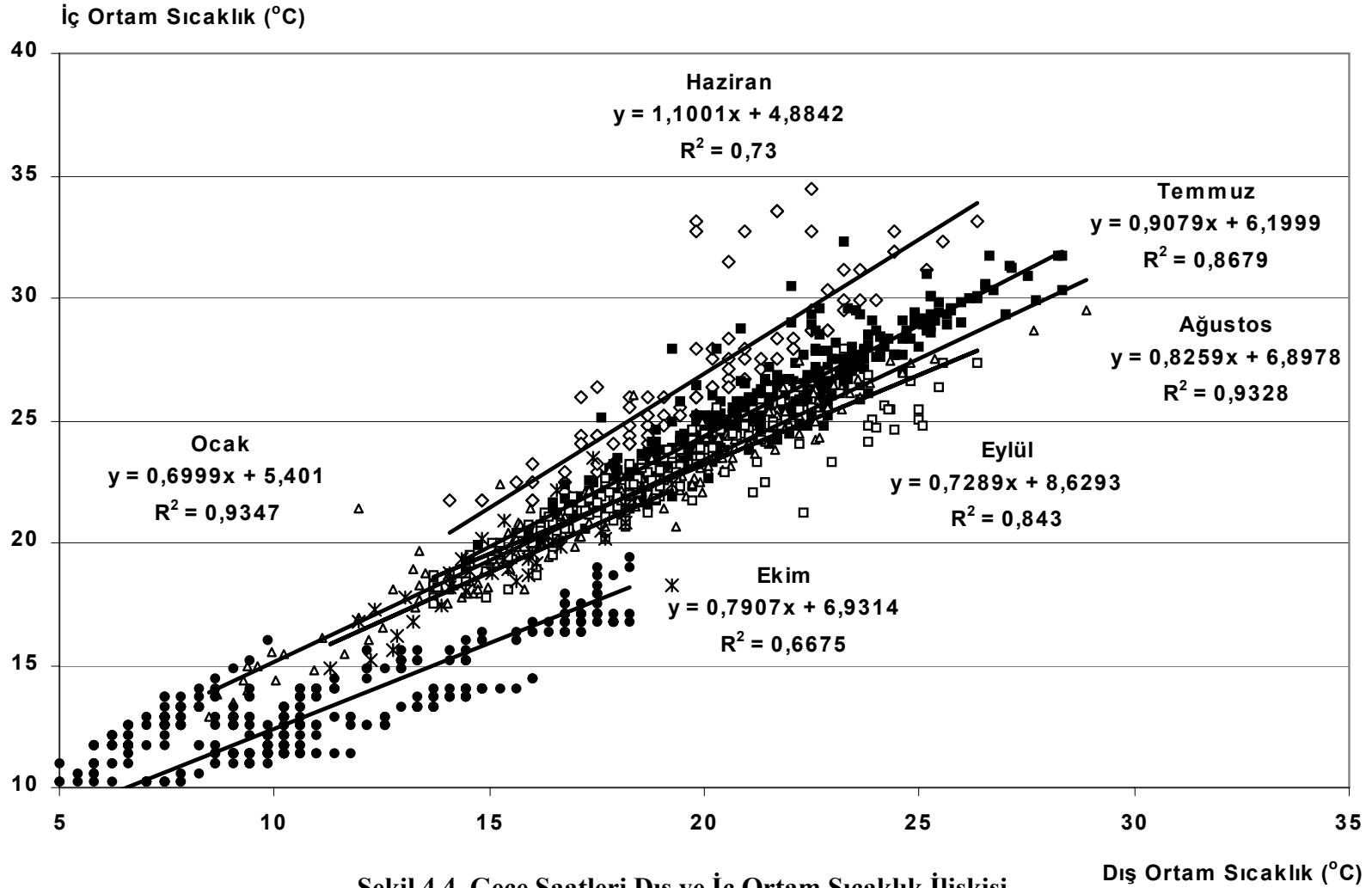
Şekil 4.3'ten de görüleceği üzere farklı dönemlerde dış ve iç ortam sıcaklıkları arasında kararlı ve iyi derecede bir ilişki görülmektedir. STATISTICA 5.0 1580 veri ile yapılan korelasyon matrisi sonucunda tüm sonuçlara göre $p < 0,05$ için $R^2 : 0,88$ değerine ulaşılmaktadır. Bu da oldukça yüksek bir ilişki olduğunu göstermektedir. Gündüz saatlerinde iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığına göre 4 farklı mevsim için yapılan çalışmalar sonucu yıllık ortalama $8,75 \pm 5,17$ °C'lik bir fark oluşturduğu hesaplanmıştır. Bu fark özellikle yaz aylarında artmakta, kış aylarında ise nispeten azalmaktadır. Sonuçta oluşan bu fark sebebiyle iç ortam havasının yıl boyunca su molekülleri için kritik değer olan $+4$ °C'nin üzerinde olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.4'te ise gece saatlerinde (güneş radyasyonunun ölçülmeyecek değere indiği saatler) dış ortam sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir. Gece saatlerinde iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığına göre yıllık ortalama $4,02 \pm 1,82$ °C'lik bir fark oluşturduğu hesaplanmıştır. STATISTICA 5.0 ile 1559 veri ile yapılan korelasyon matrisi sonucunda $p < 0,05$ için $R^2 : 0,95$ değerine ulaşılmaktadır. Hem Şekil 4.4'ten hem de korelasyon matrisi sonucundan görüleceği üzere gece iç ve dış sıcaklık ilişkisi gündüz saatlerindeki ilişkiden daha yüksektir. Bu durum dış ortam havasını kullanan pilot tesiste özellikle güneş radyasyonuna bağlı olarak iç ortam havası ile dış ortam havasının ısınması arasındaki faz farkının ortadan kalkmasına bağlanabilir.

Ayrıca başka bir denemede pilot tesiste dolgu yatak ikiye ayrılmış, bir bölümüne iç ortam havası gönderilmemiş diğerine 24 saat boyunca iç ortam havası fanlarla verilmiştir. Sıcaklık ölçümleri dolgu yatağa giden borular içerisinde yapılmıştır. İç ortam havası verilmeyen dolgu yatağa giden boruda sıcaklık $29,69 \pm 1,25$ °C iken iç ortam havasının verildiği dolgu yatağa giden borudaki sıcaklık $34,30 \pm 4,28$ °C olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3. Gündüz Saatleri Dış ve İç Ortam Sıcaklık İlişkisi

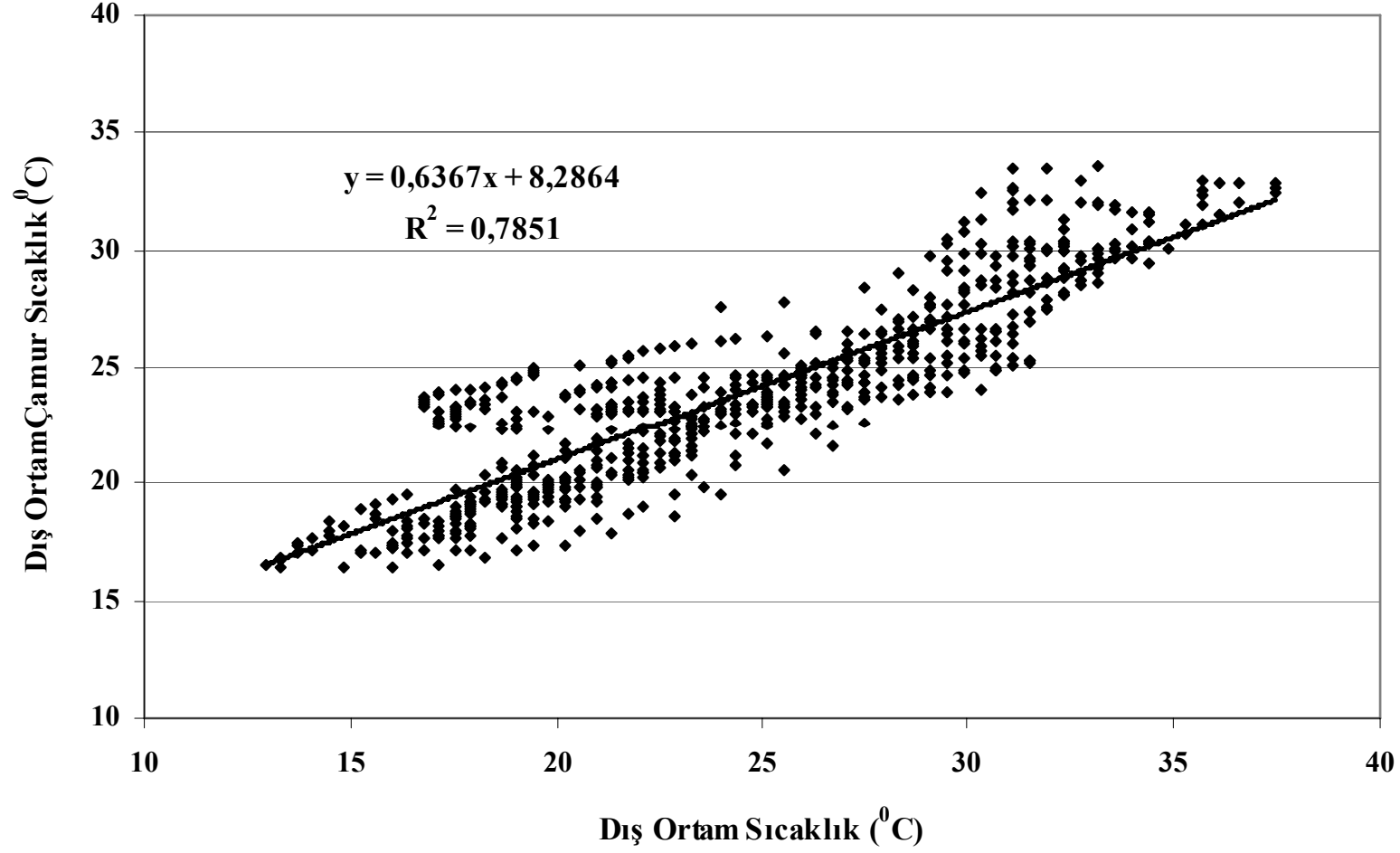


Şekil 4.4. Gece Saatleri Dış ve İç Ortam Sıcaklık İlişkisi

4.3. Ortam Sıcaklıkları ve Çamur Sıcaklıkları Arasındaki İlişki

4.3.1. Yaz Dönemi Dış Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki

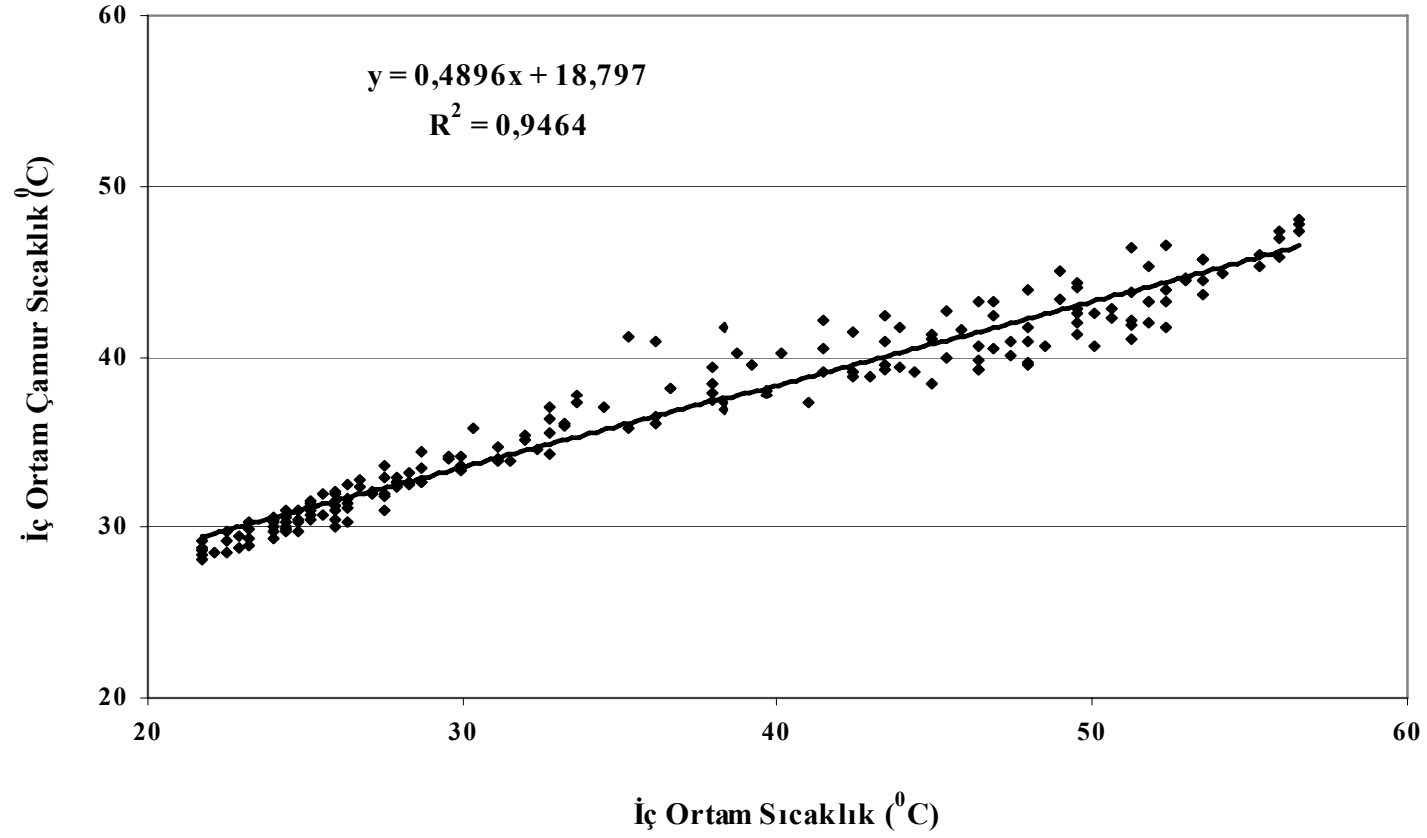
İç ve dış ortam sıcaklıklarındaki değişim konveksiyonla ısı transferi sebebiyle çamur sıcaklığını etkilemektedir. Haziran –Temmuz döneminde yaptığımız ölçümlerde, iç ortam ve dış ortam arasında gece 20:00 – 07:00 saatleri arasında $17,97 \pm 5,32$ °C, gündüz 07:00- 20:00 saatleri arasında $6,27 \pm 0,71$ °C sıcaklık farkı oluşmaktadır. Bu dönemde dış ortam sıcaklığı ile dış ortam çamur sıcaklığı arasında $-0,57 \pm 2,75$ °C fark oluşmaktadır. Dış ortam sıcaklığıyla dış ortam çamur sıcaklığı arasındaki ilişki ($R^2=0,7851$) yüksek bulunmuştur. Dış ortam şartlarındaki değişimden dolayı meydana gelen ısı transferindeki faz kayması dolayısıyla ilişki düzeyi bu değerlerde hesaplanmıştır. Dış ortam sıcaklığı ve dış ortam çamur sıcaklığı arasındaki ilişki Şekil 4.5'te görülmektedir. Şekilde dış ortam hava sıcaklığının dış ortam çamur sıcaklığını yaz döneminde lineer bir ilişki oluşturacak biçimde etkilediği belirlenmiştir. Ancak bu ilişki yaz dönemindeki kararlı sıcaklık değerlerine bağlı olarak açıklanabilir. Yaz döneminde belirli aralıklarla meydana gelecek hava sıcaklığındaki düşmelerin bu lineer ilişkiyi etkileyeceği düşünülmektedir.



Şekil 4.5. Yaz Dönemi Dış Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki

4.3.2. Yaz Dönemi İç Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki

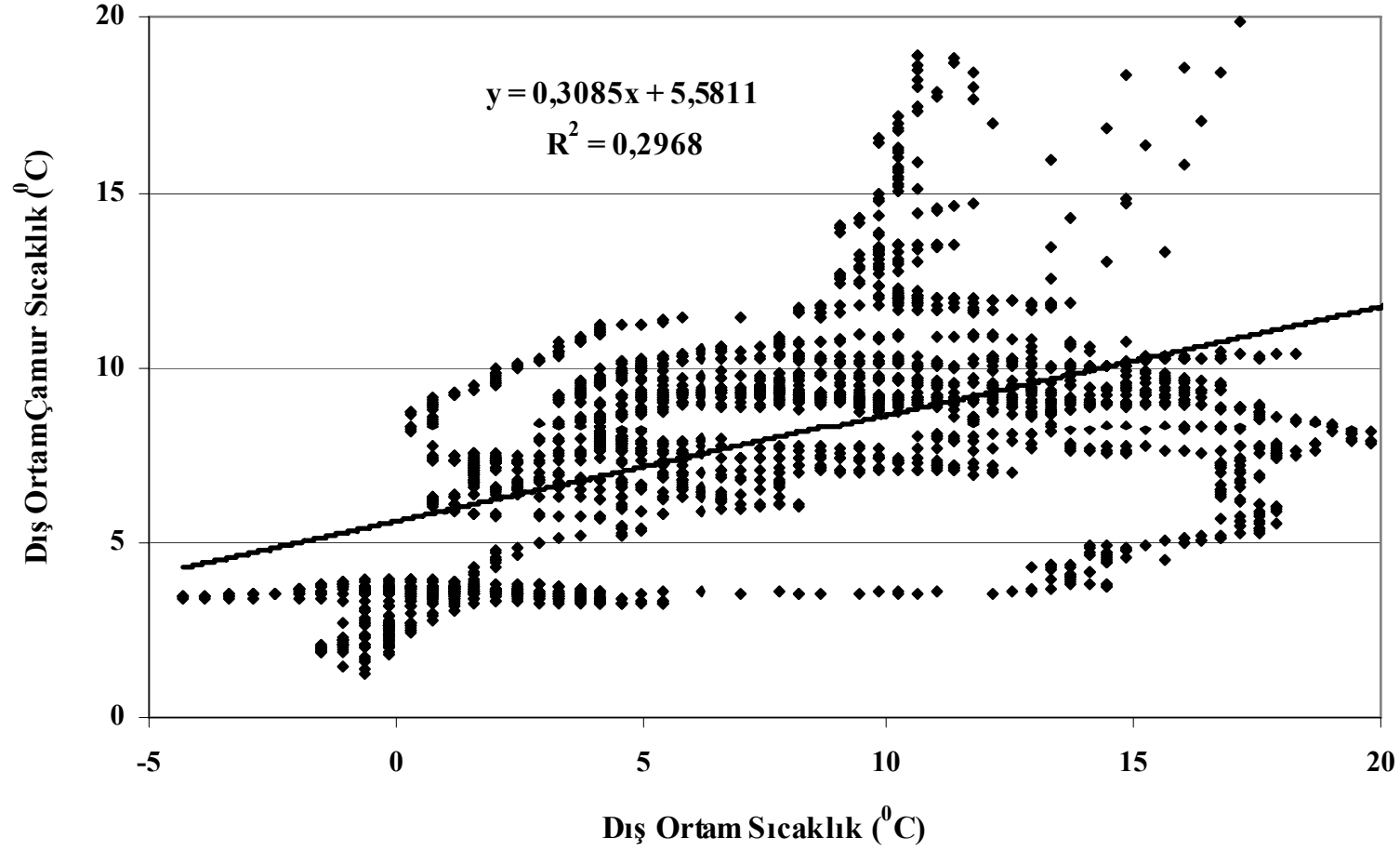
Yine yaz döneminde iç ortam sıcaklığı ve iç ortam çamur sıcaklığı arasında yapılan çalışmada $R^2= 0,9464$ değerinde bulunmuştur. Bu değer iç ortam sıcaklığı ile iç ortam çamur sıcaklığı arasındaki ilişkinin dış ortam için bulunan değerden daha yüksek olduğunu göstermektedir. İç ortamda oluşturulan kararlı ortam şartları ile çamurun kazandığı ısıyı koruması sebebiyle bu yüksek ilişkinin bulunduğu düşünülmektedir. Şekil 4.6'da iç ortam sıcaklığı ile iç ortam çamur sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir. İç ortam çamur sıcaklığı ve iç ortam sıcaklığı arasında $5,77 \pm 0,05$ °C'lik bir fark bulunmuştur.



Şekil 4.6. Yaz Dönemi İç Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki

4.3.3. Kış Dönemi Dış Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki

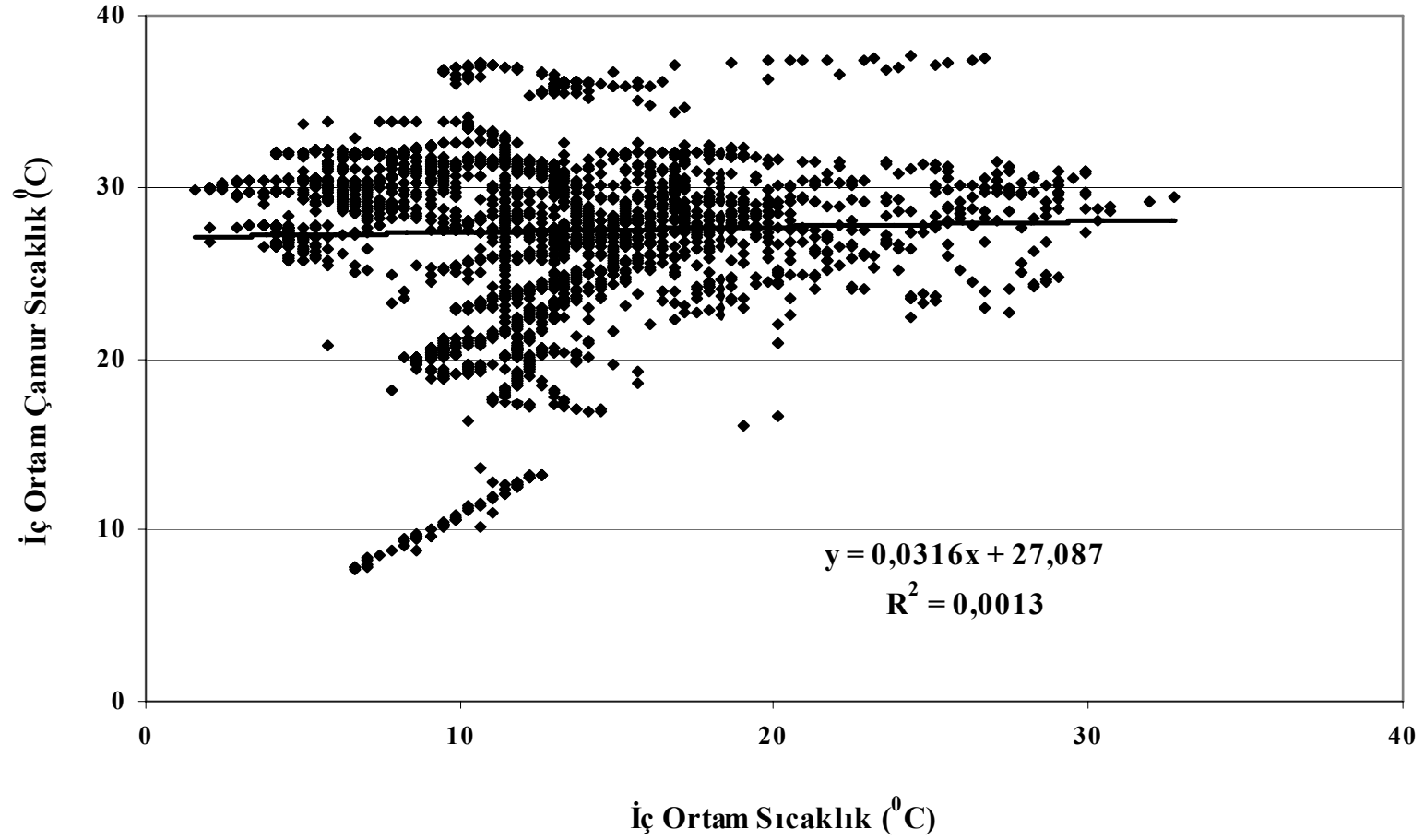
Kış döneminde yapılan ölçümlerde elde edilen veriler yukarıdaki ilişkiden tamamen farklı değerler ortaya koymuştur. Kış döneminde dış ortam çamur sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasında $0,60 \pm 4,41$ °C'lik bir fark oluşmuştur. Ancak iki değer arasındaki ilişki $R^2= 0,2968$ gibi düşük bir değer olarak bulunmuştur. Şekil 4.7 kış döneminde dış ortam sıcaklığı ile dış ortam çamur sıcaklığı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 4.7. Kış Dönemi Dış Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki

4.3.4. Kış Dönemi İç Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki

Kış döneminde iç ortam sıcaklığı ile iç ortam çamur sıcaklığı arasında kurulan ilişki ($R^2= 0,013$) bulunamamıştır. İç ortam çamur sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı arasında $15,03 \pm 7,17$ °C'lik bir fark oluşmuştur. İlişkinin olmaması iç ortamda nispeten kararlı çamur sıcaklığının iç ortam sıcaklığındaki düşmelere ve yükselmelere belirli bir süreçte ve doğrusal olmayan bir şekilde tepki vermesi olarak açıklanabilir. Şekil 4.8 kış döneminde iç ortam sıcaklığı ile iç ortam çamur sıcaklığı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 4.8. Kış Dönemi İç Ortam Sıcaklığı ve Çamur Sıcaklığı Arasındaki İlişki

4.4. Kurumayı Etkileyen Parametreler İçin Korelasyon Matrisi

Kurumayı etkileyen parametreler daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınarak incelenmiş ve aralarındaki ilişkinin düzeyinin ortaya konulması için STATISTICA 5.0 programındaki korelasyon matrisi sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir. Bu tabloda işaretlenen değerlere bakıldığında özellikle güneş radyasyonu ve nem arasında yüksek bir ilişki olduğu görülmektedir. Total ve fekal koliform mikroorganizmaların giderim miktarları arasında da yüksek bir ilişki görülmektedir. Bu durum çalışmada kullanılan çamur içerisindeki Toplam Koliformun büyük kısmının Fekal Koliform grubu tarafından oluşturulduğu şeklinde yorumlanabilir.

Güneşle çamur kurutma ile ilgili olarak Seginer ve Bux (2006) atıksu çamurlarının güneşle kurutulmalarıyla ilgili olarak buharlaşmada güneş radyasyonu, hava sıcaklığı ve havalandırma hızının en önemli kestirim parametreleri olduklarını ifade etmişlerdir. Çalışmada sabit ve düşük hızlı vantilatör ($30 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) kullanılmış ve iç ortamda hava sirkülasyonu bir değişken olarak incelenmemiştir. Tablo 4.2’de güneş radyasyonu ve TC_{DQ} , FC_{DQ} arasında bir ilişki varmış gibi görünse de radyasyonun TC_{D} , FC_{D} arasındaki ilişkinin düşük olması bu durumun ilave edilen kireçten kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Aynı şekilde sönmemiş kireç ilave edilmiş çamurun nem değeri ile TC_{DQ} , FC_{DQ} bir ilişki olduğu düşünülse de Şekil 4.18 de de görüleceği üzere kireç ilavesinin kuruma hızına etkisinin çok düşük değerde olmasından dolayı bu giderimin de pH değişimine bağlı olduğu düşünülebilir. pH ile mikroorganizma giderimi arasında lineer bir ilişki olmamasının sebebinin pH’ın hızla yükselmesinin ardından belirli bir aralıkta seyretmesine karşılık (pH 9-12) alkali ortamda Toplam Koliform ve Fekal Koliform konsantrasyonlarının düşmeye devam etmesi olarak düşünülebilir.

Tablo 4.2. Kurumayı Etkileyen Parametreler İçin Korelasyon Matrisi

	pH _D	pH _{DQ}	M _D	M _{DQ}	SR	T _D	T _{DQ}	TC _D	TC _{DQ}	FC _D	FC _{DQ}
pH _D	1	0.7173 p=0.000	0.4685 p=0.021	0.3626 p=0.082	- 0.4459 p=0.029	0.5508 p=0.005	0,3251 p=0.121	0,5224 p=0.009	0,1690 p=0.430	0,5588 p=0.005	0,1175 p=0.585
pH _{DQ}		1	0.3982 p=0.054	0.2884 p= 0.172	- 0.3493 p=0.094	0.2328 p=0.274	0.2121 p=0.320	0.3764 p=0.070	0.2200 p=0.300	0.3622 p=0.082	- 0.1898 p=0.374
M _D			1	0.9853 p=0.000	- 0.9744 p=0.000	- 0.1394 p=0.516	- 0.4618 p=0.023	0.2469 p=0.245	0.6240 p=0.001	0.3052 p=0.147	0,664 p=0.000
M _{DQ}				1	- 0.9679 p=0.000	- 0.1918 p=0.369	- 0.5184 p=0.009	0,2323 p=0.275	0.6903 p=0.000	0.2857 p=0.176	0,7302 p=0.000
SR					1	0,1958 p=0.359	0.5487 p=0.005	- 0.2099 p=0.325	- 0.5938 p=0.002	- 0.2628 p=0.215	- 0.6283 p=0.001
T _D						1	0.8421 p=0.000	0.6187 p=0.001	0.1376 p=0.521	0.6016 p=0.002	0.0057 p=0.979
T _{DQ}							1	0.532 p=0.007	- 0.2198 p=0.302	0.4917 p= 0.015	- 0.3280 p=0.118
TC _D								1	0.3654 p=0.079	0.9861 p=0.000	0.3155 p=0.133
TC _{DQ}									1	0.4313 p=0.035	0.9789 p=0.000
FC _D										1	0.3903 p=0.059
FC _{DQ}											1

Kısaltmalar: (pH_D) Susuzlaştırılmış Çamur pH; (pH_{DQ}) Susuzlaştırılmış ve Kireç İlave Edilmiş Çamur pH; (M_D) Susuzlaştırılmış Çamur Nem; (M_{DQ}) Susuzlaştırılmış ve Kireç İlave Edilmiş Çamur Nem; (SR)Güneş Radyasyonu; (T_D) Susuzlaştırılmış Çamur Sıcaklık; (T_{DQ}) Susuzlaştırılmış ve Kireç İlave Edilmiş Çamur Sıcaklık; (TC_D) Susuzlaştırılmış Çamur Toplam Koliform; (TC_{DQ}) Susuzlaştırılmış ve Kireç İlave Edilmiş Çamur Toplam Koliform; (FC_D) Susuzlaştırılmış Çamur Fekal Koliform; (FC_{DQ}) Susuzlaştırılmış ve Kireç İlave Edilmiş Çamur Fekal Koliform.

4.5. Eklenik Radyasyon ve Çamur Katı Maddesi Arasındaki İlişki

Şekil 4.9’da farklı dönemlerde gerçekleştirilen kurutma çalışmalarında katı madde ve eklenik radyasyon arasındaki ilişki görülmektedir. Elde edilen veriler STATISTICA 5.0 ve Sigma Plot programlarıyla yapılan çalışmalarda %95 güven düzeyinde $p < 0,05$ için KM ile eklenik güneş radyasyonu verileri arasındaki korelasyonun kayda değer olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.9’da görüleceği üzere çamurda %20 KM içeriğinden %35 KM’ye ulaşmak için gerekli güneş radyasyonu değeri yıllık ortalama olarak $45 \pm 3 \text{ kW/m}^2$ olarak bulunmuştur.

Denemelerden elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirme sonuçları Tablo 4.3’de görülmektedir. Burada p: olasılık, r: korelasyon katsayısı, t: T testi sonucu, N: örnek sayısıdır. Şekil 4.9’da açık ve kapalı sistemde yaz ve kış dönemlerinde oluşan farklılığı ortaya koyan bir veri sunulmaktadır. Yaz döneminde açık ve kapalı sistemler arası benzerlik dikkat çekmektedir. Gün içerisinde artan radyasyon değerleriyle ısınan hava nem oranında belirgin düşüşlere sebep olmakta, özellikle sabah gün doğumuna yakın saatlerde ise nem değeri en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Kış döneminde özellikle açık sistemde belirli dönemlerde rüzgâr hızına bağlı olarak değişimler görülmektedir. Aynı dönemde iç ortamda nem değeri %80’nin üzerinde gözlenmiştir. Tesisin özellikle kış aylarında dış ortamın artan nem değerlerinden etkilendiği ve buharlaşmanın devam edebilmesi için iç ortam nem değerinin düşürülme ihtiyacının olduğu belirlenmiştir. Kış döneminde açık sistemde güneş radyasyonunda meydana gelen kısa süreli artışlar sıcak ve soğuk hava kütlelerinin yer değiştirerek rüzgar hızının artmasına ve nem değerlerinde önemli değişimlere neden olmaktadır.

Tablo 4.3. Katı Madde ve Eklenik Radyasyon Değerlerinin İstatistiksel Değerleri

	Ortalama	Standart		R ²	t	p	N	Sabit (b)	Eğim(a)
	Sapma		r (X,Y)						
Ağustos-Eylül	28,45	6,70	0,96	0,925	9,33	3,37E-05	9	20,76	0,00032
Ekim- Kasım	32,01	5,09	0,97	0,944	15,91	8,36E-11	17	22,99	0,00031
Aralık- Ocak	35,41	5,71	0,88	0,791	7,54	1,76E-06	17	26,94	0,00042
Mart – Nisan	37,34	10,08	0,97	0,941	15,00	5,09E-10	16	19,65	0,00035
Haziran – Tem	38,45	10,38	0,99	0,984	41,21	3,23E-25	28	21,90	0,00030

Eşit miktar ve katı madde yüzdesine sahip, 25 cm. yükseklikte serilen ve çamur özgül ağırlığı $S_{sl}=1,02$ tespit edilen çamurla bir yıl boyunca yapılan denemeler sonunda çamurun %20 KM'den %35 KM'ye ulaşabilmesi için ortalama 45000 ± 3000 W/m² güneş radyasyonuna ihtiyaç olduğu ortaya konulmuştur. Tchobanoglous ve Burton (1991) tarafından ortaya konulan (6 a) nolu eşitlik uyarınca;

$$V = (W_s / \rho_w \cdot S_{sl} \cdot P_s) \quad (6 a)$$

$$V = \text{Çamur Hacmi (m}^3/\text{gün)}$$

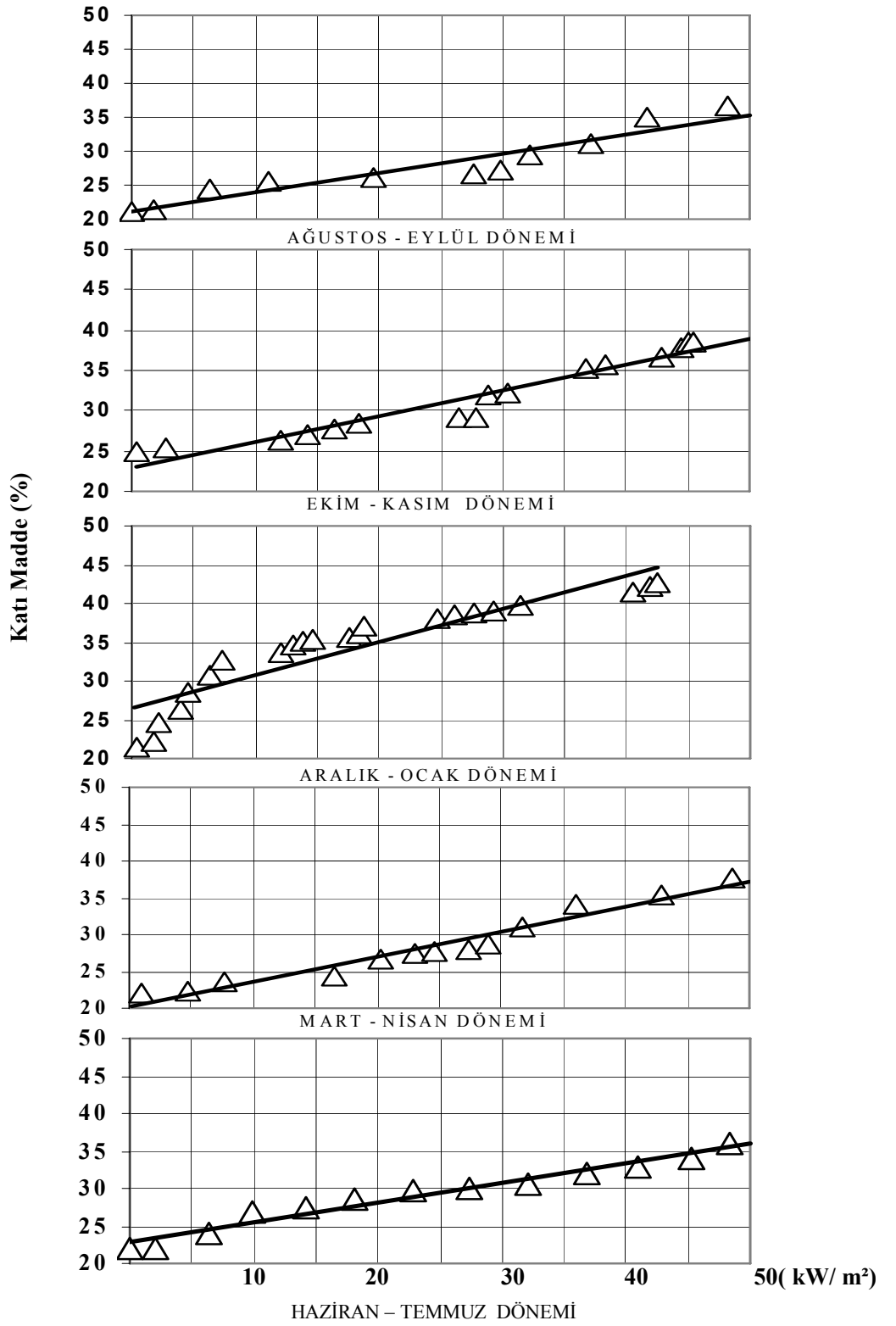
$$W_s = \text{Çamur Katı Maddesi (kg/gün)}$$

$$\rho_w = \text{Suyun Yoğunluğu (1000 kg/m}^3\text{)}$$

$$S_{sl} = \text{Çamurun Özgül Ağırlığı}$$

$$P_s = \text{Katı Madde Yüzdesi}$$

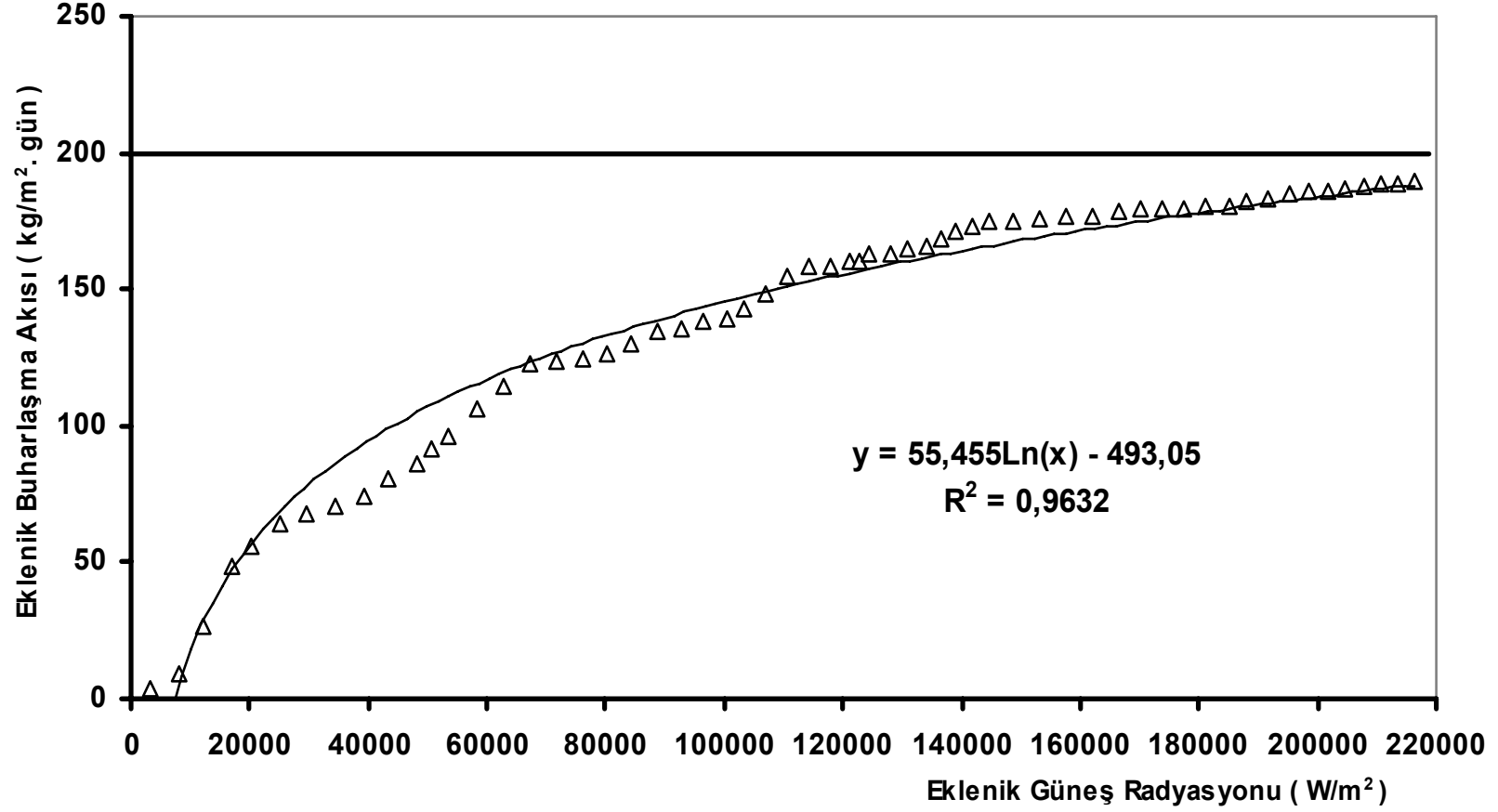
1m²'de bulunan 0,25 m³ çamurda $P_s = \%20$ KM için $W_s = 51$ kg bulunacaktır. $P_s = \%35$ KM oranına ulaştığında $V=0,1428$ m³ değerine düşecektir. Aradaki hacim farkı; $(V_{su} = 0,25 \text{ m}^3 - 0,1428 \text{ m}^3 = 0,1072 \text{ m}^3)$ 1 m²'den buharlaşan su miktarını verir. Buradan; $0,1072 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 107,2 \text{ kg}$ su bulunur. Yukarıda belirtilen şartlara sahip bir çamurun belirtilen tesiste %20 KM'den %35 KM'ye gelmesi sırasında 1 kg çamur suyunu buharlaştırabilmek için; $(45000\pm3000\text{W}) / 107,2 \text{ kg} = 420\pm28 \text{ W}$ güç gerektiği hesaplanabilir.



Şekil 4.9. Katı Madde ve Eklenik Radyasyon Arasındaki İlişki

4.6. Eklenik Güneş Radyasyonu ve Eklenik Buharlaşma Akısı Arasındaki İlişki

Benzer şekilde farklı bir açıdan kurutma değerinin hesaplanabilmesi için birim alana serilmiş çamurdan birim zamanda meydana gelen eklenik buharlaşmanın hesaplanmasında yine eklenik güneş radyasyonu değerinden yararlanılmıştır. Birim alana serilen çamurdan bir günde buharlaşan su kütlesi ile günlük güneş radyasyonu arasında yüksek bir ilişki tespit edilmemesi enerjinin sistemde kurumaya etkisinin bir faz farkıyla etkidiğini düşündürmüştür. Bu yüzden sisteme verilen toplam enerjinin günlük değişimi hesaplanmış ve eklenik olarak kaydedilmiştir. Buradaki yaklaşım çamura verilen toplam güneş radyasyonunun çamur bünyesinde depolandığı düşüncesidir. Isının absorblanarak çamur sıcaklığının kararlı bir aralıkta seyrettiği, eklenik enerjinin buharlaşma için gerekli eşik enerjiyi sağladıktan sonra buharlaşmanın sürekli olarak devam etmesine katkıda bulunduğu varsayılmaktadır. Bu konuda ısı transferi ve buharlaşmayla ilgili daha detaylı analiz ve hesaplara ihtiyaç olduğu görülmektedir. Ancak bu, çalışma kapsamının çok genişlemesine yol açacağından ve ayrı bir doktora çalışmasına imkan tanıyacak kadar detaylı çalışmalar gerektireceğinden burada sınırlandırılmıştır. Malzemenin özel jelimsi, pseudo-plastik yapısı ve değişken içeriği sebebiyle bu konuda tanımlanması ve açıklanması oldukça güç görünmektedir. Eklenik güneş radyasyonu ve eklenik buharlaşma akısı arasındaki ilişki Şekil 4.10'da görülmektedir. Üssel bir yaklaşımla iki değer arasında daha yüksek ($r=0,9814$) bir ilişki ortaya konmuştur. Belirli bir alana düşen eklenik radyasyon değerleri kullanılarak çamur suyunun eklenik buharlaşma akısının hesabında bu grafikten yararlanılabilir. Bu grafiğin uygulanmasındaki ana kriterler; kullanılan çamurun %20 KM değerine mekanik susuzlaştırmayla getirilmiş kentsel atıksu arıtma çamuru olması, kapalı kurutma yatağının tasarım ve havalandırma özelliklerinin korunması ve günde 2 kez insan gücüyle karıştırılmasıdır. Bu kriterlere bakıldığında daha yüksek buharlaşma akılarının sağlanabilmesi için; kapalı kurutma sisteminde enerji depolama ile ilgili yeni geliştirmeler, sistem havasının kontrolünün otomasyona bağlanması ve çamur karıştırma sisteminin mekanik olarak daha sık yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.10. Eklenik Güneş Radyasyonu ve Eklenik Buharlaşma Akısı Arasındaki İlişki

4.7. Açık ve Kapalı Sistemde Patojen Giderimi

4.7.1. USEPA Patojen ve Vektör Çekimi Azaltma Yöntemleri

USEPA biyokatı olarak tanımladığı atıksu çamurlarının bertarafıyla ilgili oldukça kapsamlı standartlar ve bertaraf metodları geliştirmiştir (USEPA 2003). Çalışmanın bir aşaması USEPA tarafından sunulan kriterler ve bertaraf metodları ile uygulamaya çalıştığımız yöntemin karşılaştırılması olmuştur.

A Sınıfı Çamur İçin Patojen Giderme Yöntemleri

Hiçbir kısıtlama olmadan taşınabilen ve her bölgeye serilebilen patojen mikroorganizma içermeyen USEPA A sınıfı çamurlar için farklı patojen giderme yöntemleri bulunmaktadır. Kısaca açıklanacak olursa;

Alternatif 1 : Isıl Arıtım

USEPA'nın A sınıfı çamur eldesiyle ilgili patojen giderimi için önerdiği yöntemlerden bir olan ısıl arıtımda önerdiği eşitlikler genellikle 50 °C ve üzerine göre belirleyicidir. Bu sıcaklığın altındaki değerlerde sıcaklık-zaman ilişkisinin belirsizlik gösterdiği belirtilmektedir (USEPA 2003). Çalışmada çamur sıcaklığı değerleri kış dönemi için 13±3 °C ve yaz döneminde 27±6 °C değerlerine sahip olduğu için USEPA tarafından önerilen ısıl arıtım kalıpları içerisine girmemektedir.

Alternatif 2: Yüksek pH-Yüksek Sıcaklık (Alkali Arıtım) Prosesi

USEPA bu yöntemde çamur pH'sının 12'nin üzerine çıkartılmasını ve 72 saat boyunca bu değerde tutulmasını, yine bu süre içerisinde 12 saat boyunca çamur sıcaklığının 52 °C'nin üzerinde olmasını, 72 saat sonunda ise hava kurutmayla katı madde değerinin %50 üzerine çıkması gerektiğini belirlemiştir. Çalışmada pH değeri düşük kireç kullanımı nedeniyle en çok 24 saat 12'nin üzerinde, çamur sıcaklığı ise sadece 1,5±0,4 °C artış göstermiştir. Katı madde değerinin ise %50 üzerine çıkması kurutma sürecinde sağlanabilmiştir.

Diğer Prosesler USEPA tarafından belirli bir yöntemin tarifi olarak değil, ulaşılmak istenen mikrobiyal sınır değerlere ulaşılmak üzere kullanılabilecek uygun her sistemi içermektedir. Bu yöntemlerde ana kriterler;

- Çamurda fekal koliform yoğunluğu 1000 CFU / g. KM olmalı ya da,
- *Salmonella* sp. yoğunluğu 3 CFU / 4g. KM değerinden aşağı olmalıdır.

4.7.2. Çamurdaki Patojenleri Önemli Ölçüde Azaltan Prosesler (PSRP)

Çamurdaki Patojenleri Önemli Ölçüde Azaltan Prosesler (PSRP) olarak tariflenen bu yöntemler daha çok tarımsal alanlara, ormanlara, halkın temas edebileceği yerlere, düzenleme amaçlı bölgelere belirli sınırlamalarla serilebilen USEPA B sınıfı çamurların eldesinde kullanılırlar. Bu yöntemleri kısaca açıklamak gerekirse;

Alternatif 1: Aerobik Çürütme

Çamur yaşı 20 °C için 40 gün, 15 °C için 60 gün olacak şekilde çamurun havalandırılarak aerobik ortamda stabil hale getirilmesini içerir. Yaptığımız çalışmada bu süre ve sıcaklık değerleri sağlanmış ancak yeterli karışım ve havalandırma uygulanamadığından süreç tam olarak yerine getirilememiştir. Bu süreci tanımlamada kullanılabilir bir ölçü olarak uçucu katı madde analizleri yapılmış ancak bulunan sonuçlar organik maddede önemli giderimlerin olmadığını göstermiştir. Bunun dışında yine bu süreci tanımlayabilecek özgül oksijen tüketim hızı(SOUR) analizi ise çamura uygulanmamıştır.

Alternatif 2: Havayla Kurutma

Bu yöntem kum, kaplamalı veya kaplamasız yataklarda ortalama dış ortam sıcaklık değeri 0°C'nin üzerinde en az 3 ay boyunca çamurun kurutulmasını tanımlamaktadır. Bu proses çalışmanın ana temelini oluşturan yöntem olarak izah edilebilir. Çalışmada yukarıda belirtilen ortam ortalama sıcaklık değeri kapalı bir hacimde daha yüksek değerlerde seyretmiş ve kurutma süresi kısaltılmıştır.

Alternatif 3: Anaerobik Çürütme

Bu yöntemde çamur havasız ortamda 35-55°C arasında 15 gün, 20 °C'de 60 gün çamur yaşını sağlayacak şekilde parçalanmaktadır. Uyguladığımız çalışmada gerek süreç öncesi, gerekse süreç boyunca bu yönteme başvurulmamıştır.

Alternatif 4: Kompostlaştırma

Farklı yöntemlerle toprak iyileştirici malzeme haline getirmek amacıyla çamur içerisindeki organik bileşikleri belirli bir aşamaya kadar parçalanmasını içeren bir yöntemdir. Bu yöntem sırasında 5 gün boyunca 40°C ve üzeri sıcaklıklarda kalan çamur en az 4 saat boyunca 55°C değerine ulaşmalıdır. Yaptığımız çalışma her ne kadar kompostlaştırma sürecine benzese de çamur iç sıcaklığı hiçbir zaman yukarıda belirtilen değerlere ulaşmamıştır. Ne var ki tasarladığımız proses bu tür bir yönteme oldukça

uygun bileşenler içermektedir ve gerektiğinde bir kompost tesisine dönüştürülebilecek özelliğindedir.

Alternatif 5: Kireçle Stabilizasyon

Bu yöntemde, pH>12 değerini 2 saat boyunca sağlayacak miktarda kireç katılmaktadır. Uyguladığımız çalışma bu süreci tam olarak sağlamaktadır. Kurutma öncesi ilave edilen ve karıştırılan 0,15 kg / kg KM oranındaki sönmemiş kireç yukarıda belirtilen kriteri sağlamıştır.

4.7.3. Vektör Çekimi Azaltma Yöntemleri

Çamurların stabil hale gelmesinde önemli unsurlardan biride kuş, sinek, böcek, kemirgen vb.(vektör) canlıların çamurla temas etmesi ve buradaki kirletici parametreleri ve patojen mikroorganizmaları yayma riskidir. Çamur içerisinde bulunan organik bileşikler bu canlıların çamura ilgisini artırmaktadır. Vektö çekimi (vector attraction) olarak isimlendirilen bu olayın kontrolü için USEPA tarafından farklı sınırlamalar ve azaltma yöntemleri geliştirilmiştir. Bunları kısaca açıklamak gerekirse;

Alternatif 1.

Çamur arıtımı boyunca çamurdaki uçucu katı maddelerin en az %38 azalması. Yaptığımız çalışmada uçucu katı maddede belirli dönemlerde bu değere ulaşılsa da sürekli bir performans gözlenmemiştir.

Alternatif 2:

Laboratuvar ölçekli aerobik çürütücüde 30-37 °C'de ilave 40 gün boyunca %17'den az ilave uçucu katı madde kaybı. Bu süreç çalışmalarda denenmemiştir.

Alternatif 3:

Laboratuvar ölçekli anaerobik çürütücüde 20 °C'de ilave 20 gün boyunca %15'den az ilave uçucu katı madde kaybı. Bu süreç çalışmalarda denenmemiştir.

Alternatif 4:

20 °C'de SOUR<1,5 mg oksijen / saat /g . KM değerini sağlamak. Bu süreç çalışmalarda denenmemiştir.

Alternatif 5:

Ortalama 45 °C üzerinde 14 gün boyunca çamurun aerobik arıtımı. Bu süreç çalışmalarda denenmemiştir.

Alternatif 6:

25 °C'de 2 saat boyunca pH>12, 22 saat ve sonrasında pH>11,5'i sağlayacak miktarda kireç ilavesi. Bu değerler yapılan çalışmalarda sağlanmıştır.

Alternatif 7:

Başka bir malzeme katmadan KM değerinin %75'in üzerine çıkması. Bu değer yapılan çalışmalarda sağlanabilmiştir.

Alternatif 8:

Bir malzeme katarak KM değerinin %90'ın üzerine çıkması. Bu değer yapılan çalışmalarda sağlanabilmiştir.

Alternatif 9:

Toprağa enjekte edildikten 1 saat sonra toprak yüzeyinde önemli miktarda çamurun bulunmaması. Yalnızca A sınıfı çamur patojen giderim prosesinden sonraki 8 saat içinde enjekte edilmelidir. Bu süreç çalışmalarda denenmemiştir.

Alternatif 10:

Çamurun sahaya uygulamasından sonra 6 saat içinde çamur ve toprak karıştırılır. Sadece A sınıfı çamur patojen giderimini takiben 8 saat içinde toprakla karıştırılır. Bu süreç çalışmalarda denenmemiştir.

Alternatif 11:

Çamur sahaya serildikten sonra her iş günü günlük toprak örtüsü veya başka bir malzeme ile örtülür. Bu süreç çalışmalarda denenmemiştir.

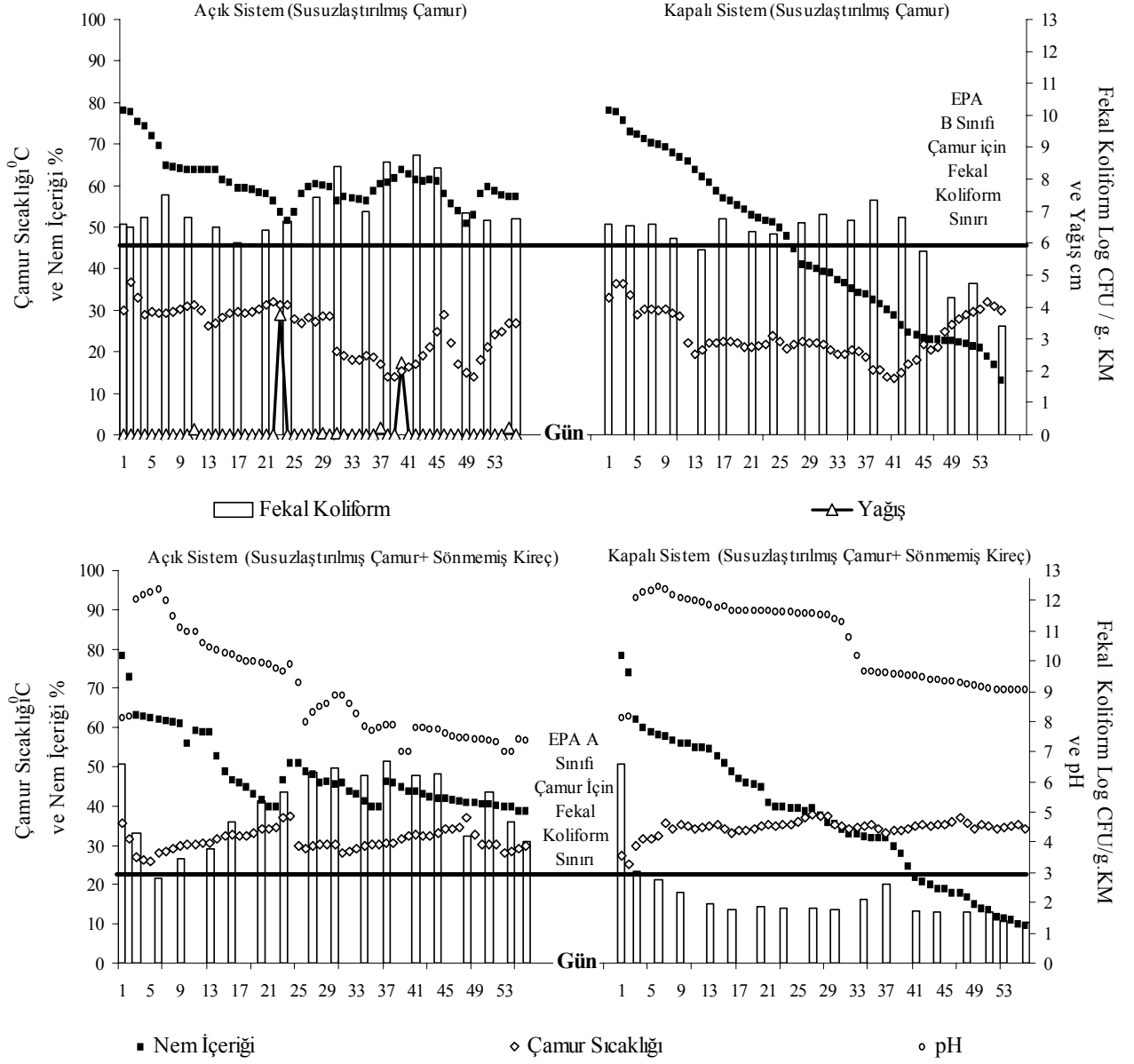
Alternatif 12:

Evsel fosseptik çamurunun pH'ı alkali madde ilavesiyle 12 üzerine çıkarılır ve alkali ilavesi olmadan 0,5 saat 12 üzerinde kalması sağlanır. Bu süreç yukarıda açıklanmıştır.

Çalışmalarımızda yukarıda da açıklandığı üzere 1,3,6,7 ve 8 nolu alternatifler denenmiştir. Sistemimizde gerçekleşen süreç yukarıdaki alternatiflerden birden fazlasını sağlamaktadır. Bu durum sistemin vektör çekimi konusunda da etkin olduğunu göstermektedir.

Patojen gideriminde indikatör MO olarak fekal koliformla ilgili çalışmalarda yaz döneminde, açık ve kapalı sistem arasındaki farklar ve kirecin bu sistemlerdeki etkisi Şekil 4.11'de görülmektedir. Çamur konulan açık sistemde yağışlar sebebiyle kuruma istenilen ölçüde gerçekleşmemiştir. Çamur sıcaklığı ve nem içeriğinden dolayı bu

dönemde fekal koliform konsantrasyonu artış göstermiştir. Aynı şekilde açık sistemde çamura kireç ilavesini takip eden ilk hafta içinde oldukça yüksek bir fekal koliform giderimi gözlenirken yağışla çamur nem içeriğinin artması, pH değerinin düşmesi ve çamur sıcaklığının uygun bir aralıkta seyretmesi sebebiyle yeniden üreme gözlenmiştir. Bu konu açık alanda çamura kireç uygulamasının genel bir sonucu olarak belirlenmiştir. Çamur konan kapalı sistemde nem içeriğinin %50'nin altına inmesi sırasında bir süre fekal koliform giderimi durmuş olsa da azalan nem ile oldukça yüksek oranda fekal koliform giderimi sağlanmıştır. Yaz döneminde kapalı sistemde kireç ilave edilmesiyle fekal koliform, A sınıfı limitlerine 5 günde, %35 KM'ye ise 10 günde ulaşmıştır. Liang ve ark. tarafından 2003 yılında yapılan bir çalışmada atıksu çamurlarından aerobik kompost oluşumu sırasında 22, 29, 36, 43, 50 ve 57 °C'de %30, 40, 50, 60 ve 70 nem içeriğinde mikrobiyal faaliyetin izlenebilmesi için O₂ kullanım oranı (mg/g/h) bilgisayar kontrollü bir respirometre ile ölçülmüştür. Çalışma sonunda 1 mg/g/h 'nin üzerindeki aktivitelerin belirlenmesi için nem içeriğinin %50 ve üzerinde olması gerekliliği belirlenmiştir. Sıcaklıkla ilgili olarak ise; 20 °C altı ve 60°C üzerindeki değerlerde kompost oluşumu için gerekli mikrobiyal faaliyetin yavaşladığı görülmüştür. Tasarımda ulaşılan ortalama çamur sıcaklığı yaz döneminde dahi 34,9±2,39 °C olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla doğal yöntemlerle mikrobiyal faaliyetin yavaşlatılması zor görünmektedir. Yaptığımız çalışmada aerobik kompost oluşumuna benzer bir sürecin takip ediliyor olması nihai ürünün hem fiziksel hem de biyolojik olarak stabil bir ürün eldesinde nem ve sıcaklığın etkisini göstermesi bakımından önemlidir (Salihoğlu ve ark. 2007) Çalışmada çamur sıcaklıkları mikrobiyal üremeyi sınırlandıracak bir değere ulaşmamaktadır.

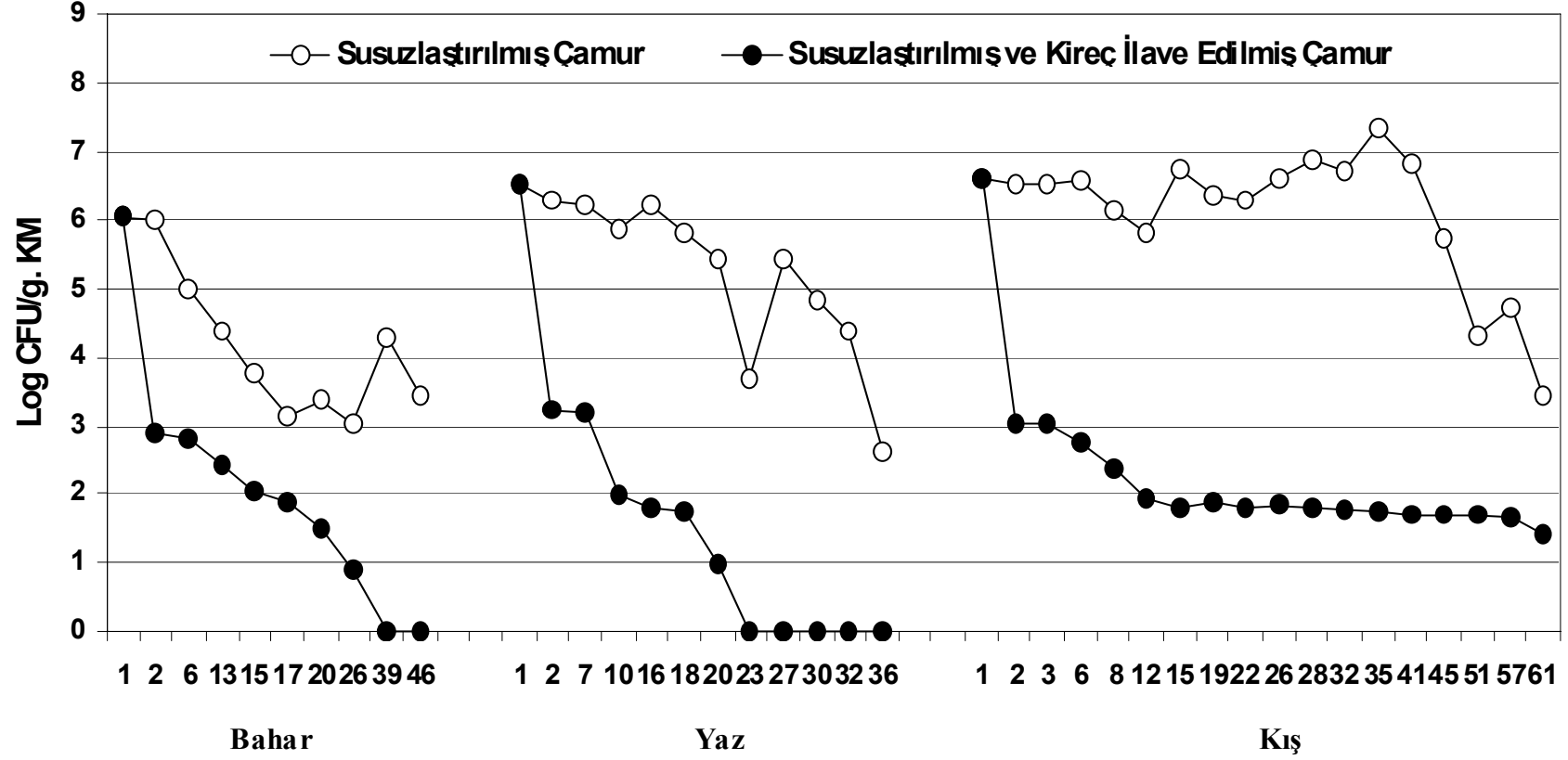


Şekil 4.11. Yaz Döneminde Açık ve Kapalı Sistemde Patojen Giderimi ve Kireç Etkisi

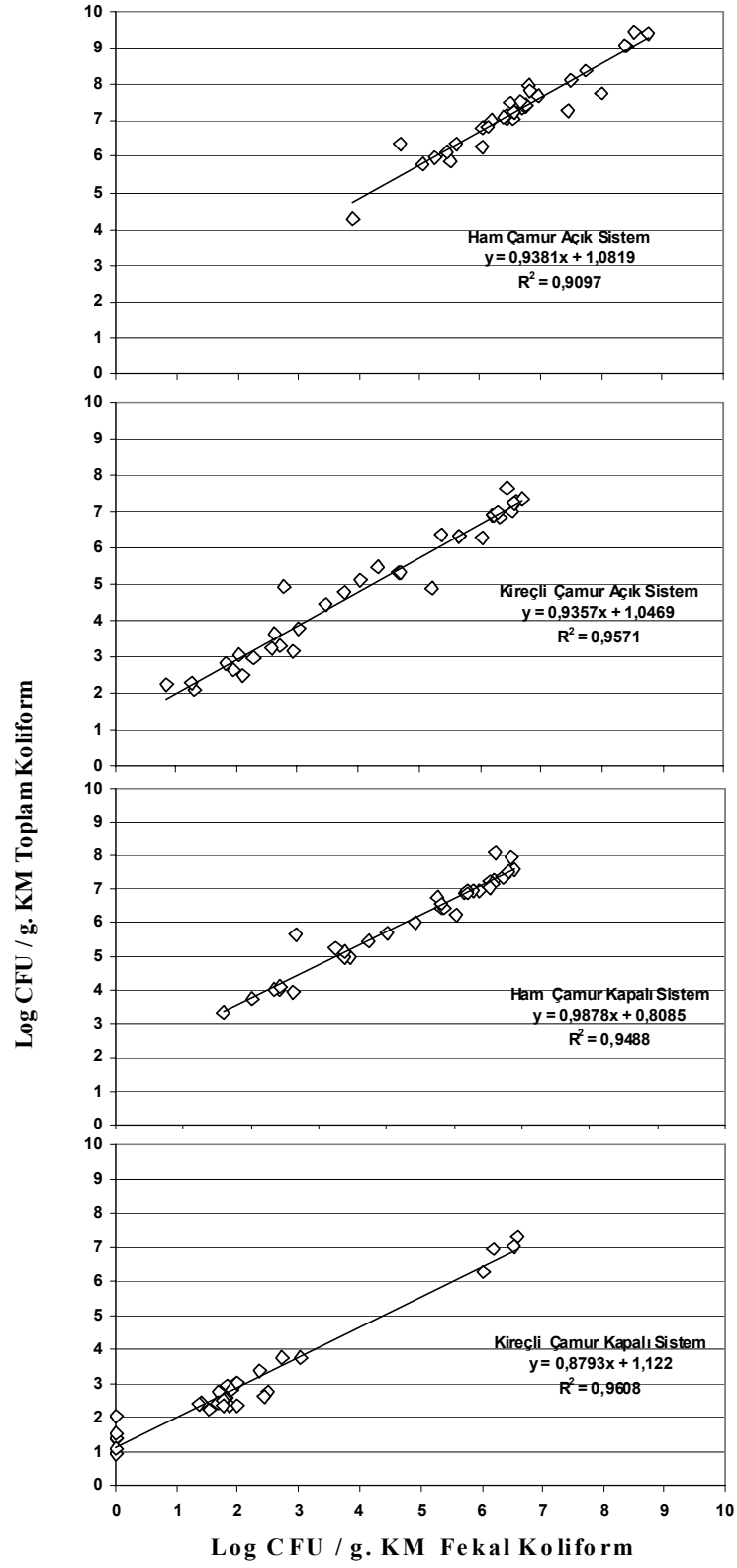
4.7.4. Sönmemiş Kireç İlavesinin Kapalı Sistemde Patojen Giderimine Etkisi

Şekil 4.12’de mekanik olarak susuzlaştırılmış çamur üç farklı dönemde de USEPA tarafından A sınıfı çamur için belirlenen 1000 CFU/g. KM değerine inmemiştir. Tesis içerisinde sağlanan stabil sıcaklık ve nem içeriği sebebiyle susuzlaştırılmış çamur içindeki fekal koliform miktarı zaman zaman artışlar gösterse de çamur nem içeriğinin düşmesiyle azalmıştır. Susuzlaştırılmış çamura KM’nin %15’i sönmemiş kireç katıldığı anda USEPA’nın sınır şartı sağlanmış daha sonra %90KM nem içeriğine gelinceye dek ilkbahar ve yaz dönemlerinde Fekal Koliform sıfır değerine inmiştir. Kış mevsiminde ise sınır değer çok altında olsa dahi Fekal Koliform tamamen bertaraf edilememiştir. Bu durumda kapalı çamur kurutma yataklarında çamurdaki Fekal Koliformun tamamen giderimi için nem içeriği yanında sönmemiş kireç ilavesinin gerekli olduğu düşünülmektedir. Elde edilen veriler kireç ilavesinin daha etkili olduğunu ve daha kısa sürede etki gösterdiğini ortaya koymaktadır Çalışma sonuçları, sınırlı kireçlemeyle birlikte gerçekleştirilen kapalı yatakta çamur kurutma sürecinin nihai çamur bertarafından önce ilave çamur susuzlaştırma ve kurutma amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışma sonucu; elde edilen katı madde değerleri, patojen mikroorganizma giderimi, tesis içinde gözlenen koku ve sinek oluşumunun azalması ve ekonomik analiz ile desteklenmeye çalışılmıştır.

Analiz sonuçlarından elde edilen önemli bir sonuç da kireç ilavesinin stabil bir çamur pH’ı eldesinde önemli olduğudur. Bu çalışmada, patojen giderimi ve depolama için gereken asgari şartları sağlayacak şekilde sönmemiş kireç dozlanması işletme, taşıma ve bertaraf maliyetlerini etkilemekte, nihai bertaraf yönteminin seçiminde rol oynamaktadır. Çamurdaki patojen gideriminde fekal ve toplam koliform arasındaki ilişki Şekil 4.13’de görülmektedir. Bu şekilde kireçli veya ham çamurun fekal ve toplam koliform giderim oranlarında yüksek bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Bu ilişki çalışılan çamurdaki toplam koliformun büyük bir kısmının fekal koliformdan oluşabileceğini işaret etmektedir. Karşılaştırma susuzlaştırılmış çamurda açık ve kapalı sistem için, susuzlaştırılmış ve sınırlı kireç ilave edilmiş çamurda açık ve kapalı sistem için gerçekleştirilmiş ve sırasıyla 0,9097, 0,9488, 0,9571, 0,9608 R² değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Sönmemiş Kireç İlavesinin Kapalı Sistemde Patojen Giderimine Etkisi



Şekil 4.13. Fekal Koliform ve Toplam Koliform Giderimi Arasındaki İlişki

4.8. Elde Edilen Verilerin Kapalı Kurutma Yatağında Çamur Kurutma Konusunda Yapılan Model Çalışması İle Karşılaştırılması

Güneşle çamur kurutma konusunda çalışmanın yapıldığı tesis, çamur özellikleri ve çalışma yaklaşımı anlamında en güncel model çalışması Seginer ve Bux (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Seginer ve Bux (2006) 70 000 eşdeğer nüfusa hizmet eden 4 adet 10m. x 50m. ölçülerinde bitişik 200 m² alanda kurulu bir tesiste çalışmalarını yürütmüşlerdir. Çift duvarlı polikarbonat örtü ile örtülen tesise %28 KM ile giren çamur %75 KM (maksimum %95KM) ile tesisten alınmaktadır. Tesisin iç havasının karışımı ve dış ortamla hava sirkülasyonu için 150 m³ / m²(zemin)/ saat kapasiteli fanlar teçhiz edilmiştir. İç ortam fanları 0 ve 150 m³ / m²(zemin)/ saat olarak iki farklı akıda ve dış hava ile sirkülasyon fanları 30, 100 ve 140 m³ / m²(zemin)/ saat olarak 3 farklı akıda çalıştırılmıştır. Çamur günde 4 ve 6 saat olmak üzere 2 farklı süre karıştırılmıştır. Çamurdan meydana gelen buharlaşma ile ilgili olarak genelleştirilmiş formül olarak kullanılmıştır. (7) nolu eşitliğe göre;

$$E = \rho(w_{out} - w_{in})Q_v \equiv \rho\Delta w Q_v \quad (7)$$

E	=Buharlaşma Akısı	[kg (su) / m ² (zemin). saat]
ρ	= Hava Yoğunluğu	[kg (hava) / m ³]
Δw	= Nem Farkı	[kg (hava) / kg (su)]
Q_v	= Dış Ortamla Hava Değişim Akısı	[m ³ / m ² (zemin)/ saat]

Katılım (Additive) Eşitliği

Bu yaklaşımda (8) nolu eşitlikte de görüleceği üzere;

$$\Delta w = \eta + \sum_{j=1}^p \alpha_j P_j \quad (8)$$

Formülü kullanılmıştır. Burada

η	= Sabit	
α_j	= Sabit	
Δw	= Nem Farkı	[kg (hava) / kg (su)]
P_j	= Güneş radyasyonu veya dış Ortamla Hava Değişim Akısı gibi değişkenler	

Yukarıdaki iki formülün kombinasyonundan (9) nolu eşitliğe gelinir;

$$E = \rho Q_v \Delta w = \rho Q_v \left(\eta + \sum_{j=1}^p \alpha_j P_j \right) \quad (9)$$

ve buradan hareketle değişkenler ve çalışmalar sonucu elde edilen değerler yardımıyla (10) nolu ampirik formüle ulaşılmıştır.

(10)

$$E = \rho Q_v 10^{-6} (1835 + 3.65 R_o + 88.7 T_o - 15.4 Q_v + 2.85 Q_m - 1230 \sigma)$$

Çarpım (Multiplicative) Eşitliği

Bu yaklaşımda (11) nolu eşitlik gereği;

$$\Delta w = \varepsilon \prod_{j=1}^p (P_j + \beta_j)^{\gamma_j} \quad (11)$$

β_j = Modelde bazı değişkenlerin negatif olmasından dolayı eklenen sabit.

γ_j = Sabit

ε = Sabit

Δw = Nem Farkı [kg (hava) / kg (su)]

P_j = Güneş radyasyonu veya dış Ortamla Hava Değişim Akısı gibi değişkenler

Formüller eşitlenerek elde edilen (12) nolu eşitlik gereği;

$$E = \rho Q_v \Delta w = \rho Q_v \varepsilon \prod_{j=1}^p (P_j + \beta_j)^{\gamma_j} \quad (12)$$

Ve buradan hareketle

$$\begin{aligned} E &= \rho Q_v 1.962 \times 10^{-11} \\ &\times (R_o + 1100)^{2.322} (T_o + 13.0)^{1.292} (Q_v)^{-0.577} \\ &\times (Q_m + 0.0001)^{0.013} (\sigma + 0.26)^{-0.353} \end{aligned} \quad (13)$$

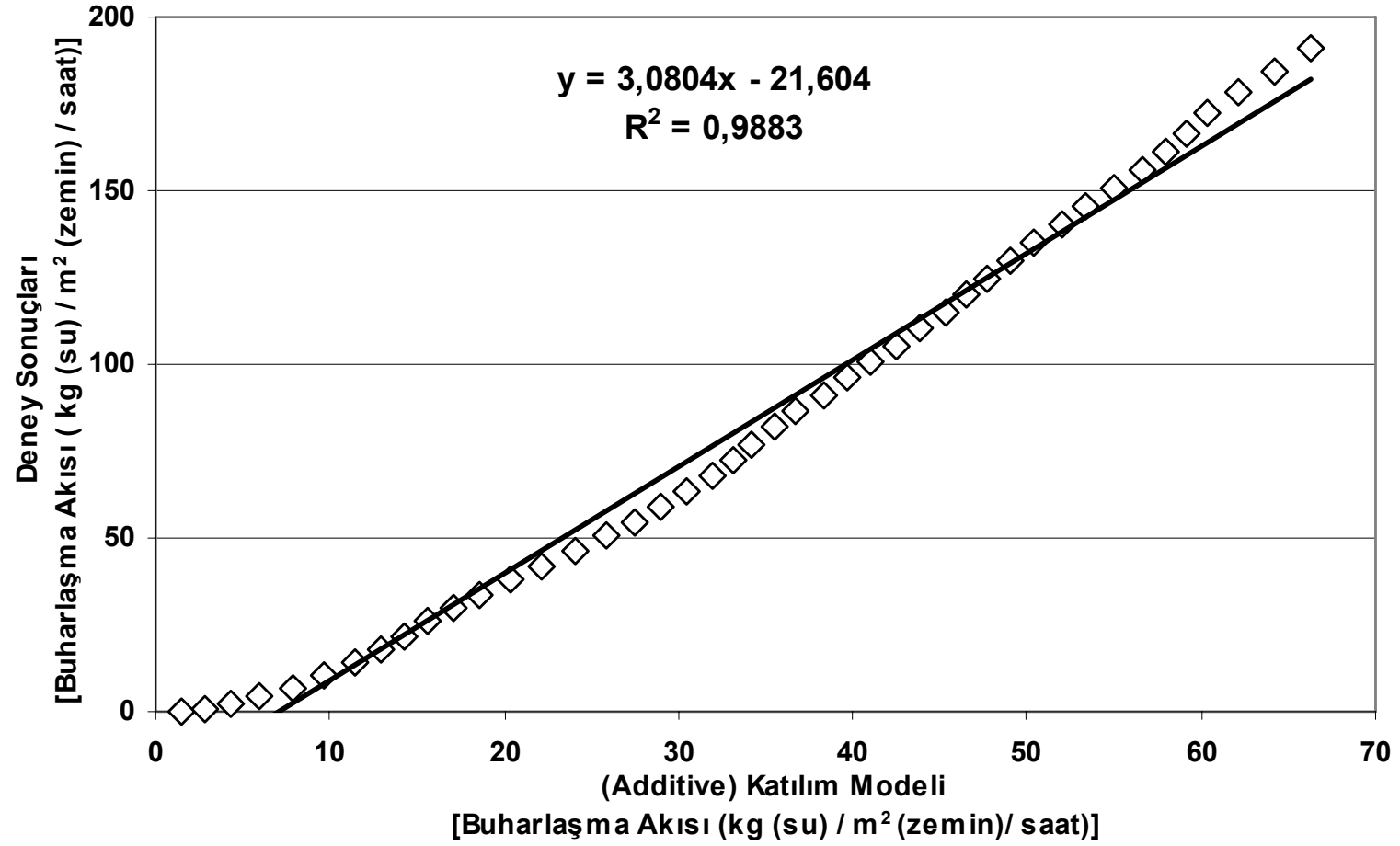
(13) nolu ampirik formülüne ulaşılmıştır.

Yaptığımız çalışmada ise 2m. x 5 m. ölçülerinde çift duvarlı polikarbonat örtülü

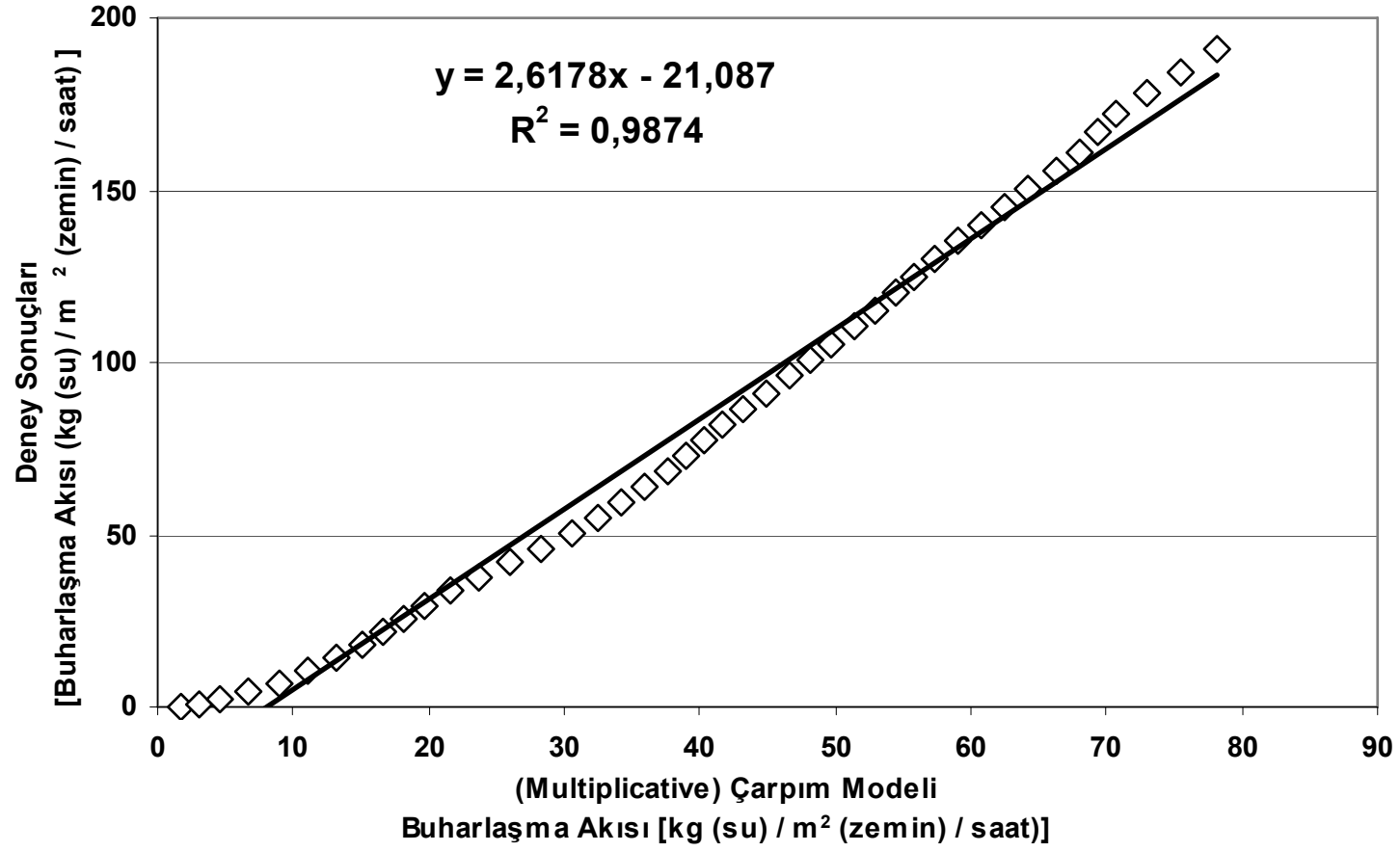
bir pilot tesisten istifade edilmiştir. Model çalışmada kullanılan tesisten farklı olarak tabandan 50 cm. yükseklikte dolgu yatak ve güneş enerjisiyle tabandan ısıtma sistemleri kullanılmıştır. Ayrıca güneşlenme süresi ve güneş radyasyonunun daha yüksek olduğu bir bölgede çalışma gerçekleştirilmiştir. Pilot tesiste dış ortamla hava akısı $30 \text{ m}^3 / \text{m}^2(\text{zemin}) / \text{saat}$ ve iç ortam hava akısı $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2(\text{zemin}) / \text{saat}$ alınmıştır. Tesise 25 cm. yükseklikte serilen çamur sabah ve öğleden sonra olmak üzere günde sadece 2 kez kürekle karıştırılmıştır. Hava yoğunluğu $1,2 \text{ kg}(\text{hava}) / \text{m}^3$ kabul edilmiştir.

Şekil 4.14'te Katılım Modeli ve yaptığımız çalışma arasında eklenik buharlaşma akılarına göre oluşturulan korelasyon grafiği görülmektedir. STATISTICA 5. 0 programında oluşturulan ve korelasyon matrisinde değerlendirilen verilerde %95 güven düzeyinde $p < 0,05$, $N=44$, $r = 0,9941$ için korelasyonun kayda değer olduğu tespit edilmiştir. Burada p: olasılık, r: korelasyon katsayısı, N: örnek sayısıdır. Bu grafikte yaptığımız çalışmadaki eklenik buharlaşma akıları daha yüksek değerlerde seyretse de önerilen modelle çalışma arasında yüksek bir ilişki olduğu görülmektedir.

Şekil 4.15'te Çarpım Modeli ve yaptığımız çalışma arasında eklenik buharlaşma akılarına göre oluşturulan korelasyon grafiği görülmektedir. STATISTICA 5. 0 programında oluşturulan ve korelasyon matrisinde değerlendirilen verilerde %95 güven düzeyinde $p < 0,05$, $N=44$, $R = 0,9936$ için korelasyonun kayda değer olduğu tespit edilmiştir. Bu grafikte de yaptığımız çalışmadaki eklenik buharlaşma akıları daha yüksek değerlerde seyretse de önerilen modelle çalışma arasında yüksek bir lineer ilişki olduğu belirlenmiştir.



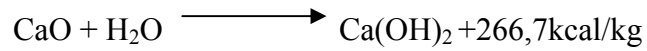
Şekil 4.14. Katılım Modeli ve Çalışma Arasındaki Korelasyon



Şekil 4.15. Çarpım Modeli ve Çalışma Arasındaki Korelasyon

4.9. Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur Kuruma Sürecine Etkileri

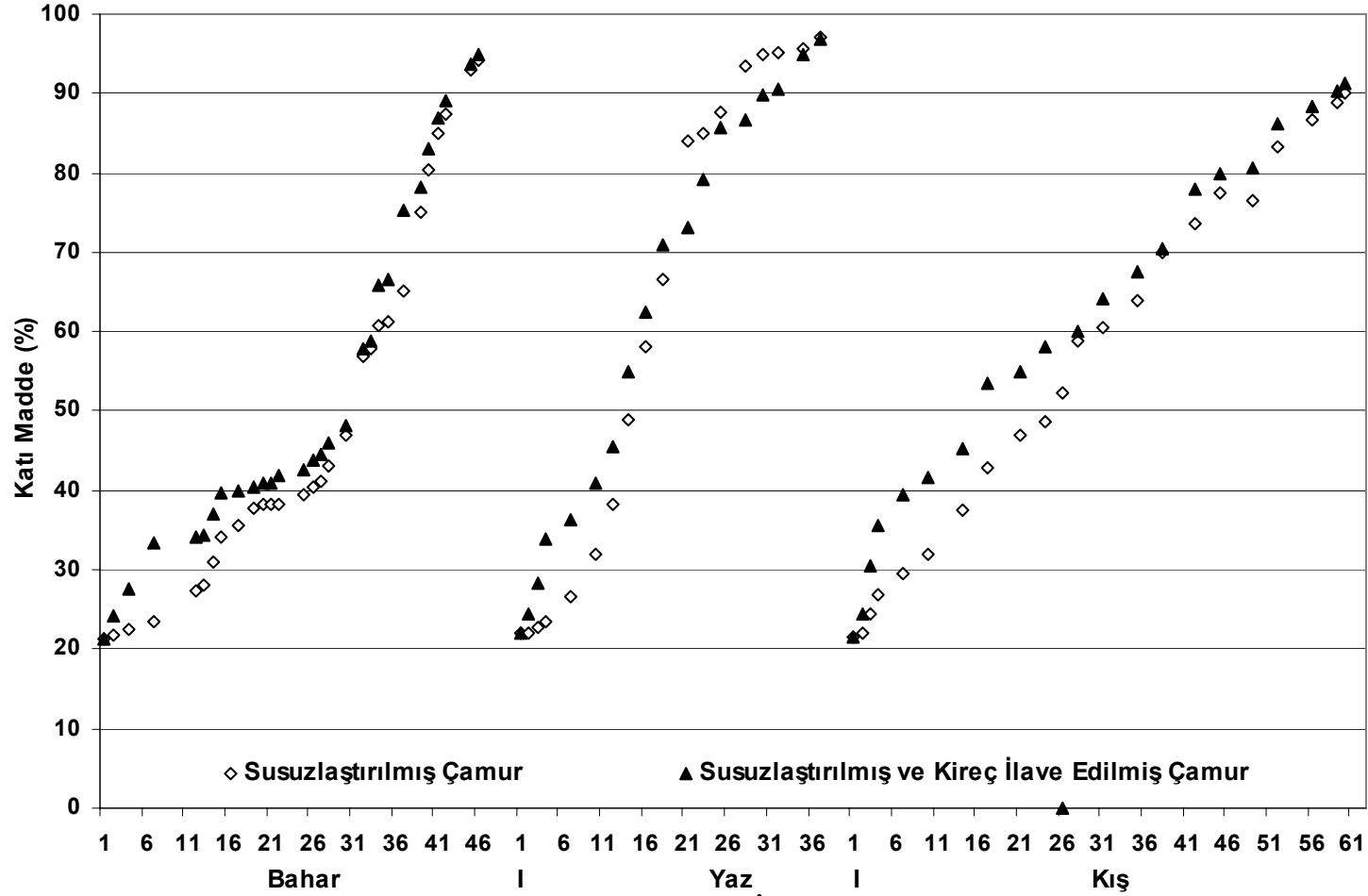
Gerçekleştirilen çalışmalarda ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde mekanik olarak susuzlaştırılan çamura sınırlı kireçleme uygulanmış ve kuruma süreçleri incelenmiştir. Şekil 4.16'da ilkbahar yaz ve kış dönemlerinde elde edilen kuruma değerleri görülmektedir. Şekilde de görüleceği üzere eklenik toplam radyasyon değerlerinin yüksek olduğu yaz döneminde kurutma süreleri azalırken, düşük olduğu kış döneminde bu süre uzamaktadır. Yukarıda da açıklandığı üzere katı madde ve eklenik güneş radyasyonu arasındaki bu ilişkiden dolayı çamur kış döneminde %20 KM'den %35 KM'ye 27±3 günde gelirken, yaz döneminde 10±2 günde ulaşabilmektedir. Bu süreler istenilen kuruluk değeri için gerekli enerji toplamının çamura verilmesiyle doğrudan bağlantılıdır. Şekil 4.16'da KM'nin %15'i oranında ilave edilen sönmemiş kireç ilavesinin ardından KM %23-24'lere ulaştığı görülmektedir. Genel olarak;



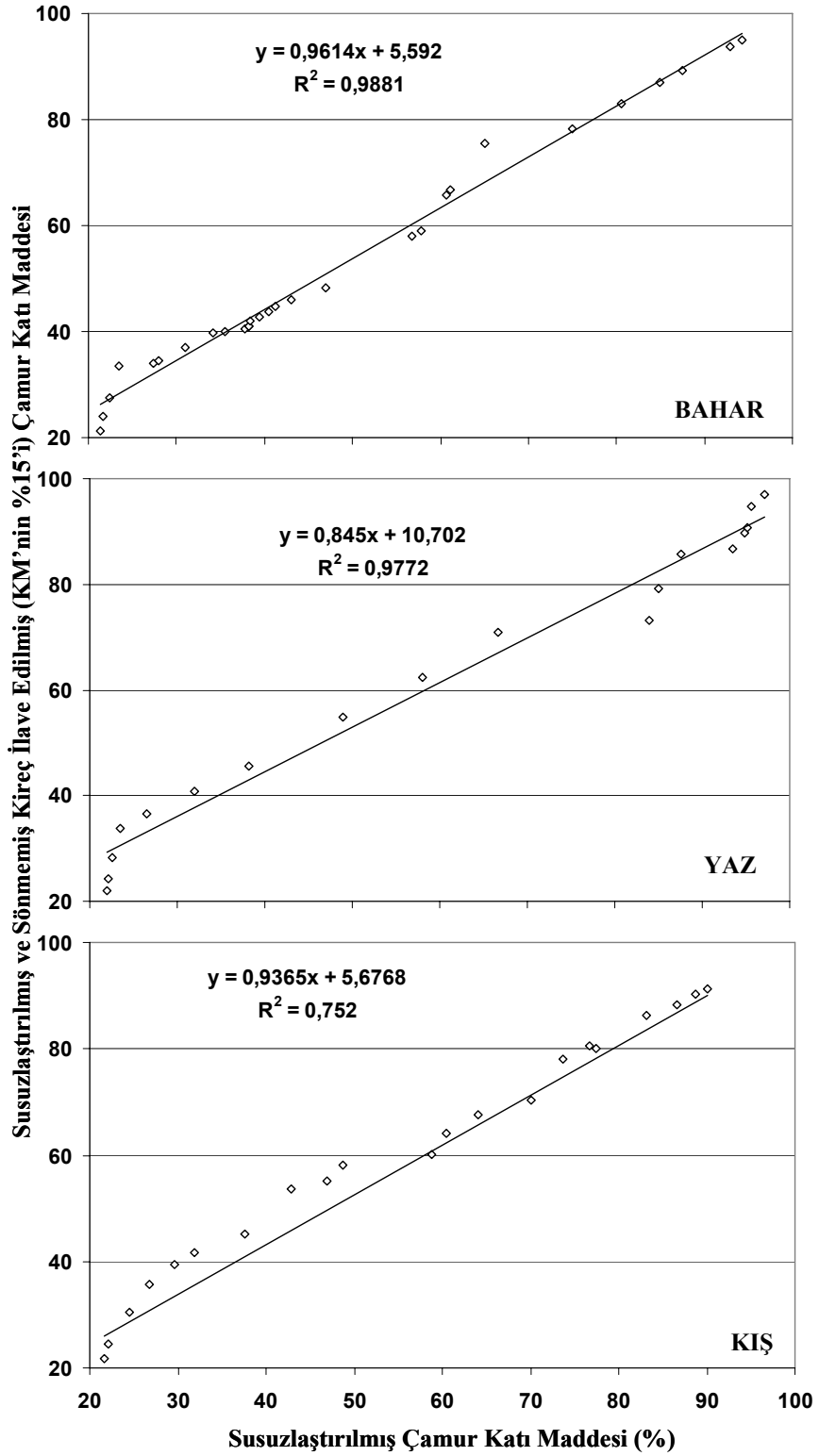
reaksiyonu meydana gelse de, sönmemiş kirecin bu oranda ilave edilmesiyle oluşan ısıyla meydana gelen buharlaşma ihmal edilecek kadar az bulunmuştur.

Sönmemiş kireç ilavesinin ardından belirli bir süre sönmemiş kireç ilave edilmiş susuzlaştırılmış çamurun kuruma süreci daha hızlı gibi görünse de %90KM'lere kadar süren kurutma boyunca kayda değer bir fark görülmemiştir. $p < 0,05$ için yapılan korelasyon matrisi değerlendirmesinde susuzlaştırılmış çamur ile susuzlaştırılmış ve sönmemiş kireç ilave edilmiş çamur kuruma süreçleri arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Bu değerler Şekil 4.17'de görülmektedir.

Şekil 4.17'ye göre iki çamurun katı madde değişimleri arasında çalışılan dönemlerde yüksek ve kayda değer lineer bir ilişki olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde artan bu ilişki kış mevsiminde göreceli olarak azalmaktadır. Bunun sebebi olarak kış döneminde kireç ilavesinin ardından ulaşılan KM yüzdesine susuzlaştırılmış çamurun daha geç sürede ulaşması gösterilebilir. Bu gecikme R^2 değerini 0,752 değerine indirmiştir.



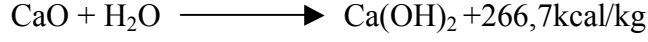
Şekil 4.16. Farklı Dönemlerde Sönmemiş Kireç İlavesinin Çamur Kurutma Sürecine Etkisi



Şekil 4.17. Susuzlaştırılmış Çamur ile Susuzlaştırılmış ve Sönmemiş Kireç İlave Edilmiş Çamur Kuruma Süreçleri Arasındaki İlişki

4.10. Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur Sıcaklığına Etkileri

Çamura katı maddenin 5%, 15%, 25% ve 50% oranında sönmemiş kireç katılmıştır. Sıcaklık ve pH değerlerinde meydana gelen değişim üç tekrarlı olarak izlenmiş ve ortalama değerler kaydedilmiştir.

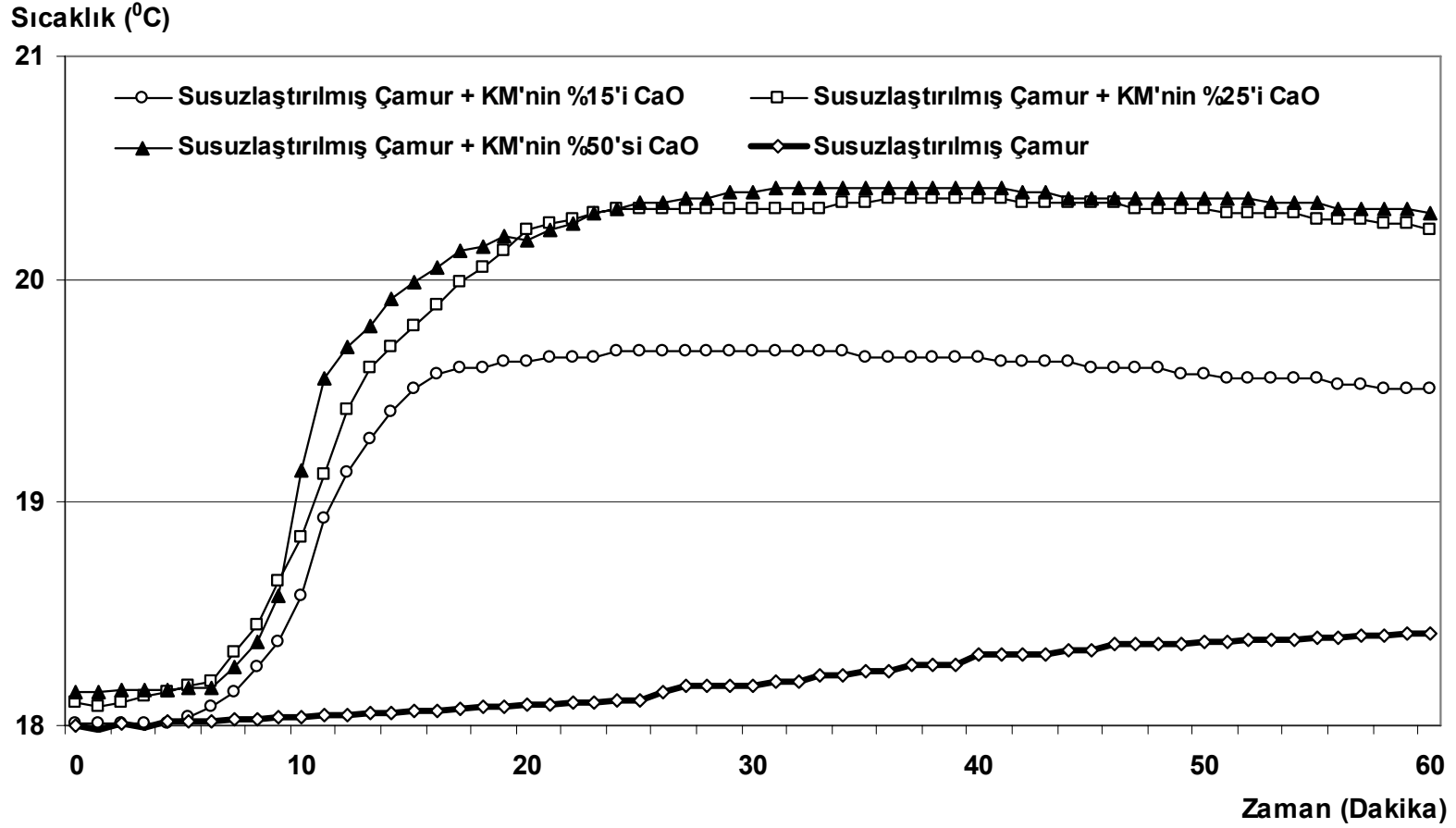


Eşitliği sebebiyle çamur iç sıcaklığında da önemli bir artış beklense de reaksiyona giren sönmemiş kireç miktarı (KM'nin %15'i) düşük olduğundan oluşan ısı da çamur iç sıcaklığını patojen mikroorganizmaları azaltabilecek ($T > 50^\circ\text{C}$) değerlere çıkaramamıştır. Benzer şekilde Tabasaran (1980) yaptığı çalışmayla, çamur KM'nin %50'si oranında ilave edilen sönmemiş kirecin çamur sıcaklığını önemli ölçüde arttırmadığını ortaya koymuştur. Stokiyometrik olarak hesaplayacak olursak; 1m^2 'de bulunan $0,25\text{ m}^3$ çamurda $P_s = \%20$ KM için çamur katı madde kütlesi $W_s = 51\text{ kg}$ bulunacaktır. KM'nin %15'i (7,65 kg) CaO katılacaktır. CaO'nun %100 saf olduğu kabulüyle ve çamurda reaksiyona girebilecek miktarda serbest su olduğu düşünülürse;



56	18	72	266,7
g/mol	g/mol	g/mol	kcal/kg
7,65	2,46	9,835	36,4

Deneyin yapıldığı hacimde sadece 36,4 kcal bir enerji ortaya çıkmaktadır. Bu değer de 1 kg çamur suyunu buharlaştırmak için 2570,8 kJ (614,02 kcal) (Statsa ve ark. 2006) enerji gereksinimi olduğu düşünüldüğünde oldukça düşük bir değerdir. Laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen 1 saatlik çalışma sonunda ilave edilen en yüksek kireç dozu olan KM'nin %50'si değerinde dahi sadece $2,5^\circ\text{C}$ artış olduğu gözlenmiştir. KM'nin %25'i oranında 30 dakika sonunda KM'nin %50'siyle aynı sıcaklık değerine ulaştığı gözlenmiştir. Çamur katı maddesinin 50% sine kadar ilave edilen sönmemiş kirecin çamur sıcaklığını önemli oranda arttırmadığı belirlenmiştir. Şekil 4.18'de sönmemiş kireç ilavesinden sonra çamur sıcaklığında meydana gelen değişim görülmektedir. Çamur sıcaklığında %10'lar mertebesinde meydana gelen bu artış buharlaşma için yeterli gelmediği gibi patojen mikroorganizmaların giderimi için de yeterli değildir. Bu nedenle KM'nin %15'i oranında bir kireç ilavesinin çamur sıcaklık artışı yönünde önemli bir katkı koymadığı sonucuna varılmıştır.

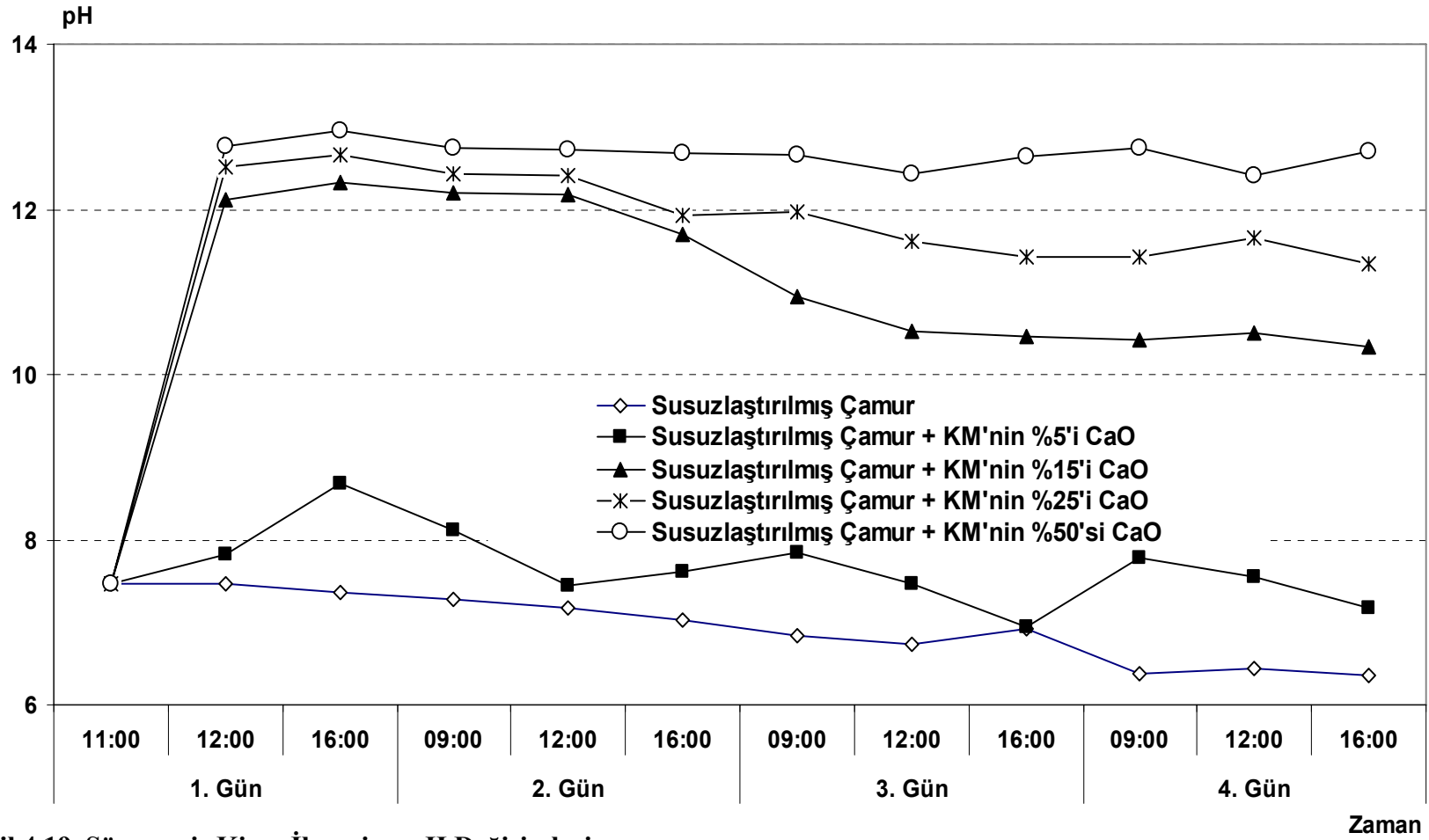


Şekil 4.18. Sönmemiş Kireç İlavesinden Sonra Çamur Sıcaklığında Meydana Gelen Değişim

4.11. Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamur pH'ına Etkileri

Sönmemiş kireç ilavesinden sonra çamur pH'ındaki değişim 4 gün boyunca izlenmiştir. USEPA tarafından tanımlanan İlgili yönetmelikle Amerikan Federal Yönetmelikleri Kodu (Code of Federal Regulations) CFR Bölüm 503 (USEPA 1994)'de Patojenleri Önemli Ölçüde Azaltan Prosesler'e göre $pH > 12$ olacak miktarda kireç ilave edilmesi ve kireç ilavesinden sonra 22 saat boyunca pH'nın 11,5'in altına inmemesinin sağlanması istenmektedir. Bu yüzden yine çamura, katı maddenin 5%, 15%, 25% ve 50% oranında sönmemiş kireç katılmasından sonra çamur pH'ında meydana gelen değişim izlenmiş ve yukarıda belirtilen şartın hangi dozda yakalanabildiği araştırılmıştır.

Deneyde USEPA tarafından önerilen pH düzeltme faktörleri dikkate alınarak Şekil 4.19 oluşturulmuştur. Buna göre KM'nin %15'i CaO miktarının çamur pH'sını 24 saat boyunca 12'nin üzerinde tuttuğu, 21 saat boyunca da 11'in altına indirmediği belirlenmiştir. KM'nin %50'si oranında CaO'nun ise pH'ı daha kararlı bir biçimde 12'nin üzerinde tuttuğu görülmüştür. Çamura sönmemiş kireç ilavesinin katı madde yüzdesini arttıracığı, patojen giderimi için yüksek sıcaklık ve pH değerlerine ulaşılacağı düşünülmektedir. Çamura kireç uygulamalarında yüksek pH'ın patojen mikroorganizmaların gideriminde ana faktör olduğu belirlenmiştir (USEPA 1979). Çalışmada düşük miktarda sönmemiş kireç uygulanması sonucu $pH > 12$ değerlerini sağladığı ancak yüksek sıcaklık değerlerini ulaşamadığı belirlenmiştir.

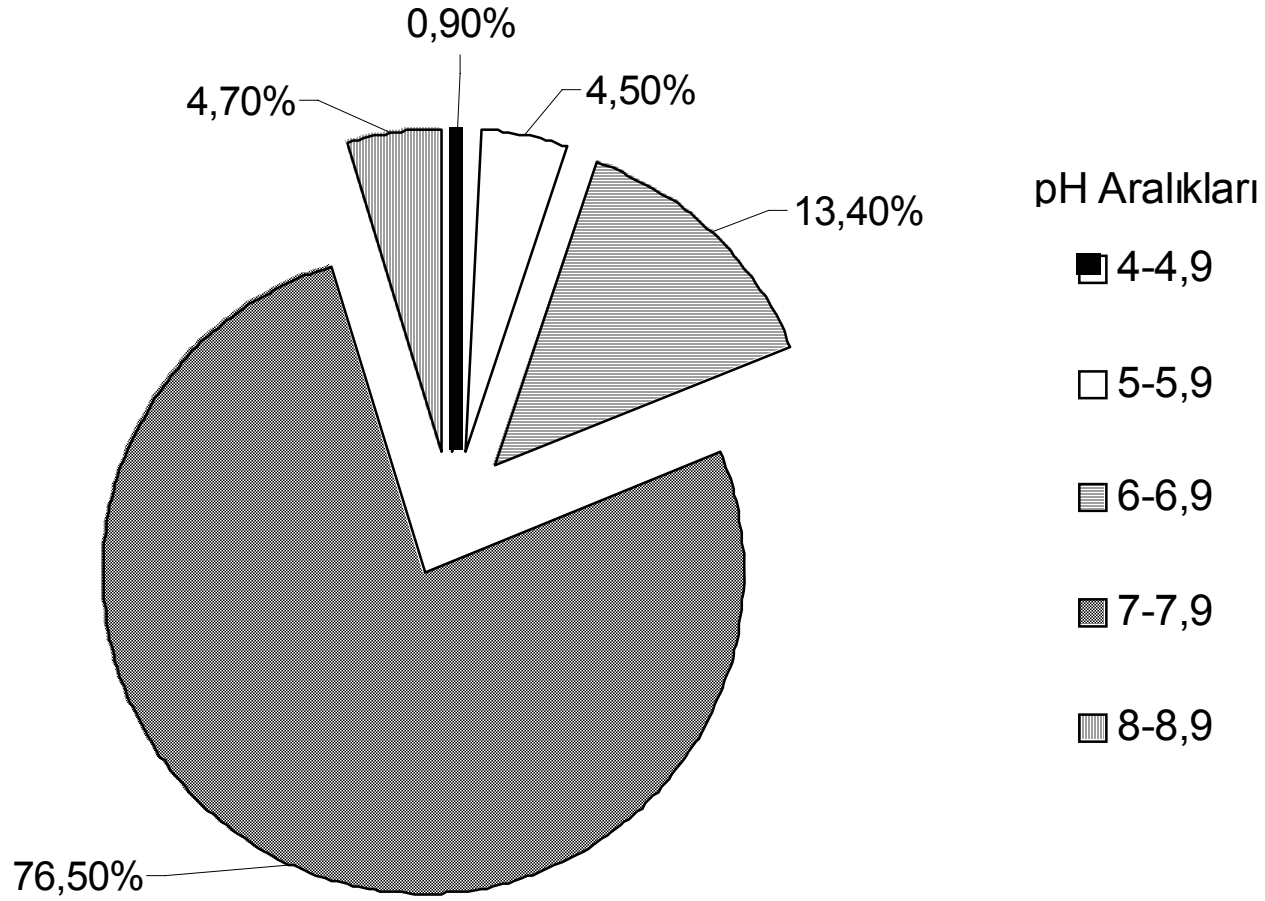


Şekil 4.19. Sönmemiş Kireç İlavesi ve pH Değişimleri

4.12. Sönmemiş Kireç (CaO) İlavesinin Çamurun Toprağa Uygulanabilirliğine Etkileri

Çalışmalarda elde edilen son ürünün pH değeri de değerlendirilmiştir. Her üç dönem sonunda da sönmemiş kireç ilave edildikten sonra % 90 KM değerine gelen ürünlerin pH değerlerine bakıldığında $8,81 \pm 0,73$ değerine indiği belirlenmiştir. Bu da son ürünün toprak iyileştirici olarak kullanılmasını Türkiye’de sınırlandırmaktadır. Çünkü Türkiye topraklarında yapılan çalışmalar toprakların büyük çoğunluğunun alkali karakterde olduğunu göstermiştir. Bununla ilgili bilgi Şekil 4.20’de görülmektedir.

Bu bilgiler ışığında elde edilen ürünün su tutma kapasitesi, toprağa uygulanabilirliği, uzun dönem stabilite durumu, patojen üreme riski, doğal şartlarda organik kısmını parçalanabilirliği, ağır metal ve ark. kirleticilerin sızma kapasitesi vb. konuların uzun dönemli olarak araştırılması gerektiği ortaya konulmuştur.



Şekil 4.20. Türkiye'deki Tarımsal Toprakların pH Dağılımı (TGAE 1998)

4.13. Çamur Kurutma ve Sera Gazı Emisyonları

Son yıllarda çamurun termal yollarla kurutulması önem kazanmakta ve önde gelen çamur işleme teknolojilerinden biri haline gelmektedir (Gruter ve ark. 1990). Çamur kurutucuların seçimi başlangıç ve çıkış nem içeriği, elde edilecek ürünün özellikleri, sistemin işletme ve bakımı ve işlenecek çamurun doğasına ve özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Chen ve ark. 2002). Termal çamur kurutma sistemleri çamur suyunun buharlaştırılması için gerekli enerjinin büyük kısmını fosil kaynaklı yakıtlardan (fuel oil, doğalgaz vb.) temin ettiği için bir emisyon kaynağıdır. Petrol türevli yakıtların kullanımı yeni çevresel etkilerin oluşmasına sebep olmaktadır.

Son 200 yıldır CO₂, CH₄ ve N₂O gibi sera gazlarının atmosferik konsantrasyonları üretim, fosil yakıtların kullanımı, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler gibi antropojenik etkilerle artmıştır (El-Fadel and Massoud 2001). %20 KM'ye mekanik olarak kadar susuzlaştırılmış atıksu arıtma çamurunun termal kurutma ile %90KM'ye getirilmesi için doğal gaz ve 6 no fuel oil kullanılması durumunda oluşturacakları başlıca sera gazı emisyonları Tablo 4.4'te görülmektedir.

1 ton katı maddenin kurutulması için gerekli yakıt miktarı ve oluşturacağı emisyonlar (%20 KM en %90 KM'ye)

%20 KM : 1000 kg KM +4000kg su

%90 1000 kg KM ise

%100 1111.1kg toplam çamur kütesidir.

%90 KM:1000kg KM ve 111.1 kg su kalmıştır.

Yani 4000 kg –111.1 kg= 3888,9 kg su buharlaştırılmalıdır.

1 kg çamur suyunun buharlaştırılması için 2570,8 kJ gereklidir. (Statsa ve ark. 2006)

Burada; 3888,9 kg su x 2570,8 kJ/kg su= 9997584,12 kJ toplam enerjiye ihtiyaç var.

Bu enerjiyi sağlamak için doğalgaz kullanılırsa:

[Toplam Enerji Talebi] / [Doğalgazın Kalorifik Değeri]

$$(9997584,12 \text{ kJ}) / (9155 \text{ kcal/Nm}^3 = 38330,1 \text{ kJ/Nm}^3) =$$

260,82 Nm³ doğalgaz / 1 Ton KM

260,82 Nm³ doğalgaz / 1 Ton KM / Nm³ çevrimi 0,93(a. kg/m³ = a. (273/273+T) kg/m³)

Teorik olarak; 280,45 m³ doğalgaz / 1 Ton KM gerekli olacağı

6 numara Fuel Oil kullanılırsa;

[Toplam Enerji Talebi] / [Fuel Oilin Kalorifik Değeri]

$$(9997584,12 \text{ kJ}) / (9900 \text{ kcal/l} = 41449 \text{ kJ /l}) =$$

241,2 litre /1 Ton KM

Teorik olarak; 0,2412 m³ / 1 Ton KM

Oluşacak emisyon miktarları;

Doğalgaz kullanılırsa;

CO₂ için Emisyon faktörü:

$$120 \text{ 000 lb}/10^6 \text{ scf} = 120 \text{ 000} \times 16 = 1,92 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$1,92 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 280,45 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz} / 1 \text{ ton KM} = \underline{538,46 \text{ kg} / \text{Ton KM}}$$

CH₄ için Emisyon faktörü:

$$2,3 \text{ lb}/10^6 \text{ scf} = 2,3 \times 16 = 36,8 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$36,8 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{m}^3 \times 280,45 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz} / 1 \text{ ton KM} = \underline{0,01 \text{ kg} / \text{Ton KM}}$$

N₂O için Emisyon faktörü

$$2,2 \text{ lb}/10^6 \text{ scf} = 2,2 \times 16 = 35,2 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$35,2 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{m}^3 \times 280,45 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz} / 1 \text{ ton KM} = \underline{0,0098 \text{ kg} / \text{Ton KM}}$$

6 numara Fuel Oil kullanılırsa;

CO₂ için Emisyon faktörü:

$$21500 \text{ lb}/10^3 \text{ gal} = 24400 \times 0,12 = 2928 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$2928 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,2412 \text{ m}^3 \text{ fuel oil} / 1 \text{ ton KM} = \underline{706 \text{ kg} / \text{Ton KM}}$$

CH₄ için Emisyon faktörü:

$$1 \text{ lb}/10^3 \text{ gal} = 1 \times 0,12 = 0,12 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$0,12 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,2412 \text{ m}^3 \text{ fuel oil} / 1 \text{ ton KM} = \underline{0,029 \text{ kg} / \text{Ton KM}}$$

N₂O için Emisyon faktörü

$$0,11 \text{ lb}/10^3 \text{ gal} = 0,11 \times 0,12 = 0,132 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$0,132 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,2412 \text{ m}^3 \text{ fuel oil} / 1 \text{ ton KM} = \underline{0,003 \text{ kg} / \text{Ton KM}}$$

Tablo 4.4. Bir Ton Çamurun %20'den %90 KM'ye Kadar Termal Kurutma ile Kurutulması Durumunda Oluşacak Teorik Sera Gazı Miktarları

Yakıtlar	Emisyon Faktörleri * (kg / m ³)	CO ₂ (kg / Ton KM)	CH ₄ (kg / Ton KM)	N ₂ O (kg / Ton KM)
Doğal Gaz	CO ₂ : 1.92 CH ₄ : 36.8 x10 ⁻⁶ N ₂ O: 35.2 x10 ⁻⁶	538,46	0,01	0,0098
Fuel Oil (No.6)	CO ₂ : 2928 CH ₄ : 0,12 N ₂ O: 0,132	706	0,029	0,003

* (EPA 2006)

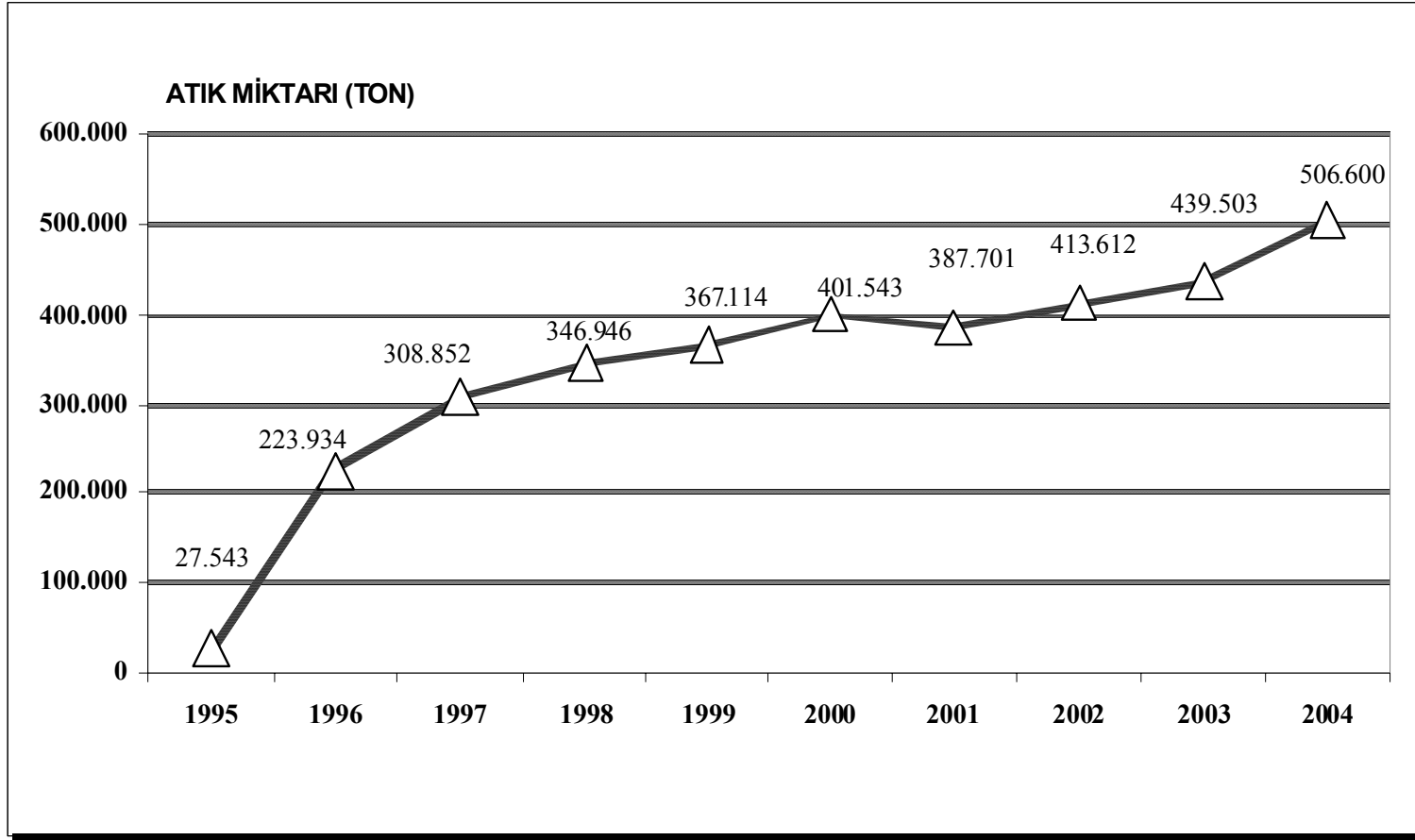
Çamurdaki 1 kg suyun ısıtılması ve buharlaştırılması için gerekli ısı:1 kg of H₂O:
2570.8 kJ/kg (Statsa ve ark. 2006)

4.14. Çamurun Bursa'da Nihai Bertaraf İmkanlarının Araştırılması

Bu bölümde Bursa'da inşa edilen yeni tesislerden oluşması beklenen atık çamurların bertarafında uygulanması düşünülen nihai bertaraf alternatiflerinin bir kısmı incelenmiş ve mevcut durum ortaya konulmaya çalışılmıştır.

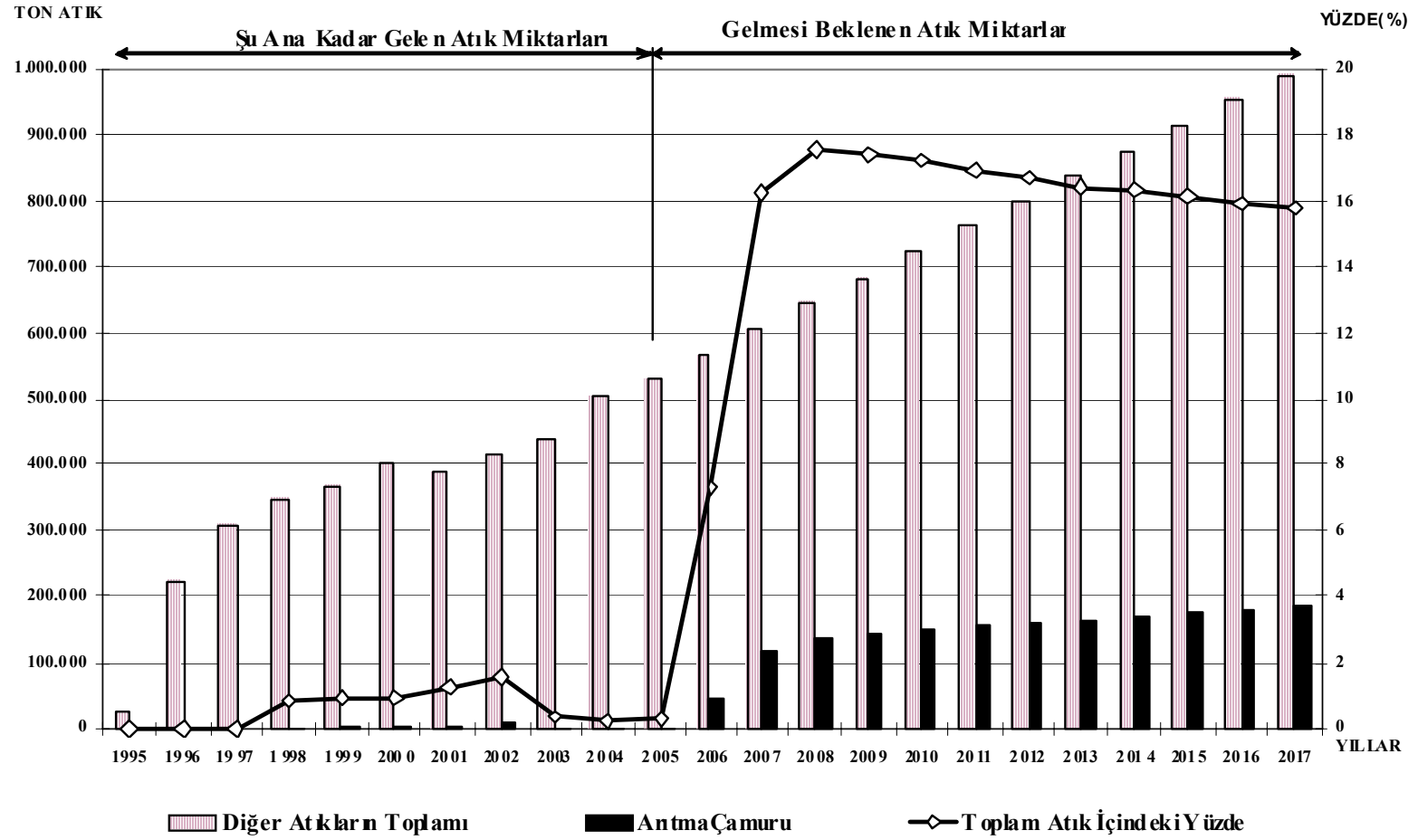
Saha Kapasitesi

Hamitler Kent Atık Depolama Sahası 1995 yılından beri hizmet vermekte olan ülkemizin önde gelen sıhhi depolama sahalarından biridir. Farklı zemin koruma yöntemleriyle teşkil edilmiş vadilerden oluşmaktadır. Sahanın ana tasarım amacı evsel kaynaklı atıkların, tehlikeli olmayan endüstriyel atıkların ve tıbbi atıkların bertarafıdır. Tasarımın yapıldığı dönemde atıksu arıtma tesisi çamurlarının depolanması dikkate alınmamıştır. Toplam atık depolama alanı 80,7ha, toplam depolama hacmi 20.000.000 m³ ve 1992 yılında yapılan fizibiliteye göre saha ömrü 2025 yılıdır. Hamitler'e gelen atık miktarlarıyla ilgili gelişim Şekil 4.21'de görülmektedir.



Şekil 4.21. Hamitler’de Depolanan Atık Miktarları (Bursa Büyükşehir Belediyesi (BBB) 2006)

200.000 ton civarında başlayan yıllık atık miktarı 8 yıl içerisinde 2,5 katına çıkarak 500.000 ton /yıl değerlerine ulaşmıştır. Bu değerler 1992 yılında yapılan fizibilite çalışmasına göre hızlı bir artışın olduğunu göstermektedir. Bu hızlı artışın sebepleri; hızlı nüfus artışı, atık toplama hizmetlerinin gelişmesi ve hizmet verilen alanın genişlemesiyle izah edilebilir. Saha kapasitesi yönünden incelendiğinde Hamitler Kent Katı Atık Depolama Sahası'na yalnızca Büyükşehir'in yeni hizmet vermeye başladığı alanda ekonomik taşıma mesafesi içerisinde yer alan yerleşimlerin atıklarının gelmesi durumunda bile sahanın öngörüldüğü tarih olan 2025 yerine 2019 yılında depolama ömrünü tamamlayacağı beklenmektedir. Hamitler Kent Katı Atık Depolama Sahası halen tüm inşaat aşamaları tamamlanmamış bir alandır. Hızla artan yıllık atık miktarları, bu sahaya kabul edilen atıkların mevcut artış değerleri göz önüne alındığında dahi sahanın bölge için önemini ortaya koymaktadır. Bursa'da oluşan ve Hamitler'e gelen atıklar ve oluşacak çamurun toplam atık içerisindeki yüzdesini gösteren Şekil 4.22'de görülmektedir.



Şekil 4.22. Hamitler Katı Atık depolama Sahasına Gelmesi Beklenen Atık ve Çamur Miktarları

Hamitler Kent Katı Atık Depolama Sahası Bursa kent merkezinde oluşan evsel, tehlikeli olmayan endüstriyel ve tıbbi atıkların depolanması amacıyla tasarlanmış bir alandır. Tüm gereksinimleri bu doğrultuda belirlenmiştir. Sahanın genel vadi yapısı üzerine oturan çok aşamalı inşa planı da bunu göstermektedir. Bu sahada çamurun ayrıca depolanması için uygun bir monofil (sadece çamurun depolanacağı saha) bulunmamaktadır. Bursa’da oluşacak arıtma çamurlarının katı atıklarla birlikte depolanması için sahanın kapasitesi yeterli değildir. Sahadaki sızıntı suyu arıtma tesisinin uygun şekilde çalıştırılması ve dolayısıyla Batı Atıksu Arıtma Tesisine gelecek yükün artmaması için çamurun Hamitler’e depolanmaması gerekmektedir. 2007’den itibaren Avrupa Birliği ülkelerinde depolama sahalarına gidecek atık içerisindeki organik madde miktarının %5’in üstüne çıkmaması istenmektedir. Bu durumda Avrupa Birliği’nin gerek çamurlar gerekse katı atıklar için geri kazanım, kompost ve yakma teknolojilerine doğru bir yönlendirmede bulunduğu görülmektedir.

BUSKİ ile ortak yürütülen proje kapsamında “Güneşle Kurutma” yaklaşımının uygulanabilir olduğu teknik ve mali açıdan ispatlanmıştır. Bu yöntemde çamur sahada çok düşük miktarda kireç ilavesiyle %35 KM’ye çıkarılmaktadır. Oluşacak bu çamurla ilgili diğer çözüm önerileri şu şekilde özetlenebilir.

Hamitler Sıhhi Depolama Sahasında Depolama (BBB 2006)

- Gelen atık miktarı 1200-1500 Ton / Gün,
- Kalan depolama ömrü yaklaşık 13 Yıl,
- Bursa’da 2 kentsel, 2 sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisi atık çamurlarını Hamitler’e getirmeyi planlıyor,
- Çamur depolama saha stabilitesini bozuyor ve kaymalar gerçekleşiyor,
- Depolanacak çamur, sızıntı suyuna gelecek yükü artıracak.

Terkedilmiş Taş Ve Kil Ocaklarında Depolama

- Kısa ve orta vadeli bir alternatif,
- Uygun taşıma mesafesinde yeterli hacimde saha mevcut değil,
- En yakın alternatif sadece Batı Arıtmaya hitap edebilecek kapasitede,
- Taş ocağının mülkiyet sorunu ve çevresel boyutu sorun oluşturuyor.

Bursa Çimento Fabrikasında Yakma

- Nihai bertaraf alternatifi,
- Avrupa'da uygulanıyor,
- Ülkemizde evsel atıksu çamuru yakan bir çimento tesisi bulunmuyor,
- Ek yakıt ve ikame malzemesi olarak güvenilir olarak kabul edilmiyor,
- Tesis içi ve emisyon kontrolünde ilave yatırım gerekiyor.
- Çimento firması için olumsuz bir imaj yaratma ve kamuoyu baskısı oluşturma riski var.

Orhaneli Termik Santralinde Yakma

- Nihai bertaraf alternatifi,
- Baca gazı emisyonları için ilave yatırım gerekebilir,
- Taşıma mesafesi 50 km civarı ve güzergah Bursa'nın içme suyu kaynağı olan Doğancı Barajının gövdesinden geçiyor.

Kompost Elde Edilmesi

- Kabul gören bir bertaraf yöntemi,
- Kompost oluşturmak için gerekli atık tarımsal atık, talaş vb. ilaveler yeterli değil,
- Üretilecek ürünün içeriği değişkenlik gösteriyor,
- Ürün için pazarlama sorunları mevcut.

Mevcut Lagünlerde Depolama

- Kısa vadeli bir alternatif,
- Koku ve vektör riski mevcut,
- Açık ortamda yağışa maruz kalan çamurun depolanması problem yaratacak ,
- Depolanan çamurun daha sonra başka bir bertaraf işlemine ihtiyacı bulunuyor.

Alternatif Teknolojiler

- Plazma, ıslak oksidasyon, piroliz vb. teknolojilerin ilk yatırım, işletme ve uygulama tecrübesiyle ilgili bazı sıkıntıları bulunuyor.

Güneşle, Kapalı Sistemde Kurutma

- Yenilenebilir bir enerji kaynağından istifade ediliyor,
- Sistemin atmosferik ve mevsimsel şartların etkilerinin kontrol altına alınması sağlanıyor,
- Kontrollü bir hacimde gerçekleştirilen proseste standart nihai ürün elde ediliyor,
- Kapalı hacimde oluşacak su buharının, uçucu bileşiklerin ve kokunun kontrolü daha kolay yapılabiliyor,
- Özel durumlarda geçici depolamanın da gerçekleştirilebileceği bir hacim oluşturuluyor,
- Tesiste diğer ünitelerle bütünlük arz edecek ve estetik kaygıları ortadan kaldıracak bir yapının oluşuyor,
- Kireç ilavesi çok az olduğundan oluşacak nihai ürünün hacim ve kütlesi önemli miktarda azalıyor ve bu maliyetlere yansıyor,

4.15. Ekonomik Analiz

Çamurların Sınırlı Kireçleme ve Kapalı Kurutma Yatağında Kurutulması Sonrası Depolanması İle Kireç Stabilizasyonu Sonrası Depolanmasının Örnek Bir Çalışmayla Ekonomik Analizi

Bu çalışmanın önemli aşamalarından biri güneşle çamur kurutmanın uygulanabilirliğinin incelenmesini içermektedir. Bu amaçla teknik tasarı, laboratuvar çalışmaları, pilot ölçekli uygulama sonuçlarının yanı sıra ekonomik olarak da izaha ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle, BUSKİ Doğu (DAAT) ve Batı (BAAT) Atıksu Arıtma Tesislerinden çıkacak çamur miktarları gözönüne alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmenin omurgasını bu tesislerin 1. Kademesini oluşturan 2006-2017 yılları arasında önerilen çamur bertaraf mekanizmasına karşılık güneşle çamur kurutma sisteminin ilk yatırım ve işletme yönünden irdelenmesi ve fiyatlandırılması oluşturmuştur.

Proje sonuç raporunda BUSKİ Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesislerinden çıkacak çamurun yarısının patojen riskini azaltacak şekilde %24 KM'ye kadar kireçlenmesi ve mevcut lagünlerde geçici depolanması, yarısının ise %35 KM'ye kadar kireçlenerek Hamitler Katı Atık Depolama Sahasına depolanması hedeflenmiştir. Ekonomik analiz için; tüm çamurun %35KM'ye kadar (KM'nin %75'i) kireçlendikten

sonra depolama sahasına gönderilmesi ile çamurun katı maddenin %15'i kireç ilavesinden sonra güneşle kurutma ile %35 KM'ye çıkartılarak depolama sahasına gönderilmesi dikkate alınmıştır. Tablo 4.5'te hesaplama sırasında kullanılan bazı parametreler ve Tablo 4.6'te yıllara göre faiz, ana para ve amortisman hesabında kullanılan eşitlikler görülmektedir.

Tablo 4.5. Hesaplamada Dikkate Alınan Faktörler ve Birim Değerler

Faktörler	Birim Değerler
Sönmemiş Kireç	75 Euro/ Ton
DAAT'den Hamitlere Nakliye	8 Euro / Ton Çamur
BAAT'den Hamitlere Nakliye	4 Euro / Ton Çamur
Güneşle Kurutma Sistemi İçin Kireç Miktarı	0. 15 Ton Kireç / Ton Katı Madde
Şartnamede Önerilen Sisteme Göre Kireç Miktarı	0. 77 Ton Kireç/ Ton Katı Madde
Hamitler'e Depolama Bedeli	20 Euro / Ton çamur

Kaynak : BUSKİ Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı Verileri (2006)

Tablo 4.6. Hesaplamada Dikkate Alınan Parametreler ve Eşitlikler

Parametreler	Bileşen	Faiz (%)	Yıl	Eşitlikler
Single Payment Compound Amount (Tek Ödeme Bileşik Bedeli)	(F/P;i%;n)	6 ve 4	5	$(1 + (i \% / 100))^n$
Single Payment Present Worth (Tek Ödeme Mevcut Bedeli)	(P/F;i%;n)	6 ve 4	5	$(1 / ((1 + (i \% / 100))^n))$
Sinking Fund (Amortisman Fonu)	(A/F;i%;n)	6 ve 4	5	$(i \% / 100) / (((1 + (i \% / 100))^n) - 1)$
Uniform Series Compound Amount (Üniform Seri Bileşik Bedeli)	(F/A;i%;n)	6 ve 4	5	$((1 + (i \% / 100))^n - 1) / (i \% / 100)$
Capital Recovery (Anapara Geri Ödeme)	(A/P;i%;n)	6 ve 4	5	$\$O\$34 * (((\$D\$7 / 100) * ((1 + (\$D\$7 / 100))^n - 1)) / (((1 + (\$D\$7 / 100))^n - 1)))$
Uniform Series Present Worth (Üniform Seri Mevcut Değeri)	(P/A;i%;n)	6 ve 4	5	$((1 + (i \% / 100))^n - 1) / ((i \% / 100) * ((1 + (i \% / 100))^n))$

Kaynak : BUSKİ Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı Verileri (2006)

Tablo 4.7. Çamur Bertaraf Alternatiflerinin Ekonomik Değerlendirmesi (Doğu Atıksu Arıtma Tesisi - %6 Faiz Oranı İçin)

DOĞU ATIKSU ARITMA TESİSİ (DAAT)													
Yıllar	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOPLAM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Sera taşıyıcı sistem ve binası inşaatı (mevcut 3,4 ve 5 no.lu lagünler)	5.200.000				52.000					57.200			
Mimari tefrişat ve güneş kolektörleri	500.000				125.000					137.500			
Örtü sistemi (Çatı) (poli karbonat ve profiller)					260.000					286.000			
Çevre Düzenleme	50.000				5.000					5.500			
Çevre Yolları	150.000				7.500					8.250			
Elektrik Sistemi	100.000				5.000					5.500			
Mekanik Ekipmanlar	750.000				60.000					66.000			
Mekanik Sistemler	20.000				2.000					2.200			
Havalandırma sistemi ve gaz arıtımı	150.000				7.500					8.250			
İlk yatırım bedeli ara toplam (Euro)	6.920.000				524.000					576.400			
İşletme Bedeli													
Personel	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	
Elektrik enerjisi	21.590	21.590	21.590	22.670	23.803	24.994	26.243	27.555	28.933	30.380	31.899	33.494	
Ekipman sarfiyatı	30.000	30.000	31.500	33.075	34.729	36.465	38.288	40.203	42.213	44.324	46.540	48.867	
Sönmemiş Kireç bedeli	153.675	160.425	167.175	174.510	181.541	188.573	195.615	202.646	209.678	216.709	223.740	230.783	
Hamitlere nakliye	328.621	343.055	357.489	373.174	388.210	403.246	418.306	433.341	448.377	463.413	478.448	493.508	
Hamitlere depolama bedeli	821.551	857.637	893.723	932.936	970.525	1.008.115	1.045.764	1.083.353	1.120.943	1.158.532	1.196.121	1.233.771	
İşletme Gideri ara toplam (Euro)	1.400.417	1.457.687	1.516.457	1.581.345	1.643.789	1.706.371	1.769.196	1.832.079	1.895.123	1.958.337	2.021.728	2.085.402	
Güneşle Kurutma Sistemi													
Toplam	8.320.417	1.457.687	1.516.457	1.581.345	2.167.789	1.706.371	1.769.196	1.832.079	1.895.123	2.534.737	2.021.728	2.085.402	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	8.320.417	1.375.177	1.349.642	1.327.728	1.717.092	1.275.100	1.247.213	1.218.437	1.189.024	1.500.307	1.128.922	1.098.564	22.747.622
Şartnamede Belirtilen													
Sönmemiş Kireç bedeli	471.270	491.970	512.670	535.164	931.912	968.006	1.004.157	1.040.251	1.076.345	1.112.438	1.148.532	1.184.684	
Hamitlere nakliye	315.273	329.121	342.969	358.017	744.884	773.734	802.630	831.480	860.330	889.180	918.030	946.926	
Hamitlere depolama bedeli	788.182	822.802	857.422	895.042	1.862.210	1.934.335	2.006.575	2.078.700	2.150.825	2.222.950	2.295.075	2.367.316	
Toplam	1.574.725	1.643.893	1.713.061	1.788.223	3.539.005	3.676.074	3.813.362	3.950.431	4.087.500	4.224.569	4.361.637	4.498.925	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	1.574.725	1.550.842	1.524.618	1.501.427	2.803.224	2.746.977	2.688.270	2.627.262	2.564.548	2.500.516	2.435.515	2.369.978	26.887.901
Tüm Çamurun Hamitlere Depolanması													
Sönmemiş Kireç bedeli	788.865	823.515	858.165	895.818	931.912	968.006	1.004.157	1.040.251	1.076.345	1.112.438	1.148.532	1.184.684	
Hamitlere nakliye	630.546	658.242	685.938	716.034	744.884	773.734	802.630	831.480	860.330	889.180	918.030	946.926	
Hamitlere depolama bedeli	1.576.364	1.645.604	1.714.844	1.790.085	1.862.210	1.934.335	2.006.575	2.078.700	2.150.825	2.222.950	2.295.075	2.367.316	
Toplam	2.995.775	3.127.361	3.258.947	3.401.937	3.539.005	3.676.074	3.813.362	3.950.431	4.087.500	4.224.569	4.361.637	4.498.925	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	2.995.775	2.950.340	2.900.451	2.856.332	2.803.224	2.746.977	2.688.270	2.627.262	2.564.548	2.500.516	2.435.515	2.369.978	32.439.187

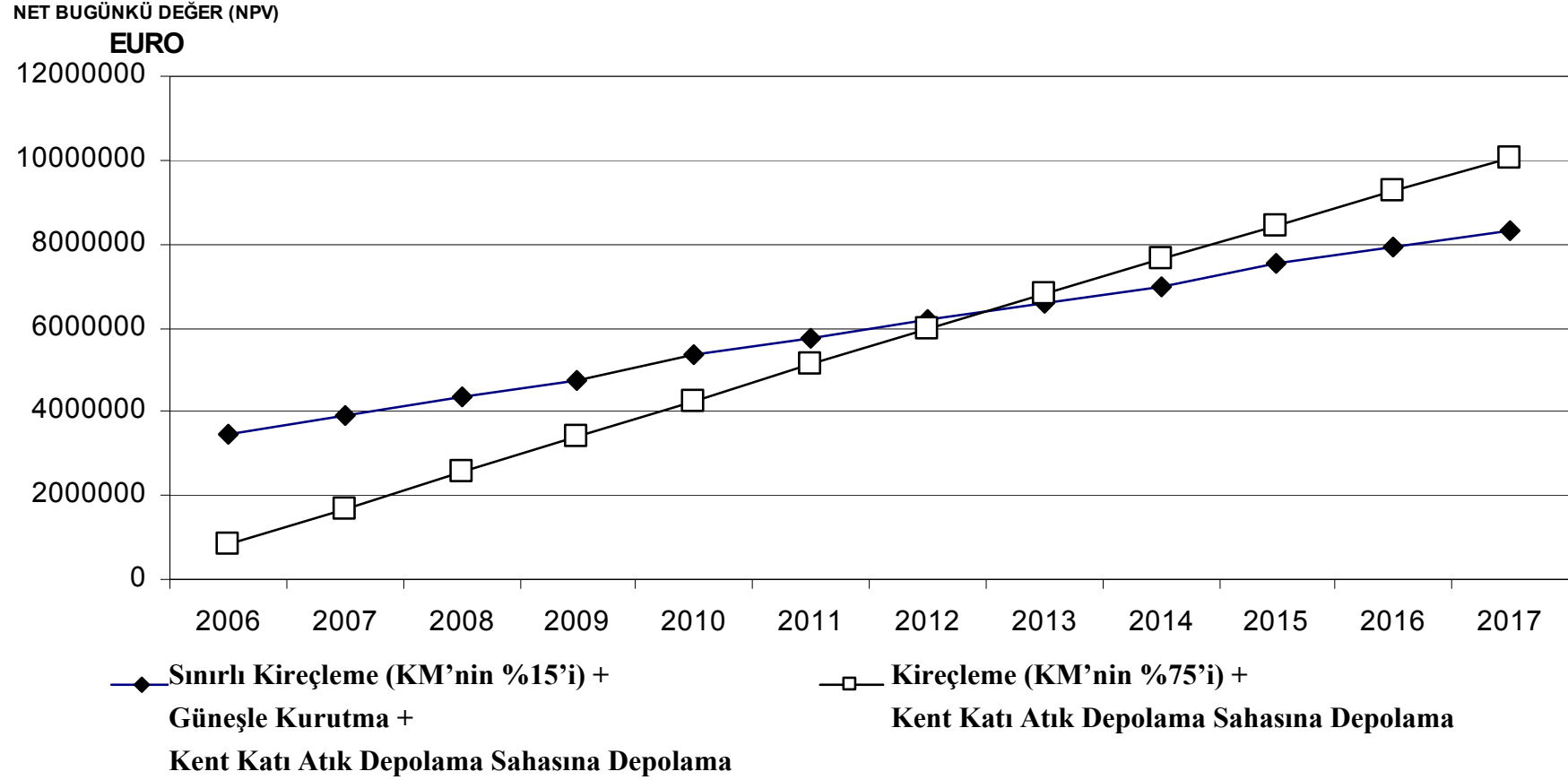
Sönmemiş kireç birim fiyatı : 75 Euro/ Ton

DAAT'den Hamitlere nakliye birim fiyatı : 8 Euro / Ton çamur

Güneşle kurutma sistemi için kireç miktarı : 0. 15 Ton kireç / Ton katı madde

Şartnamede önerilen sisteme göre kireç miktarı: 0. 77 Ton kireç/Ton katı madde

Hamitlere depolama bedeli : 20 Euro/ton çamur



Şekil 4.23. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (DAAT) Çamur Bertaraf Alternatifleri İçin Net Bugünkü Değer (Net Present Value - NPV) Karşılaştırması (%6 Faiz Oranı İçin)

Tablo 4.8. Çamur Bertaraf Alternatiflerinin Ekonomik Değerlendirmesi (Batı Atıksu Arıtma Tesisi - %6 Faiz Oranı için)

BATI ATIKSU ARITMA TESİSİ (BAAT)													TOPLAM
Yıllar	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Sera taşıyıcı sistem ve binası inşaatı (mevcut 3,4 ve 5 no.lu lagünler)	2.500.000				25.000					27.500			
Mimari tefrişat ve güneş kolektörleri	150.000				37.500					41.250			
Örtü sistemi (Çatı) (poli karbonat ve profiller)					125.000					137.500			
Çevre Düzenleme	15.000				1.500					1.650			
Çevre Yolları	50.000				2.500					2.750			
Elektrik Sistemi	50.000				2.500					2.750			
Mekanik Ekipmanlar	250.000				20.000					22.000			
Mekanik Sistemler	5.000				2.000					2.200			
Havalandırma sistemi ve gaz arıtımı	50.000				2.500					2.750			
İlk yatırım bedeli ara toplam (Euro)	3.070.000				218.500					240.350			
İşletme Bedeli													
Personel	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	
Elektrik enerjisi	10.795	10.795	10.795	11.335	11.902	10.795	21.590	22.670	23.803	24.994	26.243	27.555	
Ekipman sarfiyatı	30.000	30.000	31.500	33.075	34.729	30.000	31.500	34.650	38.115	41.927	46.119	50.731	
Sönmemiş Kireç bedeli	47.250	51.750	56.250	58.568	61.999	65.441	68.895	72.338	75.780	79.223	82.665	85.894	
Hamitlere nakliye	50.520	55.331	60.143	62.621	66.289	69.970	73.663	77.344	81.024	84.705	88.386	91.838	
Hamitlere depolama bedeli	252.600	276.657	300.714	313.104	331.447	349.851	368.315	386.719	405.122	423.526	441.930	459.191	
İşletme Gideri ara toplam (Euro)	413.629	446.998	481.866	501.166	528.830	548.522	586.427	616.184	646.309	676.838	707.807	737.673	
Güneşle Kurutma Sistemi													
Toplam	3.483.629	446.998	481.866	501.166	747.330	548.522	586.427	616.184	646.309	917.188	707.807	737.673	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	3.483.629	421.696	428.859	420.789	591.955	409.887	413.408	409.797	405.502	542.882	395.236	388.597	8.312.238
Şartnamede Belirtilen													
Sönmemiş Kireç bedeli	144.900	158.700	172.500	179.607	190.130	200.687	211.278	371.333	389.004	406.676	424.347	440.921	
Hamitlere nakliye	48.468	53.084	57.700	60.077	63.597	67.128	70.671	148.404	155.467	162.529	169.592	176.216	
Hamitlere depolama bedeli	242.340	265.420	288.500	300.386	317.985	335.641	353.355	742.022	777.334	812.647	847.959	881.079	
Toplam	435.708	477.204	518.700	540.070	571.711	603.456	635.304	1.261.759	1.321.805	1.381.852	1.441.898	1.498.216	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	435.708	450.192	461.641	453.454	452.849	450.937	447.864	839.142	829.317	817.916	805.148	789.242	7.233.410
Tüm Çamurun Hamitlere Depolanması													
Sönmemiş Kireç bedeli	242.550	265.650	288.750	300.647	318.260	335.932	353.661	371.333	389.004	406.676	424.347	440.921	
Hamitlere nakliye	96.936	106.168	115.400	120.154	127.194	134.256	141.342	148.404	155.467	162.529	169.592	176.216	
Hamitlere depolama bedeli	484.680	530.840	577.000	600.772	635.969	671.282	706.710	742.022	777.334	812.647	847.959	881.079	
Toplam	824.166	902.658	981.150	1.021.573	1.081.424	1.141.470	1.201.713	1.261.759	1.321.805	1.381.852	1.441.898	1.498.216	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	824.166	851.564	873.220	857.733	856.589	852.973	847.160	839.142	829.317	817.916	805.148	789.242	10.044.169

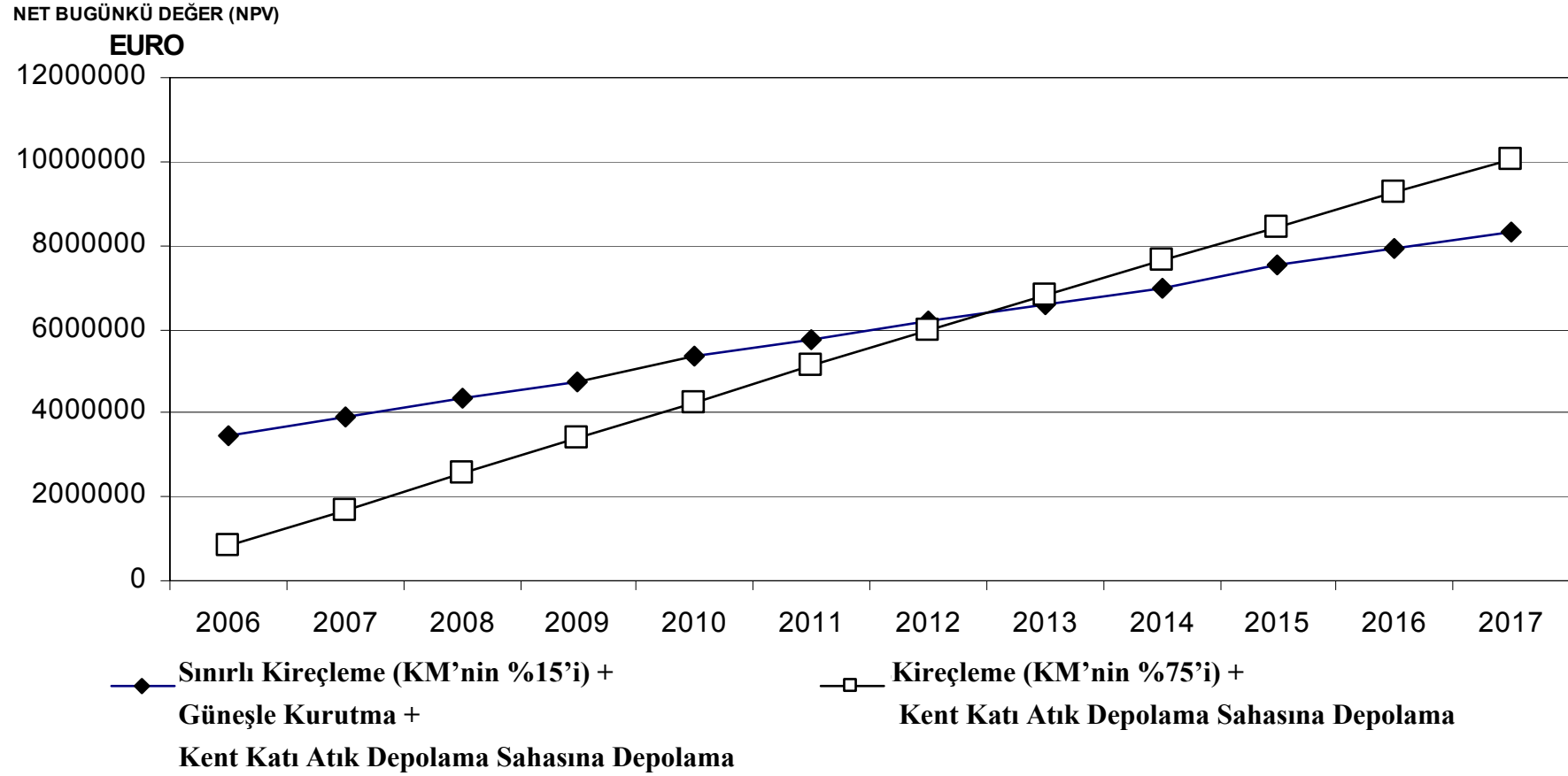
Sönmemiş kireç birim fiyatı : 75 Euro/ Ton

BAAT'den Hamitlere nakliye birim fiyatı : 4 Euro / Ton çamur

Güneşle kurutma sistemi için kireç miktarı : 0. 15 Ton kireç / Ton katı madde

Şartnamede önerilen sisteme göre kireç miktarı: 0. 77 Ton kireç/Ton katı madde

Hamitlere depolama bedeli : 20 Euro/ton çamur



Şekil 4.24. Batı Atıksu Arıtma Tesisi (BAAT) Çamur Bertaraf Alternatifleri İçin Net Bugünkü Değer (Net Present Value - NPV) Karşılaştırması (%6 Faiz Oranı İçin)

Tablo 4.9. Çamur Bertaraf Alternatiflerinin Ekonomik Değerlendirmesi (Doğu Atıksu Arıtma Tesisi - %4 Faiz Oranı İçin)**DOĞU ATIKSU ARITMA TESİSİ (DAAT)**

Yıllar	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOPLAM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Sera taşıyıcı sistem ve binası inşaatı (mevcut 3,4 ve 5 no.lu lagünler)	5.200.000				52.000					57.200			
Mimari tefrişat ve güneş kolektörleri	500.000				125.000					137.500			
Örtü sistemi (Çatı) (poli karbonat ve profiller)					260.000					286.000			
Çevre Düzenleme	50.000				5.000					5.500			
Çevre Yolları	150.000				7.500					8.250			
Elektrik Sistemi	100.000				5.000					5.500			
Mekanik Ekipmanlar	750.000				60.000					66.000			
Mekanik Sistemler	20.000				2.000					2.200			
Havalandırma sistemi ve gaz arıtımı	150.000				7.500					8.250			
İlk yatırım bedeli ara toplam (Euro)	6.920.000				524.000					576.400			
İşletme Bedeli													
Personel	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	44.980	
Elektrik enerjisi	21.590	21.590	21.590	22.670	23.803	24.994	26.243	27.555	28.933	30.380	31.899	33.494	
Ekipman sarfiyatı	30.000	30.000	31.500	33.075	34.729	36.465	38.288	40.203	42.213	44.324	46.540	48.867	
Sönmemiş Kireç bedeli	153.675	160.425	167.175	174.510	181.541	188.573	195.615	202.646	209.678	216.709	223.740	230.783	
Hamitlere nakliye	328.621	343.055	357.489	373.174	388.210	403.246	418.306	433.341	448.377	463.413	478.448	493.508	
Hamitlere depolama bedeli	821.551	857.637	893.723	932.936	970.525	1.008.115	1.045.764	1.083.353	1.120.943	1.158.532	1.196.121	1.233.771	
İşletme Gideri ara toplam (Euro)	1.400.417	1.457.687	1.516.457	1.581.345	1.643.789	1.706.371	1.769.196	1.832.079	1.895.123	1.958.337	2.021.728	2.085.402	
Güneşle Kurutma Sistemi													
Toplam	8.320.417	1.457.687	1.516.457	1.581.345	2.167.789	1.706.371	1.769.196	1.832.079	1.895.123	2.534.737	2.021.728	2.085.402	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	8.320.417	1.401.622	1.402.050	1.405.810	1.853.035	1.402.513	1.398.221	1.392.229	1.384.748	1.780.872	1.365.807	1.354.637	24.461.963
Şartnamede Belirtilen													
Sönmemiş Kireç bedeli	471.270	491.970	512.670	535.164	931.912	968.006	1.004.157	1.040.251	1.076.345	1.112.438	1.148.532	1.184.684	
Hamitlere nakliye	315.273	329.121	342.969	358.017	744.884	773.734	802.630	831.480	860.330	889.180	918.030	946.926	
Hamitlere depolama bedeli	788.182	822.802	857.422	895.042	1.862.210	1.934.335	2.006.575	2.078.700	2.150.825	2.222.950	2.295.075	2.367.316	
Toplam	1.574.725	1.643.893	1.713.061	1.788.223	3.539.005	3.676.074	3.813.362	3.950.431	4.087.500	4.224.569	4.361.637	4.498.925	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	1.574.725	1.580.666	1.583.821	1.589.724	3.025.157	3.021.465	3.013.756	3.002.003	2.986.696	2.968.126	2.946.566	2.922.416	30.215.120
Tüm Çamurun Hamitlere Depolanması													
Sönmemiş Kireç bedeli	788.865	823.515	858.165	895.818	931.912	968.006	1.004.157	1.040.251	1.076.345	1.112.438	1.148.532	1.184.684	
Hamitlere nakliye	630.546	658.242	685.938	716.034	744.884	773.734	802.630	831.480	860.330	889.180	918.030	946.926	
Hamitlere depolama bedeli	1.576.364	1.645.604	1.714.844	1.790.085	1.862.210	1.934.335	2.006.575	2.078.700	2.150.825	2.222.950	2.295.075	2.367.316	
Toplam	2.995.775	3.127.361	3.258.947	3.401.937	3.539.005	3.676.074	3.813.362	3.950.431	4.087.500	4.224.569	4.361.637	4.498.925	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	2.995.775	3.007.078	3.013.079	3.024.309	3.025.157	3.021.465	3.013.756	3.002.003	2.986.696	2.968.126	2.946.566	2.922.416	35.926.425

Sönmemiş kireç birim fiyatı : 75 Euro/ Ton

DAAT'den Hamitlere nakliye birim fiyatı : 8 Euro / Ton çamur

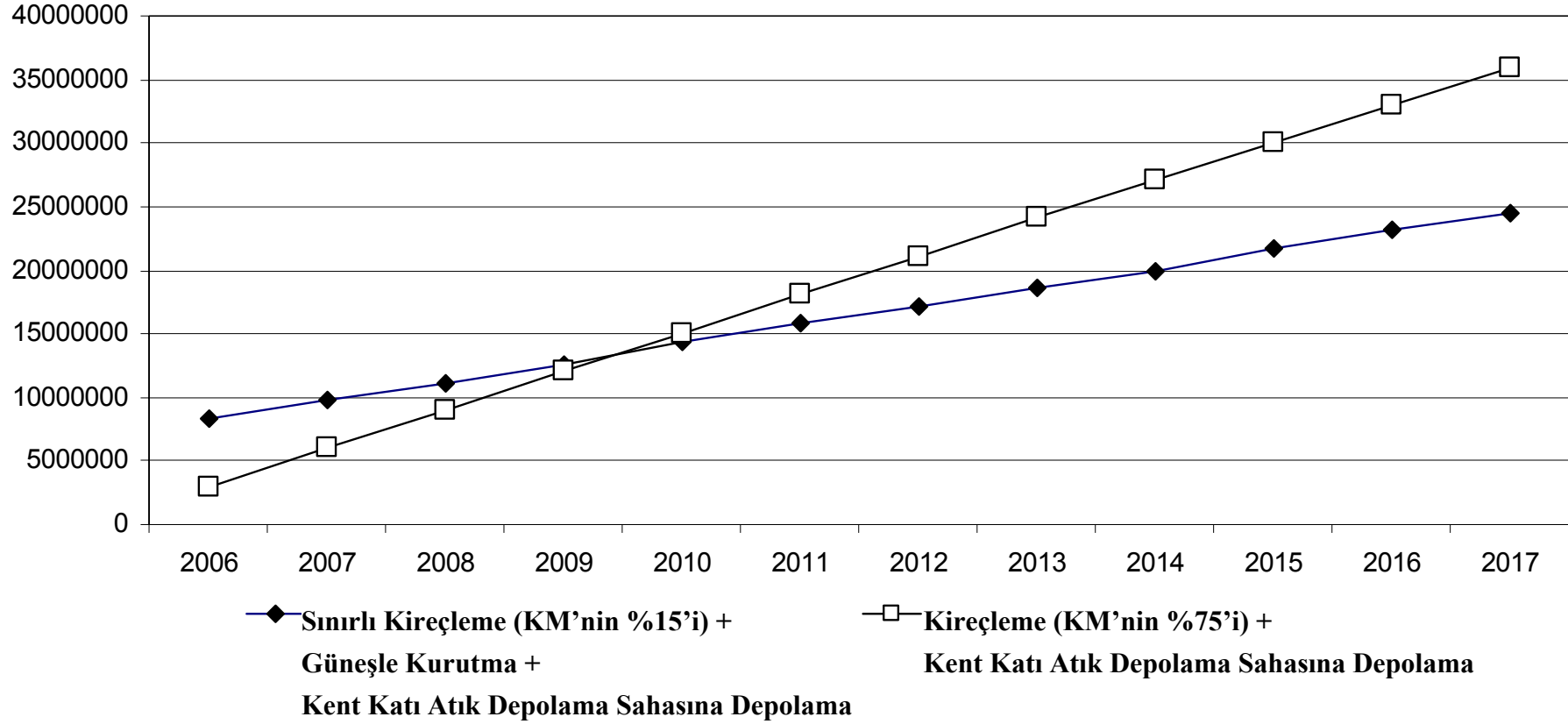
Güneşle kurutma sistemi için kireç miktarı : 0. 15 Ton kireç / Ton katı madde

Şartnamede önerilen sisteme göre kireç miktarı: 0. 77 Ton kireç/Ton katı madde

Hamitlere depolama bedeli : 20 Euro/ton çamur

NET BUGÜNKÜ DEĞER (NPV)

EURO



Şekil 4.25. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (DAAT) Çamur Bertaraf Alternatifleri İçin Net Bugünkü Değer (Net Present Value – NPV) Karşılaştırması (%4 Faiz Oranı İçin)

Tablo 4.10. Çamur Bertaraf Alternatiflerinin Ekonomik Değerlendirmesi (Batı Atıksu Arıtma Tesisi - %4 Faiz Oranı İçin)

BATI ATIKSU ARITMA TESİSİ (BAAT)													
Yıllar	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOPLAM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Sera taşıyıcı sistem ve binası inşaatı (mevcut 3,4 ve 5 no.lu lagünler)	2.500.000				25.000					27.500			
Mimari tefrişat ve güneş kolektörleri	150.000				37.500					41.250			
Örtü sistemi (Çatı) (poli karbonat ve profiller)					125.000					137.500			
Çevre Düzenleme	15.000				1.500					1.650			
Çevre Yolları	50.000				2.500					2.750			
Elektrik Sistemi	50.000				2.500					2.750			
Mekanik Ekipmanlar	250.000				20.000					22.000			
Mekanik Sistemler	5.000				2.000					2.200			
Havalandırma sistemi ve gaz arıtımı	50.000				2.500					2.750			
İlk yatırım bedeli ara toplam (Euro)	3.070.000				218.500					240.350			
İşletme Bedeli													
Personel	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	22.464	
Elektrik enerjisi	10.795	10.795	10.795	11.335	11.902	12.497	13.122	13.778	14.467	15.190	15.949	16.747	
Ekipman sarfiyatı	30.000	30.000	31.500	33.075	34.729	30.000	31.500	34.650	38.115	41.927	46.119	50.731	
Sönmemiş Kireç bedeli	47.250	51.750	56.250	58.568	61.999	65.441	68.895	72.338	75.780	79.223	82.665	85.894	
Hamitlere nakliye	50.520	55.331	60.143	62.621	66.289	69.970	73.663	77.344	81.024	84.705	88.386	91.838	
Hamitlere depolama bedeli	252.600	276.657	300.714	313.104	331.447	349.851	368.315	386.719	405.122	423.526	441.930	459.191	
İşletme Gideri ara toplam (Euro)	413.629	446.998	481.866	501.166	528.830	550.223	577.958	607.291	636.972	667.034	697.513	726.865	
Güneşle Kurutma Sistemi													
Toplam	3.483.629	446.998	481.866	501.166	747.330	550.223	577.958	607.291	636.972	907.384	697.513	726.865	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	3.483.629	429.806	445.512	445.535	638.821	452.243	456.769	461.492	465.429	637.516	471.215	472.157	8.860.124
Şartnamede Belirtilen													
Sönmemiş Kireç bedeli	144.900	158.700	172.500	179.607	190.130	200.687	211.278	371.333	389.004	406.676	424.347	440.921	
Hamitlere nakliye	48.468	53.084	57.700	60.077	63.597	67.128	70.671	148.404	155.467	162.529	169.592	176.216	
Hamitlere depolama bedeli	242.340	265.420	288.500	300.386	317.985	335.641	353.355	742.022	777.334	812.647	847.959	881.079	
Toplam	435.708	477.204	518.700	540.070	571.711	603.456	635.304	1.261.759	1.321.805	1.381.852	1.441.898	1.498.216	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	435.708	458.850	479.567	480.121	488.701	495.996	502.090	958.833	965.830	970.871	974.095	973.213	8.183.874
Tüm Çamurun Hamitlere Depolanması													
Sönmemiş Kireç bedeli	242.550	265.650	288.750	300.647	318.260	335.932	353.661	371.333	389.004	406.676	424.347	440.921	
Hamitlere nakliye	96.936	106.168	115.400	120.154	127.194	134.256	141.342	148.404	155.467	162.529	169.592	176.216	
Hamitlere depolama bedeli	484.680	530.840	577.000	600.772	635.969	671.282	706.710	742.022	777.334	812.647	847.959	881.079	
Toplam	824.166	902.658	981.150	1.021.573	1.081.424	1.141.470	1.201.713	1.261.759	1.321.805	1.381.852	1.441.898	1.498.216	
Net Bugünkü Değer (NPV) (Euro)	824.166	867.940	907.128	908.175	924.405	938.205	949.731	958.833	965.830	970.871	974.095	973.213	11.162.592

Sönmemiş kireç birim fiyatı : 75 Euro/ Ton

BAAT'den Hamitlere nakliye birim fiyatı : 4 Euro / Ton çamur

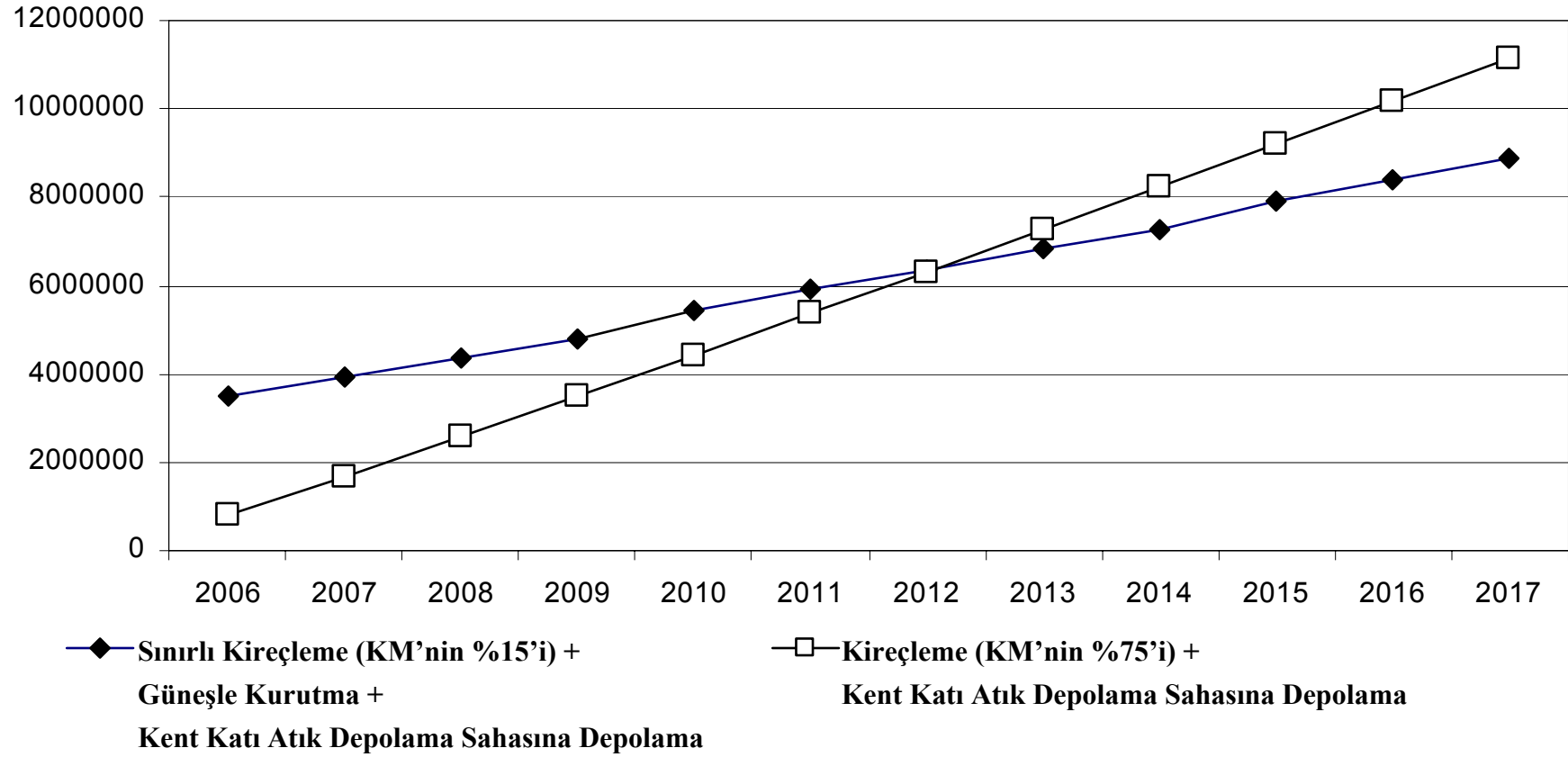
Güneşle kurutma sistemi için kireç miktarı : 0. 15 Ton kireç / Ton katı madde

Şartnamede önerilen sisteme göre kireç miktarı: 0. 77 Ton kireç/Ton katı madde

Hamitlere depolama bedeli : 20 Euro/ton çamur

NET BUGÜNKÜ DEĞER (NPV)

EURO



Şekil 4.26. Batı Atıksu Arıtma Tesisi (BAAT) Çamur Bertaraf Alternatifleri İçin Net Bugünkü Değer (Net Present Value – NPV) Karşılaştırması (%4 İçin)

Yukarıda sırasıyla %6 ve %4 faiz oranlarında iki farklı çamur bertaraf alternatifi için 2017 yılına dek gerçekleşecek maliyetler, Tablo 4.7 ve Tablo 4.9'da DAAT için, Tablo 4.8 ve Tablo 4.10 ise BAAT için verilmektedir.

2017 yılının seçilmesinin sebebi bu tesislerin 2. kademe inşaat sürecinin bu tarihte başlayacak olmasıdır. Bahsedilen tablolardan hareketle, sırasıyla %6 ve %4 faiz oranlarında Şekil 4.23 ve Şekil 4.25'te DAAT için, ve Şekil 4.26'te BAAT için bu iki alternatifin Net Bugünkü Değer (Net Present Value – NPV) değerlerinin karşılaştırılması görülebilir.

Ekonomik analiz; özellikle DAAT için 1. Alternatif: Kireçleme (KM'nin %75'i) + kent katı atık depolama sahasına depolama ile 2. Alternatif : Sınırlı kireçleme(KM'nin %15'i) + güneşle kurutma + kent katı atık depolama sahasına depolama yöntemleri karşılaştırıldığında yüksek ilk yatırım maliyetine karşılık 2. alternatifin kendini 5 yıl gibi bir sürede amorti ettiğini göstermiştir. BAAT için ise 2. alternatifin kendini 7 yılda amorti ettiği belirlenmiştir. DAAT'taki yüksek günlük çamur oluşumu bu durumu ortaya çıkarmıştır.

Özellikle bu iki alternatif arasında bir kıyaslama yapıldığında güneşle kurutma sisteminin düşük kireç kullanımından dolayı kireç maliyeti önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca düşük kireç kullanımı ve çamurun %35 KM'ye kadar güneşle kurutulması sebebiyle önemli ölçüde kütle ve hacim azalması sağlamakta, böylece taşıma maliyetinden avantaj sağlanmaktadır.

5. SONUÇLAR

Atık çamurlar tüm dünyada gün geçtikçe artan yeni bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Avrupa Konseyi (AK) yönergesinin (91/271/EEC) getirdiği sınırlamalarla AB'ye üye ülkelerde 1998'de oluşan 7,2 Milyon Ton çamur Katı Maddesinin (KM), 2005 yılında 9,4 Milyon Ton KM'ye çıkması beklenmektedir. (Avrupa Çevre Ajansı (EEA), 2001) Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri'nde (A.B.D.) 1998'de oluşan 6,9 milyon ton KM'nin 2005'te 8,2 Milyon Ton KM'ye ulaşacağı hesaplanmıştır (USEPA 1999).

Ülkemizde 2004 yılı verilerine göre toplam nüfusun ancak %66'sına kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilmekte ve yine nüfusun %35'lik kısmının atıksuları bir arıtma tesisine ulaşmaktadır. Ayrıca belediyelere ait 165 atıksu arıtma tesisi ile 303 belediyeye hizmet verilmektedir. Arıtılan atıksuyun %56 biyolojik, %32 fiziksel ve %12'sine ileri arıtma uygulanmıştır (TÜİK 2005). Avrupa Birliği (AB) adaylık çalışmalarında öncelikli dosyalardan birini oluşturan çevre konusunda yasal zorunlulukların gelmesiyle birlikte ülkemizde atıksu arıtımında yaşanacak gelişmeler atık çamur miktarını da önemli ölçüde artıracaktır. Bu yüzden atıksu arıtma teknolojilerinin seçiminde çamur bertarafı önemli bir ana başlık oluşturmaktadır. Toplam arıtım maliyetinin yarıya yakın kısmını oluşturan çamur arıtımında ülkemizde kullanılacak yöntemlerin araştırılması, karşılanacak maliyetlerin azalmasında ve uygulamadan doğacak sorunların en aza indirilmesinde fayda sağlayacaktır.

Güneş enerjisiyle kapalı kurutma yataklarında çamur kurutma konusunda son yıllarda gelişmeler görülmektedir. Güneş enerjisi; kurutma sistemlerinde doğrudan veya yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Ekechukwu ve Norton 1999 a). Bu verilerden hareketle çalışmada kullanılan pilot tesis tasarlanmıştır. Tasarımda;

- Güneş enerjisinden yararlanarak kurutma maliyetlerinin azaltılması,
- Kurutma sırasında dış ortam şartlarının etkilerinin en aza indirilmesi,
- Oluşturulan hacimde sinek, koku ve uçucu bileşiklerin kontrolünün sağlanması,
- Taşınabilir, depolanabilir ve farklı amaçlarla kullanılabilir ürün eldesi,
- İstenildiğinde bir kompost tesisine de dönüştürülebilen ve özel durumlarda geçici depolamanın da gerçekleştirilebileceği bir hacim oluşturulması,
- Çamur şartlandırmada kullanılan kimyasal miktarının azaltılması,

- Sistemdeki ısının korunması ve ilave enerji kaynağı kullanımını mümkün kılan bir yaklaşım hedeflenmiştir.

Ulaşılmak istenen hedeflerden birisi de atık çamurların stabilizasyonudur. Çamur stabilizasyonunda önemli parametreler koku oluşumu, uçucu organik bileşiklerin azalması, oksijen kullanım seviyesi, anaerobik faaliyetin göstergesi olarak gaz oluşumu, toplam organik karbon, susuzlaştırılabilirlik, viskozite, kalorifik değer ve mikrobiyal aktivitedir (Vesilind 1979).

Kapalı kurutma yatağının bağıl nem değeri t Testine göre %95 güven aralığında dış ortama göre hem yaz hem kış döneminde daha yüksek bulunmuştur. Gün içerisinde artan radyasyon değerleriyle ısınan hava nem oranında belirgin düşüslere sebep olmakta, özellikle sabah gün doğumuna yakın saatlerde ise nem değeri en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Dış ortamda nem değerinin rüzgarla düştüğü saptanmıştır. Buradan, sistemde oluşan su buharının mevcut fanlarla tahliye edilemediği, otomatik kontrol sistemiyle birlikte daha güçlü salyangoz tip fanların kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Gündüz saatlerinde iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığına göre yıllık ortalama $8,75 \pm 5,17$ °C lik bir fark oluşturduğu hesaplanmıştır. Bu fark özellikle yaz aylarında artmakta, kış aylarında ise nispeten azalmaktadır. Sonuçta oluşan bu fark sebebiyle iç ortam havasının yıl boyunca su molekülleri için kritik değer olan $+4$ °C'nin üzerinde olduğunu göstermektedir.

Çalışmalar sonunda özellikleri yukarıda belirtilen çamurun belirtilen tesiste %20 KM'den %35 KM'ye gelmesi sırasında 1 kg çamur suyunu buharlaştırabilmek için; 420 ± 28 W güç gerektiği hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalarda %95 güven düzeyinde $p < 0,05$ için KM ile eklenik güneş radyasyonu verileri arasındaki korelasyonun kayda değer olduğu tespit edilmiştir.

Birim alana serilen çamurdan bir günde buharlaşan su kütlesi ile günlük güneş radyasyonu arasında yüksek bir ilişki tespit edilmemesi enerjinin sistemde kurumaya etkisinin bir faz farkıyla etkidiğini düşündürmüştür. Bu yüzden sisteme verilen toplam enerjinin günlük değişimi hesaplanmış ve eklenik olarak kaydedilmiştir. Eklenik güneş radyasyonu ve eklenik buharlaşma akısı arasında üssel bir yaklaşımda daha yüksek ($r=0,9814$) bir ilişki ortaya koymuştur. Belirli bir alana düşen eklenik radyasyon

değerleri kullanılarak çamur suyunun eklenik buharlaşma akısının hesabında bu bulgulardan (x : Eklenik Güneş radyasyonu, y : Eklenik Buharlaşma Akısı olmak üzere, $y = 55,455 \ln(x) - 493,05$) yararlanılabilir. Bu bulguların uygulanmasındaki ana kriterler; kullanılan çamurun %20 KM değerine mekanik susuzlaştırmayla getirilmiş kentsel atıksu arıtma çamuru olması, kapalı kurutma yatağının tasarım ve havalandırma özelliklerinin korunması ve günde 2 kez insan gücüyle karıştırılmasıdır. Bu kriterlere bakıldığında daha yüksek buharlaşma akılarının sağlanabilmesi için; kapalı kurutma sisteminde enerji depolama ile ilgili yeni geliştirmeler, sistem havasının kontrolünün otomasyona bağlanması ve çamur karıştırma sisteminin mekanik olarak daha sık yapılması gerekmektedir.

Çalışmalar sonunda sınırlı sönmemiş kireç ilavesinin çamur kuruma hızında kayda değer bir fark yaratmadığı, KM'nin %15'i oranında bir kireç ilavesinin çamur sıcaklık artışı yönünde önemli bir katkı koymadığı sonucuna varılmıştır.

Sınırlı sönmemiş kireç ilavesinin (KM'nin %15'i) çamur pH'sını 24 saat boyunca 12'nin üzerinde tuttuğu, 21 saat boyunca da 11'in altına indirmediği belirlenmiştir. KM'nin %50'si CaO'nun ise pH'ı daha kararlı bir biçimde 12'nin üzerinde tuttuğu görülmüştür. Sönmemiş kireç ilave edildikten sonra %90KM değerine gelen ürünlerin pH değerlerine bakıldığında en düşük 8,81 değerine indiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar, Türkiye topraklarının büyük çoğunluğunun alkali karakterde olduğunu gösterdiğinden son ürünün toprak iyileştirici olarak kullanılmasını sınırlandırmaktadır.

Çalışmada stabilizasyonla ilgili olarak patojen mikroorganizma giderimi de incelenmiştir. Amerikan Çevre Ajansı (USEPA) tarafından belirlenen çamurdaki patojen giderimine yönelik Fekal Koliform konsantrasyonlarındaki değişim açıklanmaya çalışılmıştır. Susuzlaştırılmış çamura KM'nin %15'i sönmemiş kireç katıldığı anda USEPA'nın sınır şartı sağlanmış daha sonra %90KM nem içeriğine gelinceye dek ilkbahar ve yaz dönemlerinde Fekal Koliform sıfır değerine inmiştir. Kış mevsiminde ise sınır değer çok altında olsa dahi sıfır Fekal Koliform değerine inilememiştir. Bu durumda kapalı çamur kurutma yataklarında çamurdaki Fekal Koliformun tamamen giderimi için nem içeriği yanında sönmemiş kireç ilavesinin gerekli olduğu düşünülmektedir. Kireçli veya ham çamurun fekal ve toplam koliform giderim oranlarında yüksek bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki çalışılan çamurdaki Toplam Koliformun büyük bir kısmının Fekal Koliformdan oluşabileceğini işaret

etmektedir. Karşılaştırma susuzlaştırılmış çamurda açık ve kapalı sistem için, susuzlaştırılmış ve sınırlı kireç ilave edilmiş çamurda açık ve kapalı sistem için gerçekleştirilmiş ve sırasıyla 0,9097, 0,9488, 0,9571, 0,9608 R² değerleri bulunmuştur. Elde edilen veriler kireç ilavesinin daha etkili olduğunu ve daha kısa sürede etki gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çalışma sonuçları, sınırlı kireçlemeyle birlikte gerçekleştirilen kapalı yatakta çamur kurutma sürecinin nihai çamur bertarafından önce ilave çamur susuzlaştırma / kurutma amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım elde edilen katı madde değerleri, patojen mikroorganizma giderimi, tesis içinde gözlenen koku ve sinek oluşumun azalması ve ekonomik analiz ile desteklenmeye çalışılmıştır. Çalışmada teorik olarak, 1 ton katı maddenin %20 KM 'den %90 KM'ye kadar kurutulması için gerekli yakıt miktarı ve oluşturacağı sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Bu amaçla doğalgaz kullanılması durumunda 538,46 kg / Ton KM CO₂ , 0,01 kg / Ton KM CH₄ , 0,0098 kg / Ton KM N₂O, Fuel-oil kullanılması durumunda 706 kg / Ton KM CO₂ , 0,029 kg / Ton KM CH₄ , 0,003 kg / Ton KM N₂O oluşacağı belirlenmiştir. Teze konu olan pilot tesis esas alınarak inşa edilecek kurutma yataklarının konvansiyonel yakma sistemlerinden kaynaklanacak bu tür emisyonlara sebep olmayacağı, küresel ısınma ile mücadelede alternatif enerji kaynaklarını ön plana çıkaracağı dikkate alınmalıdır.

Gerçekleştirilen çalışma sonunda çamurun katı madde ve patojen mikroorganizmalar bakımından stabil, taşınabilir ve depolanabilir bir yapıya kavuşması için önerilen tesiste kurutulmasının açık kurutma yataklarına göre daha etkin olduğu görülmüştür. Ancak düşük miktarda kireç ilavesiyle daha verimli ve güvenli bir işletim sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY) gereği atıksu çamurları depolama sınırı olan %35 KM değerine ulaşabilmek için güneş radyasyonlarına bağlı olarak; kış döneminde 20 gün, yaz döneminde 10 günlük bir süre gerektiği belirlenmiştir. Çamura 0.15 kg sönmemiş kireç / kgKM uygulandığında aynı süreler sonunda Fekal Koliform bakımından da USEPA A sınıfı çamur için öngörülen arıtma alternatiflerinden birinin sağlandığı görülmüştür. Bu alternatifte belirtildiği gibi çamur pH'sı 12'nin üzerinde 72 saati aşan bir süre kalmış ve Fekal Koliform değerinin 10³ CFU/g.KM sınırını aşmadığı görülmüştür. Fekal Koliform değerlerinde 45 günlük alıkonma sürelerinde yeniden üremenin açık sistemle kıyaslandığında çok düşük oranda gerçekleştiği belirlenmiştir. Kapalı sistemde, düşük miktarda kireç ilave edilmiş

çamurların güneşle kurutulmaları sırasında nem içeriğinin düşmüş ve pH uzun süre korunmuştur. Bu nedenle sistemde uzun dönemli çamur depolama mümkün görünmektedir. Katı madde ile eklenik güneş radyasyonu arasında varılan sonuçlar; %20 KM'den %35 KM'ye ulaşabilmek için 45 ± 3 kW/m² güneş radyasyonuna ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur.

Elde edilen sonuçlar tasarladığımız kapalı kurutma yatağının açık kurutma yatağına göre kurutma ve Fekal Koliform giderimi açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. İç ortam nem, sıcaklık değerleri ile havalandırma miktar ve hızlarının otomatik olarak kontrol edilmesi durumunda kurutma sürelerinde azalma olması beklenmektedir (Salihoğlu ve ark. 2007). Tesisin işletimi sırasında kirecin uygulanmaması durumunda yüksek koku ve yaz aylarında sinek problemiyle karşı karşıya kalınmıştır. Ayrıca yapılan çalışmalar, tesiste çamurun serilmesi ve kaldırılması esnasında özel bir ekipmana gereksinim duyulacağını göstermiştir. Kapalı sistemin, küçük ve orta ölçekli atıksu arıtma tesislerinde, kompost üretim tesisine dönüştürülebiyecek ve belirli mevsimlerde geçici çamur depolama alanı olarak kullanılabilir bir yapıya sahip olması önemli bir özelliktir.

Genel olarak ulaşılan sonuçlarda, mekanik olarak susuzlaştırılmış atıksu arıtma çamuru sınırlı kireçleme ve kapalı kurutma yatağında kurutma sonrası USEPA tarafından tanımlanan patojen ve vektör çekimi azaltımı kriterlerini sağlamaktadır. Bu yüzden USEPA tarafından belirlenen yöntemlere ilave edilecek hibrit bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

Çamurun sınırlı kireçleme ve kapalı güneşle kurutmada ilave edilen kireç miktarının kurutma hızını önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür.

Güneşle kurutmada sınırlı kireçleme ile elde edilen son ürün daha düşük su içeriği sebebiyle çamurun kireçle arıtımı yöntemine göre daha az hacim kaplamaktadır. Bu nihai bertaraf yöntemlerinde avantaj sağlamaktadır. Sınırlı kireçleme ve kapalı kurutma yatağında kurutma yönteminde patojen gideriminin sağlanmasında ana parametre pH'tır. Son ürünün daha stabil bir yapı göstermesindeki parametrenin de düşük su içeriği olduğu düşünülmektedir.

Sınırlı kireçleme ve kapalı güneşle kurutma özellikle gelişmekte olan, güneşlenme süreleri yüksek ülkelerdeki küçük ve orta ölçekli atıksu arıtma tesislerinde düşük miktarda kireç ve yenilenebilir enerji kullanımı bakımından uygulanabilir.

Proses, aerobik bir karakterde olduğu ve yenilenebilir enerji kullanıldığı için ısı

kurutma sırasında oluşacak CO₂ emisyonlarını engellediğinden çevreye duyarlı bir yaklaşım olarak önemlidir.

Ekonomik analiz; özellikle DAAT için 1. Alternatif: Yüksek dozda kireçleme (%35 KM'ye gelinceye dek) ve kent katı atık depolama sahasına depolama ile 2. Alternatif : Sınırlı kireçleme(KM'nin %15'İ)+güneşle kurutma+ kent katı atık depolama sahasına depolama yöntemleri karşılaştırıldığında yüksek ilk yatırım maliyetine karşılık 2. alternatifin kendini 5 yıl gibi bir sürede amorti ettiğini göstermiştir. BAAT için ise 2. alternatifin kendini 7 yılda amorti ettiği belirlenmiştir.

Özellikle bu iki alternatif arasında bir kıyaslama yapıldığında güneşle kurutma sisteminin düşük kireç kullanımından dolayı kireç maliyeti önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca düşük kireç kullanımı ve çamurun %35 KM'ye gelinceye dek güneşle kurutulması sebebiyle önemli ölçüde kütle ve hacim azalması sağlamakta, böylece taşıma maliyetinden avantaj sağlanmaktadır.

Bu çalışmada varılmak istenen ana hedeflerden biri; yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre yatırımlarında kullanılma imkanlarının ortaya konulmasıdır. Son yıllarda artan arıtma tesisleri, çamur bertaraf maliyetlerini de gündeme getirmektedir. Hangi nihai bertaraf metodu seçilirse seçilsin çamur hacminin azaltılmasında yüksek enerji talebi olan mekanik susuzlaştırma ve kurutma prosesleri ön plana çıkmaktadır. Bu proseslerin işletme maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla özellikle küçük ve orta büyüklükteki arıtma tesisleri için, yeterli alanın mevcut olması durumunda, güneş enerjisiyle çamur kurutma ülkemiz için dikkate alınması gereken yöntemlerden biridir. Ülkemizde artan biyolojik atıksu arıtma tesisleri çamur gibi önemli bir sorunu da beraberinde getirmektedir. Çamur bertarafında yöntem seçiminde nihai bertaraf metodu önem taşımaktadır. Bu süreçte çamur nihai bertarafına yönelik ulusal kararların alınması zorunlu görünmektedir.

5.1. Araştırmacılar İçin Öneriler

Bu konuda çalışma gerçekleştirecek araştırmacılar için önemli olabilecek hususlar yeni yüksek lisans ve doktora çalışmaları için oldukça önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

Bu tip bir çalışmada meteorolojik şarlara bağımlı olmak veri toplamayı zorlaştırmaktadır. Bu yüzden yapılacak çalışmaların sürecinin iyi tayin edilmesi önemlidir. Çalışmada ana unsur olarak çamur nem içeriği ve güneş radyasyonu arasındaki ilişki belirlenmiştir. Özellikle amurdaki farklı su içeriklerinin buharlaşması için gerekli güneş enerjisi miktarlarının belirlenmesi başka bir çalışmanın konusunu teşkil edebilir. Ayrıca patojen gideriminde güneş ışınlarının içerdiği UV-A ve UV-B dalga boylu ışınların etkisi daha detaylı olarak incelenebilir. Pilot ölçekli çalışmada iç ortam ve dış ortam şartlarının etkileri daha farklı değişkenler kullanılarak da izah edilmeye çalışılabilir. Özellikle bu tür tesislerde kuzey duvarı, gece perdesi, ek ısı depolama sistemleri ve doğal sirkülasyon konuları kuruma hızını artırmak ve enerji talebini azaltmak üzere çalışılabilecek hususlardır.

KAYNAKLAR

APHA, AWWA, WEF, 1998. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 20th ed., APHA, Washington D.C.9-47 p.

AVRUPA ÇEVRE AJANSI (EEA), 2001. Environmental Signals 2001. European Environment Agency Regular Indicator Report, EEA, Copenhagen, 103 p.
<http://reports.eea.europa.eu/signals-2001/en/signals2001>

AVRUPA KONSEYİ (AK), 1991. Kentsel atıksu Arıtım Direktifi. Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0271:EN:NOT>

AVRUPA KONSEYİ (AK), 1999. Depolama Sahası Direktifi. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
(<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0031:EN:HTML>) ve (<http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm>)

AVRUPA STANDARDİZASYON KOMİTESİ (CEN-TC308), 2006.

BALA, B.K., M.R.A. MONDOL, B.K. BISWAS, B.L. DAS CHOWDURY, S. JANJAI. 2002. Solar Drying Of Pineapple Using Solar Tunnel Drier. Renewable Energy, Pergamon, V. 28, p. 183–190.

BBB, 2006. Bursa Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı, Bursa Atık Verileri, Kişisel Görüşme.

BEN-ASHER, J., A.D. MATTHIAS, A.W. WARRICK, 1983. Assessment Of Evaporation From Bare Soil By Infrared Thermometry, Soil Science Society America Journal, SSSAJ, 47, 185–191.

BRUN R. VE O.D. VILLE, 1974. Orientation Of Greenhouses In The Mediterranean Zone. *Acta Horticulturae*, International Society for Horticultural Science, V.42, p. 43–54.

BUX, M. 2001. Class A by Solar Drying Recent Experiences In Europe, WEFTEC 2001.

BUX, M., R. BAUMANN, S.QUADT, J.PINNEKAMP, W.MÜHLBAUER, 2002. Volume Reduction And Biological Stabilization Of Sludge In Small Sewage Plants By Solar Drying. *Drying Technology*, Taylor&Francis, Philadelpha, p. 829-837.

CARPENTER, L.V., 1938. Sludge Drying On Open And Covered Drying Beds. *Sewage Works Journal*, X(3), 503–512. (ÇaprazReferans: Chen, G., Yue, P. L., Mujumdar, A. S., 2002. Sludge Dewatering And Drying, *Drying Technology*, Taylor&Francis, 20 (4&5), 883–916)

CHAI, L. H., 2007. Statistical Dynamic Features Of Sludge Drying Systems. *International Journal of Thermal Sciences*, Elsevier, Amsterdam, V. 40, 8, p. 802-811.

CHANDRA P., 1976. Predicting the Effects of Greenhouse Orientation And İnsulation On Energy Conservation. M.Sc. Thesis. Department Of Agricultural Engineering, University Of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada. Yayınlanmamış.

CHEN, G., P. L. YUE., A. S. MUJUMDAR, 2002. Sludge Dewatering And Drying, *Drying Technology*, Taylor & Francis, V. 20 (4&5), 883–916.

CHEN, G.W., J.C. LIU, D.J. LEE, 1996. Co-Conditioning and Dewatering of Chemical and Waste Activated Sludge, *Water Research*, Elsevier, Amstedam, V. 35 (3-4), 443-448.

DICK, R. I., R.D. BALL, 1980. Sludge Dewatering, CRC Critical Reviews In Environmental Control, Taylor&Francis, Oxfordshire, 269-337.

DMI, 2007. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Web Sayfası.

<http://www.meteor.gov.tr> ve <http://www.meteor.gov.tr/2006/tahmin/tahmin-iller.aspx>

DMI, 2007. Turkish State Meteorological Service, Long term meteorological data of Bursa City.

EİE, 2002. Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Süreleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara.

EKECHUKWU O.V. B.NORTON, 1997. Review of Solar – energy drying Sysytems II: An Overview of Solar Drying Technology. Energy Conversion &Management Journal, Pergamon, V. 40, p. 615-655.

EKECHUKWU, O.V. VE B. NORTON, 1997. Experimental Studies of Integral –Type Natural- Circulation Solar-Energy Tropical Crop Dryers. Energy Conversion and Management, Elsevier, Amsterdam, V.38, 14, p. 1483-1500.

EKECHUKWU, O.V. VE B. NORTON, 1999 a. Review Of Solar Energy Drying Systems II: An Overview Of Solar Drying Technology. Energy Conversion and Management, Elsevier, Amsterdam, V.40, p. 615–655.

EKECHUKWU, O.V. VE B. NORTON, 1999 b. Review Of Solar Energy Drying Systems III: Low Temperature Air-Heating Solar Collectors For Crop Drying Applications. Energy Conversion and Management, Elsevier, Amsterdam, V. 40, p. 657–670

EL-FADEL, M., M. MASSOUD, 2001. Methane Emissions From Wastewater Management. Environmental Pollution, Elsevier, V. 114, p. 177-185.

EMİR, Ü. E., 2002. The Role Of Dewaterability Measures On The Liquid –Solid Separation of Biological Sludges: Compactibility As A New Measure Of Sludge Dewaterability. Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi Üniversitesi. Yayınlanmamış.

EPA, 2006. Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors (CHIEF), Emissions Factors & AP 42

<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s03.pdf>,

<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s04.pdf>

FACCHINI U., G. MARELLI, L. CANZI, 1983. Solar (Heated) Greenhouses With Low Energy Consumption. Colture Protette, V.12(11), p. 31–45.

FANG, 2000. Effects of Lime Addition On Sewage Sludge Composting Process, Water Research, Elsevier, Amsterdam, V. 34,15, 3691-3698.

FİLİBELİ, AYŞE., 1996. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir. 254 .

FOX, M.J., 1968. A Technique to Determine Evaporation From Dry Stream Beds, Journal of Applied Meteorology, American Meteorological Society, Allen Pres, Lawrence, 7, 679–701.

GONZALES, D. VE J.J. HANNAN, 1988. Effect of Radiation, Wind Velocity and Temperature Differential on Natural Gas Consumption of Greenhouses: Preliminary Report, Research Bulletin No. 454, Colorado Greenhouse Grower's Association.

GRUTER, H., M. MATTER, K.H. OEHLMANN, M.D. HICKS, 1990. Drying of Sewage Sludge- An Important Step In Waste Disposal. Water Science and Technology, IWA, V. 22, p. 57-63.

GUPTA, M. J. , P. CHANDRA, 2002. Effect Of Greenhouse Design Parameters On Conservation Of Energy For Greenhouse Environmental Control. Energy, International Association for Energy Economics, IAEE , V.27, p. 777-794.

HARALAMBOPOULOS, D.A., G. BISKOS, C.HALVADAKIS, T.D. LEKKAS, 2002. Dewatering of Wastewater Sludge Through a Solar Still. Renewable Energy, Elsevier, Amsterdam, 26, 247-256.

HARNETT RF, T.V. SIMS, G.E. BOWMAN, 1979. Comparison of Greenhouse Types And Their Orientation. Experimental Horticulture, V.31, p. 59-66.

HARTZ TK, A.J. LEWIS, 1982. Reflective Wall Reduces Energy Consumption. American Vegetable Grower, V. 30(2), p. 22-4.

HIGGINS, M.J., J.T. NOVAK, 1997. Settling and Dewatering of Activated Sludge: The Case For Using Cation Analysis, Water Environment Research, Ingenta Connect, WEF, V.69, 225-236.

http://www.eie.gov.tr/english/solar/solarTurkey_e.html

<http://www.meteor.gov.tr/2006/tahmin/tahmin-iller.aspx>

ILDIR , F., 2007. Atıksu Arıtma Projeleri İçin Finansal Çerçeve Ve Projelendirme Kriterleri. Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Finansmanı, Projelendirilmesi, İnşaatı ve İşletilmesi Aşamalarında Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri Semineri, 17 Ocak 2007, Türkiye Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

JIN, B., B.M. WİLEN, P. LANT, 2003. A Comprehensive Insight Into Floc Characteristics and Their Impact on Compressibility ad Settleability of Activated Sludge. Cemical Engineering Journal, Elsevier, Amsterdam, 95, 221-234.

KATI ATIKLARIN KONTROLÜ YÖNETMELİĞİ, 1991. 14.3.1991 tarihli ve 20814 sayılı Resmî Gazete.

KENTSEL ATIKSU ARITIMI YÖNETMELİĞİ, 2006. 08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmi Gazete.

KOPP, J. VE N.DICHTL., 2000. Prediction Of Full-Scale Dewatering Results By Determining the Water Distribution of Sewage Sludges. *Water Science and Technology*, IWA, V. 42, 9, p. 141-149.

KURATA K. , Z. QUAN, O. NUNOMURA, 1991. Optimal Shapes Of East–West Oriented Single-Span Tunnels With Respect To Direct Light Transmissivity. *Journal of Agricultural Engineering Research* , Academic Pres, V.48(2), p. 89–100.

KÜRKLÜ, A., S.BİLGİN, B.ÖZKAN, 2003. A Study On The Solar Energy Storing Rock-Bed To Heat A Polyethylene Tunnel Type Greenhouse. *Renewable Energy*, Elsevier, p. 683-697.

LANDGREN, B. 1985. Aging Tests with Covering Materials for Greenhouse. *Acta Horticulturae*, International Society for Horticultural Science, V.170, p. 119-25.

LAZAAR, M., S. KOOLI, M. HAZAMI , A. FARHAT, A. BELGHITH, 2004. Use Of Solar Energy for The Agricultural Greenhouses Autonomous Conditioning, Desalination, Elsevier, Amsterdam, V. 168, p. 169-175.

LEE, C.H. VE J.C. LIU, 2001. Sludge Dewaterability And Floc Structure In Dual Polymer Conditioning. *Advances in Environmental Research*, Elsevier, Amsterdam, V.5, 129-136.

LEON, M.A., S. KUMAR, S.C. BHATTACHARYA, 2002. A Comprehensive Procedure For Performance Evaluation Of Solar Food Dryers. *Renewable and*

Sustainable Energy Review, Elsevier, Amsterdam, V. 6, p. 367–393.

LEONARD, A., T. SALMON, O. JANSSENS, M. CRINE, 2000. Kinetics Modelling of Convective Heat Drying of Wastewater Treatment Sludge. Laboratoire de Genie Chimique, Universite de Liege, Belgium.

<http://www.ulg.ac.be/bioreactLeonardECCE2.pdf>

LIANG, C., K.C. DAS, R.W. MCCLENDON, 2003. The Influence Of Temperature And Moisture Contents Regimes On Aerobic Microbial Activity Of A Biosolids Composting Blend. Bioresource Technology, Pergamon , p. 131-137.

LUBOSCHIK, U., 1999. Solar Sludge Drying – Based On IST Proses, Renewable Energy, Elsevier, Amsterdam, V. 16, 1-4, p. 785-788.

MIKKELSEN, L.H., K. KEIDING, 2002. Physico-Chemical Characteristics Of Full Scale Sewage Sludges With Implications to Dewatering, Water Research, V.36, 2451-2462.

MIELSCH, W., 1985. Development and Production of New Energy Efficient Greenhouses, Dresden GDR Conference May 13-15.

MONTEITH, J.L. and UNSWORTH, M.H., 1990. Principles Of Environmental Physics, 2nd Ed. Edward Arnold, London.

MOSNER, MELINDA S. , B. T. AULENBACH, 2003. Comparison Of Methods Used To Estimate Lake Evaporation For Water Budget Of Lake Seminole, Southwestern Georgia And Northwestern Florida, , Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference April, 23-24.

PARKSON CORP., 2001. Solar Energy Used to Dry Sludge, Civil Engineering, V.71, Issue 1, p. 29.

PIETERS, J.G. ve J. M. DELTOUR, 1999. Modelling Solar Energy Input In

Greenhouses. Solar Energy, Elsevier, Great Britain, p. 119-130.

POCHOP, L., K.WARNAKA, J. BORRELLI, V. HASFURTHER, 1985. Design Information for Evaporation Ponds in Wyoming. Wyoming Water Research Center. <http://library.wrds.uwyo.edu/wrp/85-21/85-21.html>

QIU, GUO YU. Y. TOMOHISA, M. KAZURO, 1998. An Improved Methodology To Measure Evaporation From Bare Soil Based On Comparison Of Surface Temperature With A Dry Soil Surface, Journal of Hydrology, Elsevier, Great Britain, V. 210, p.93–105.

SALİHOĞLU, N.K., V. PINARLI, G. SALİHOĞLU, 2007. Solar Drying In Sludge Management In Turkey. Renewable Energy, Amsterdam, V. 32, 10, p. 1661-1675.

SCHLICHTING, H., 1987. Boundary Layer Theory. McGraw-Hill Classic Textbook Reissue, 7. Ed. New York, p. 635.

SEGINER, I., M. BUX, 2006. Modeling Solar Drying Rate of Wastewater Sludge. Drying Technology, Taylor&Francis, V.24, p.1353-1363.

STASTA, P., J. BORAN, L. BEBAR, P. STEHLIK, J. ORAL, 2006. Thermal Processing Of Sewage Sludge. Applied Thermal Engineering. Elsevier, V. 26, p. 1420–1426.

SU KİRLİLİĞİ KONTROLÜ YÖNETMELİĞİ (SKKY), İdari Usuller Tebliği, 1989. 1989 tarihli ve 20106 sayılı Resmi Gazete.

TABASARAN, O., 1980. Stabilisation Of Primary And Digested Sludges With Quicklime. Ingegneria Ambientale, V. 9, p. 304-310.

TCHOBANOGLOUS, G., L.F. BURTON, 1991. Wastewater Engineering Treatment,

Disposal, and Reuse, Metcalf&Eddy, Inc., McGraw-Hill, Inc.Singapore, 776 p.

TGAE, 1998. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
<http://www.cedgm.gov.tr/cevreatlasi/toprakvearazi.pdf>

TIWARI, G.N., N.K. DHIMAN, 1985. Periodic Theory of A Greenhouse. Energy Conversion And Management, Elsevier, Amsterdam, V. 25(2), p. 217–33.

TOPRAK KİRLİLİĞİNİN KONTROLÜ YÖNETMELİĞİ, 2005. 31.05.2005 tarih ve 25831 nolu Resmi Gazete.

TÜİK, 2005. Türkiye İstatistik Kurumu, Belediye Atıksu İstatistikleri, Haber Bülteni, 29 Aralık 2005, TÜİK, Ankara.
www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/CEVRE/atik_su/k_291205.xls

HABİB, U., 1998. Akışkanlar Mekaniği, Alfa Basım Yayın Dağıtım, İstanbul, 467 p.

USEPA, 1979. Process Design Manual For Sludge Treatment And Disposal. Centre for Environmental Research Information. EPA 625/1-79-011. Washington, D.C.

USEPA, 1987. Dewatering Municipal Wastewater Sludges. Enter for Environmental Research Information, EPA/625/1-87/014, Cincinnati.

USEPA, 1994. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule, US Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, EPA832-B-93-003.

USEPA, 1999. Biosolids Management Handbook.
<http://www.epa.gov/region8/water/biosolids/biosolidsdown/handbook/Index.html>

USEPA, 2003. Control of Patogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, US Environmental Protection Agency, Office of Res.Dev. Nat. Risk Mana.res. Lab.Cen. for Env. Res. Inf. EPA/625-R-92-013.

VAXELAIRE, J. ve P. CÉZAC, 2004. Moisture Distribution In Activated Sludges: A Review. Water Research, Elsevier, Amsterdam, V. 38, p. 2215–2230.

VAXELAIRE, J. AND J. R. PUIGGALI, 2002. Analysis Of The Drying Of Residual Sludge: From The Experiment to the Simulation of A Belt Dryer, Drying Technology, Taylor&Francis, V.20(4&5), p. 989–1008.

VAXELAIRE, J., 2000. Thermal Drying Residual Sludge . Water Research . Elsevier, Amsterdam, V.34, 17, p. 4318-4323.

VESILIND P.A., 1979. Treatment and Disposal of Wastewater Sludge. Ann Arbor Science, Ann Arbor, U.S.A.

WHITE, P.M.R., 1998. From Conventional Drying Beds to High Rate, High Capacity Vacuum Dewatering Beds. The Water Environment Federation 12th Annual Residuals&Biosolids Management Conference. Bellevue, July, 12-15, Washington.

WINTER, T.C. D.O. ROSENBERY, A.M.STURROCK, 1995. Evaluation of Eleven Equations for Determining Evaporation for a Small Lake in the North-Central United States. Water Resources Research, V.31, 4, p. 983-993

ZAMIR, N. G. MEDAN, A. ARKEL, N. LEVAV, 1984. The Influence of Climatic Condition on the Heat Losses from Conventional and Sloping Greenhouses. Acta Horticulturae, International Society for Horticultural Science, V.148, p. 319-28.

TEŞEKKÜR

Akademik hayatın önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilen doktora çalışmasının belki de en zevkli yanı tezin sonundaki teşekkür bölümüne ulaşmaktır. Uzun ve zahmetli tez çalışmamın sonunda katkılarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Vedat PINARLI'ya, verdiği destek için Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Hüseyin Savaş Başkaya'ya, tez çalışmam boyunca verdiği destekten ötürü Prof. Dr. Pervin Aniş'e, aynı mesleği paylaşmaktan onur duyduğum ve bilimsel desteğini hep arkamda hissettiğim Prof. Dr. Yücel Taşdemir'e, doktora yeterlilik ve tez savunma sınavımdaki katkılarından ötürü Hacettepe Üniversitesi'nden Prof. Dr. Ayşenur Uğurlu'ya teşekkür ediyorum. Çalışmamın yürütülmesi ve tamamlanmasında sistemli çalışması, bilgisi ve görüşleriyle sürekli katkısını gördüğüm en önemli kişi; eşim ve meslektaşım Güray Salihoğlu'dur. Hayatı benimle paylaşırken beni, kızımızı, evimizi ve kendi çalışmalarını ihmal etmeden, çalışan kadın olmanın bütün yüklerine rağmen bana destek oldu. Ona şükran borçluyum. Hayatımızın ışığı kızımız Yaren'e sevgisiyle verdiği destekten dolayı teşekkür ediyorum. Bu çalışmada ana unsur olarak gördüğüm kurum Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne (BUSKİ), verdiği maddi, manevi desteklerden ve bana olan güveninden ötürü BUSKİ Genel Müdür Yardımcısı Turgut Men'e, fikir aşamasından tamamlanıncaya kadar çalışmama gösterdiği ilgi ve destekten dolayı Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.'den Proje Müdürü Yaşar Varol'a ve aynı şirketten Çevre Mühendisi Özcan Yararbaş'a, verdiği bilimsel destekten ötürü Dr. Sahim Tekeli'ye şükranlarımı sunuyorum. Tesiste sağladığı yardımlardan ötürü Çevre Müh. Nurcan Aydoğan'a, destek ve eleştirilerini sunan İnşaat Mühendisi Alaattin Güngördü'ye, tezimin önemli bir kısmında bana destek olan Çevre Yük. Müh. Bülent Birden'e, beraber yürüttüğümüz çalışmalardan ötürü Çevre Yüksek Mühendisleri Gizem Karaca, Zeynep Söl, Ayşe Müge Yılmaz ve Ezgi Şengörenoğlu'na teşekkür ediyorum. Çamur temininde sağladıkları destekten dolayı İnegöl Atıksu Arıtma Tesisi'nden Mak. Müh. Adem Altinkaya'ya, Çevre Müh. Osman Özcan'a, İlkokul öğretmenim Murat Özdemir'den itibaren tüm hocalarıma ve bana sağlanan imkanlara teşekkür ediyorum. Tesisimize çamurun getirilmesi ve serilmesinde çalışan tüm personele ve lisans bitirme çalışmalarında bana destek olan tüm öğrencilerimize teşekkür ederim. Yaşasalardı mutlu olacağına inandığım İsmail dedeme, Ziya dedeme, babaanneme, anneanneme, benden sevgilerini ve desteklerini eksik etmeyen babama ve anneme, ablam Nigar'a, kardeşim Umut'a, teşekkür ediyorum. Yanımda olduklarını bildiğim eniştem Ali Döğer'e, kayınpederim Mahmut Çelik'e, kayınvalidem Mürvet Çelik'e, Şenay'a, Sertaç'a, yeğenlerim Didem'e, Erdem'e kısaca aileme teşekkür ediyorum.

EKLER**EK 1. AÇIK VE KAPALI PİLOT TESİSLERİN KUZEYBATI İSTİKAMETİNDEN GÖRÜNÜŞÜ**

EK 2. AÇIK VE KAPALI PİLOT TESİSLERİN DOĞU İSTİKAMETİNDEN GÖRÜNÜŞÜ

ÖZGEÇMİŞ

1973'te Bursa'da doğan Nezh Kamil SALİHOĞLU, sırasıyla Yıldırım İlkokulu, Çelebi Mehmet Lisesi Orta Kısmı ve Bursa Erkek Lisesi'ni bitirdi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünden lisans derecesini alan SALİHOĞLU, aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans ve doktora eğitimini tamamladı.

Temmuz 1997- Ekim 2000 tarihleri arasında Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı'nda atık depolama sahası inşaatı kontrol mühendisi ve Dünya Bankası ile yürütülen Bursa Su ve Çevre Sağlığı Projesi kapsamında sözleşme mühendisi olarak görev yaptı.

Çevre Mühendisleri Odası Bursa İl Temsilciliğinde 1 dönem yönetim kurulu üyesi, 2 dönem İl Temsilcisi olarak görev aldı.

Ekim 2000 tarihinden itibaren Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışan SALİHOĞLU evli ve 1 çocuk babasıdır.