

TARSUS BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİS ÇAMURLARININ GÜNEŞ İZLEME SİSTEMİYLE KURUTULMASININ ARAŞTIRILMASI

ERDEM AKGÜL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Prof. Dr. Halil KUMBUR**

**MERSİN
ŞUBAT – 2012**

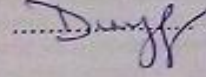
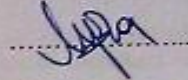
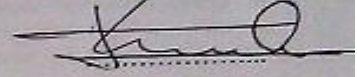
Erdem AKGÜL tarafından Prof. Dr. Halil KUMBUR danışmanlığında hazırlanan " Tarsus Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Güneş İzleme Sistemiyle Kurutulmasının Araştırılması" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Halil KUMBUR


Prof. Dr. Ayla ÖZER

Yrd. Doç.Dr. H. Duygu ÖZSOY

İmza



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/03/2012 tarih ve 2012.06/1.242 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç. Dr. A. Murat GLZİR
Enstitü Müdürü



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TARSUS BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ GÜNEŞ İZLEME SİSTEMİYLE KURUTULMASININ ARAŞTIRILMASI

Erdem AKGÜL

ÖZ

Arıtma çamurlarının su içeriği yüksek olması ve bu nedenle stabilolmaması nedeniyle çamur katı madde içeriğinin bilinmesidepolama açısından önem arz etmektedir. Su oranının mekanik susuzlaştırma proseslerinde %80 düzeyine indirildiği ortamlarda dahi, arıtma çamurlarının taşınması ve depolanması için gerekli maliyetler artmaktadır.

Arıtma çamurlarının yüksek düzeyde su içermesi, insan ve çevre sağlığını tehdit edici unsurlarının yanında, daha yüksek taşıma ve bertaraf maliyeti de yaratmaktadır. Arıtma çamurlarından su içeriğinin uzaklaştırılmasında; basınç altında presleme(belt filtre), stabilizasyon yöntemleri (kireç ilavesi, aerobik ve anaerobik çürütme, kompostlaştırma) ve ısı enerjisi ile kurutma(güneş, elektrik vb.) yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, arıtma çamurlarının güneş enerjisi ile kurutmanın avantajları araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda Temmuz-Ağustos döneminde yapılan 13 günlük kurutmada, % 20 oranındaki katı madde içeriği; güneş izleme sistemiyle %99,17, sabit sistemde %86,06 ve açık sistemde %78,88 olarak tespit edilmiştir. Aralık-Ocak döneminde 30 gün süren kurutma çalışmalarında %19,6 olan katı madde içeriği, güneş izleme sistemiyle %88,67 ve sabit sistemde %74,82 oranlarına yükselirken, açık sistemde ise yağışlar nedeniyle %18,65 olarak bulunmuştur. Kurutma sistemlerinin verimliliği, çamur katı madde içeriğinde gerçekleşen değişimlere göre değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu Arıtma Tesisi, Arıtma Çamuru, Stabilizasyon, Kurutma, Güneş Enerjisi, Sera Sistemi, Tarsus

Danışman: Prof. Dr.Halil KUMBUR, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

INVESTIGATION ABOUT DRYING of TARSUS MUNICIPALITY WASTEWATER TREATMENT SLUDGE WITH SOLAR TRACKING SYSTEM

Erdem AKGÜL

ABSTRACT

Treatment sludges, show different features depending on the type of content as the treatment process. High water content of the sludge in the sludge solids content is not stable, and therefore it is important to know in terms of storage. In addition, sludge and fluid properties of the solid matter content of the storage area is important for in determining capacity. Water rates are reduced to the level of mechanical dewatering processes, even in 80%, also increasing costs for transportation and storage of sludge.

Contain a high level of sludge in the water, threatening the health of human and environmental elements, as well as higher costs for transportation and disposal has environmental problems. Removal of the water content of the mudtreatment, under pressure, pressing (beltfilter), stabilization methods (addition of lime, aerobic and anaerobic digestion, composting) and drying with heat energy (solar, electricity, etc.) with the done. In this study, nearly tailor investigated the advantages of sludge drying with solar energy. July-August period as a result of research in 13 days drying, the solid matter content of 20%; in the solar tracking system, 99,17%, in the open-system 86.06% and in the fixed system was found to be 78,88%. In 30 days in December-January period, the drying of the solid matter content of 19,60%, in the solar tracking system 88,67% and in the fixed system rate raise to 74,82%, were due to precipitation 18,65% in the open-system. Efficiency of drying systems, sludge solids content was evaluated according to the change soccurring.

KeyWords: WastewaterTreatment, TreatmentSludge, Stabilition, Dewatering, Solar Energy, GreenhouseSystem, Tarsus

Advisor: Prof. Dr. Halil KUMBUR, Department of EnviromentalEngineering, University of Mersin

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilimsel katkılarının yanı sıra sağladığı bilgi ve öğreti, gösterdiği sabır, titizlik için danışman hocam Sayın Prof. Dr. Halil KUMBUR'a,

Yüksek lisans eğitimime gösterdiği duyarlılık ve desteklerinden dolayı Tarsus Belediye Başkanı Sayın Burhanettin KOCAMAZ'a ,

Tarsus Belediye Başkan Yardımcısı Şevket CAN'a, Temizlik İşleri Müdürlerim Orhan Tekeli ve Ali BAGRIK'a,

Tarsus Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürü Halit BOZ'a, TASKİ Labotuar Teknisyeni Suat ÖZDEMİR'eveTarsus Belediyesi Temizlik İşleri, Park-Bahçeler ve Fen İşleri Müdürlüğü çalışma arkadaşlarıma,

Bu çalışmamda önemli destekleri olan Değerli Arkadaşlarımlarım Ömür PINAR'a, Araştırma Görevlisi Gamze KOYUNCU'ya ve MEİTAM Öğretim Görevlisi Barış BULDUM'a,

Tez çalışmamda SPSS istatistiki analizlerin gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik BölümüAraş. Gör. Didem DERİCİ'ye,

Tez çalışmam kapsamındaki desteklerinden dolayı Mersin Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırmalar Projesi Birimi'ne (BAP-FBE ÇMB(EA) 2010-6 YL)teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bu çalışmamada olduğu gibi her konuda yanımda olan, maddi-manevi desteklerini esirgemeyen; başta Sevgili Anneciğim Gülbahar AKGÜL'e ve tüm Aileme gönülden şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
EKLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	5
2.1. ARITMA ÇAMURLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ	5
2.2. ÇAMUR KAYNAKLARI	13
2.3. ARITMA ÇAMURLARININ SU İÇERİĞİ	14
2.4. ARITMA ÇAMURLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve BERTARAFI	16
2.4.1. Çamur İşleme ve Bertaraf Yöntemleri	17
2.4.1.1. Birincil işlemler.....	17
2.4.1.2. Yoğunlaştırma	18
2.4.1.3. Stabilizasyon	18
2.4.1.4. Şartlandırma	19
2.4.1.5. Dezenfeksiyon.....	19
2.4.1.6. Susuzlaştırma	20
2.4.1.7. Kurutma	20
2.4.1.8. Nihai bertaraf	21
2.4.1.9. Termal yöntemler	22
2.4.2. Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi	23
2.4.2.1. Katı atık düzenli depolama sahasında kullanımı.....	24
2.4.2.2. Tarımsal amaçlı kullanım.....	25
2.4.2.3. Terkedilmiş taş ve maden ocaklarında depolama	25
2.4.2.4. Çamurdan yağ üretimi.....	26
2.4.2.5. Çamurdan türetilmiş yakıt üretimi (Carver-Greenfield Prosesi).....	26
2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	27
3. MATERYAL ve YÖNTEM	34
3.1. MATERYAL	34
3.1.1. Arıtma Çamuru Numunesi Özellikleri	34

3.1.2. Çalışma Alanının Belirlenmesi	36
3.1.3. Kurutma Sistemleri	36
3.1.3.1. Kapalı sera sistemi	38
3.1.3.2. Güneş izleme sistemi (GİS)	40
3.1.3.3. Sabit sistem (SS)	41
3.1.3.4. Açık sistem.....	42
3.2. METOT	42
3.2.1. Çamur Analizleri	42
3.2.1.1. pH analizi	42
3.2.1.2. Toplam katı madde analizi	42
3.2.1.3. Toplam uçucu katı madde ve inorganik katı madde (kül) analizleri....	42
3.2.1.4. Yağ-Gres analizi.....	43
3.2.1.5. Ağır metal iyonları için asit parçalama işlemleri	43
3.2.2. Ağır Metal İyon Analizleri.....	44
3.2.2.1. Bakır (II) analizi	44
3.2.2.2. Kurşun (II) analizi	45
3.2.2.3. Krom (VI) analizi	46
3.2.2.4. Çinko (II) analizi	46
3.2.2.5. Demir (II) analizi.....	47
3.2.2.6. Nikel (II) analizi	48
3.2.2.7. Kadmiyum (II) analizi	48
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	50
4.1. SULU ÇAMUR NUMUNELERİNİN ANALİZ SONUÇLARI	50
4.2. ARITMA ÇAMURLARININ YAZ MEVSİMİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ İLE KURUTULMASINA İLİŞKİN SONUÇLAR.....	51
4.2.1. Yaz Mevsimi Kurutma İşlemlerinde Toplam Katı Madde, Toplam Uçucu Katı Madde, İnorganik Katı Madde ve Yağ-Gres Analizleri	53
4.2.2. Yaz Mevsimi Kurutma İşlemlerinde Ağır Metal İyonları Analiz Sonuçları	58
4.3. ARTIMA ÇAMURLARININ KIŞ MEVSİMİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ İLE KURUTULMASINA İLİŞKİN SONUÇLAR.....	59
4.3.1. Kış Dönemi Kurutma İşlemlerinde toplam Katı Madde, Toplam Uçucu Katı Madde, İnorganik Katı Madde ve Yağ-Gres Analiz Sonuçları.....	60
4.3.2. Kış Mevsimi Kurutma İşlemlerinde Ağır Metal İyon Analizleri.....	66
4.4. İstatistikî Çalışmalar.....	66
4.4.1. Deneme Desenleri	66
4.4.2. Nikel (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları .	68
4.4.3. Bakır (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları .	68
4.4.4. Kurşun (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları	69
4.4.5. Kadmiyum (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları	70
4.4.6. Krom (VI) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları	70

4.4.7. Çinko (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları	71
4.4.8. Demir (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları	72
4.4.9. Toplam Uçucu Katı Madde Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları	72
4.4.10. İnorganik Katı Madde Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları	73
4.4.11. Yağ-Gres Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları	74
4.4.12. Yaz Mevsimi Kurutma Sistemleri Verimlerine İlişkin ANOVA Sonuçları	74
4.4.13. Kış Mevsimi Kurutma Sistemleri Verimlerine İlişkin ANOVA Sonuçları	75
4.5. Maliyet Analizi	77
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	87
EKLER (Var ise)	95
ÖZGEÇMİŞ	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	3
Çizelge 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	4
Çizelge 2.1. Çamur işleme ve bertaraf metotları.....	9
Çizelge 2.2. Arıtma çamurlarının bazı fiziksel özellikleri	10
Çizelge 2.3. Arıtılmamış (ham) ve çürütülmüş çamurun kimyasal bileşimi.....	12
Çizelge 2.4. Arıtma çamuru içeriğinde su dağılımı	15
Çizelge 3.1. TBAAT arıtma çamurunun ağır metal iyonları analiz sonuçları ve toprakta kullanılabilir arıtma çamurunda izin verilebilecek maksimum ağır metal iyonları değerlerinin karşılaştırılması	35
Çizelge 3.2. TBAAT arıtma çamurunun ağır metal ve bazı kimyasal Özelliklerine ait analiz değerleri	35
Çizelge 4.1. Çamur numunelerinin kurutma işlemi başlangıç analiz değerleri	51
Çizelge 4.2. Metal iyonları, toplam inorganik katı madde, sabit katı madde yağ-gres analizleri için deneme deseni	67
Çizelge 4.3. Kurutma sistemleri katı madde derişimleri için deneme deseni	67
Çizelge 4.4. Nikel (II) iyonları değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	68
Çizelge 4.5. Bakır (II) iyonları değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	68
Çizelge 4.6. Kurşun (II) iyonları değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	69
Çizelge 4.7. Kadmiyum (II) iyonları değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	70
Çizelge 4.8. Krom (VI) iyonları değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	71
Çizelge 4.9. Çinko (II) iyonları değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	71
Çizelge 4.10. Demir (II) iyonları değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	72
Çizelge 4.11. Toplam uçucu katı madde değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	73
Çizelge 4.12. İnorganik aktı madde değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	73
Çizelge 4.13. Yağ-Gres değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları	74
Çizelge 4.14. Yaz mevsimi kurutma sistemleri verimlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	75
Çizelge 4.15. Yaz mevsimi katı madde değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	75
Çizelge 4.16. Kış mevsimi kurutma sistemleri verimlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	76
Çizelge 4.17. Kış mevsimi katı madde değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları.....	76

Çizelge 4.18. Kullanılan güneş kollektörü özellikleri.....	77
Çizelge 5.1. Temmuz-Ağustos yaz dönemi kurutma verimlerinin karşılaştırılması..	82
Çizelge 5.2. Aralık-Ocak kış dönemi kurutma verimlerinin karşılaştırılması	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Kurutma sistemlerinin kurulduğu alan	36
Şekil 3.2. Çamur kurutma sistemleri akım şeması	37
Şekil 3.3. Çamurun kurutulması için güneş izleme sistemi ve kapalı sera sistemi	39
Şekil 3.4. Güneş izleme sistemi	41
Şekil 3.5. Bakır (I) için standart çalışma doğrusu	45
Şekil 3.6. Kurşun (II) için standart çalışma doğrusu	45
Şekil 3.7. Krom (VI) için standart çalışma doğrusu	46
Şekil 3.8. Çinko (II) için standart çalışma doğrusu	47
Şekil 3.9. Demir (II) için standart çalışma doğrusu	47
Şekil 3.10. Nikel (II) için standart çalışma doğrusu	48
Şekil 3.11. Kadmiyum (II) için standart çalışma doğrusu	49
Şekil 4.1. Yaz mevsimi ortam sıcaklık değişimleri	53
Şekil 4.2. Yaz mevsimi kurutma işlemlerinde katı madde yüzdesinin zamanla değişimi	54
Şekil 4.3. Yaz mevsimi kurutma işlemlerinde toplam uçucu katı madde yüzdesinin zamanla değişimi	55
Şekil 4.4. Yaz mevsimi kurutma işlemlerinde inorganik katı madde yüzdesinin zamanla değişimi	57
Şekil 4.5. Yaz mevsimi kurutma işlemlerinde yağ-gres yüzdesinin zamanla değişimi	58
Şekil 4.6. Kış mevsimi ortam sıcaklık değişimleri	61
Şekil 4.7. Kış mevsimi kurutma işlemlerinde katı madde yüzdesinin zamanla değişimi	62
Şekil 4.8. Kış mevsimi kurutma işlemlerinde toplam uçucu katı madde yüzdesinin zamanla değişimi	63
Şekil 4.9. Kış mevsimi kurutma işlemlerinde inorganik katı madde yüzdesinin zamanla değişimi	64
Şekil 4.10. Kış mevsimi kurutma işlemlerinde yağ-gres yüzdesinin zamanla değişimi	65

EKLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Ek-1. Açık sistem üst görünüş çizimi	93
Ek-2. Kapalı sistem ön görünüş çizimi	94
Ek-3. Kapalı sistem üst görünüş çizimi.....	95
Ek-4. Güneş izleme sistemi hareket paneli üst görünüş çizimi.....	96

1.GİRİŞ

Günümüzde giderek önem kazanan doğal çevrenin korunması, atıkların büyük ölçüde çevre ile uyumlu hale getirilerek bilinçli bir şekilde işlenmesi veya arazide kullanımı ile mümkün olmaktadır. Atıkların yeni tehlikelere yol açmadan değerlendirilebilmesi ekosistemin sürdürülebilirliğinin ön koşuludur.

Arıtma çamurlarının işlenmesi, çevre sağlığı kriterleriyle uyumlu bir şekilde çevreye zarar vermeyecek şekilde kontrol edilmesi, tüm dünyada olduğu gibi Ülkemizde de üzerinde önemle durulan bir konu olmaktadır. Arıtma çamurlarının yönetimi amacı ile, çamurların nihai bertarafından önce yoğunlaştırma, stabilizasyon, şartlandırma, susuzlaştırma gibi birim işlemler yapılarak çamur miktarı azaltılabilmektedir [1].

Arıtma çamurlarının kontrol ve değerlendirilmesi yöntemleri arasında; ormancılık ve verimsiz arazilerin ıslahı, depolama, yakma, kompostlamada katkı maddesi olarak kullanma, göl ve denizlere deşarj, günümüzde kullanılan arıtma çamuru uzaklaştırma yöntemlerinden bazılarındandır. Son yıllarda arıtma çamurlarının araziye uygulanması tercih edilen bir metottur. Atık suyun arıtılma sürecinde mikrobiyal besin zincirinin son ürünü olan arıtma çamurlarındaki azot ve fosfor gibi besin elementlerinin yararlı bir gübre, organik maddelerin ise toprak ıslah edici madde özelliği olması nedeniyle ABD Çevre Koruma Örgütü (EPA) başta olmak üzere birçok ülkede bu materyalin tamamen uzaklaştırılması yerine, sürdürülebilir ve yararlı bir şekilde arazide kullanılması amaçlanmaktadır. ABD’de değişik sektörlerden üretilen biyokattının % 33’ü arazide kullanılmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde de bu oran % 37 düzeyindedir [2].

Günümüzde uygun özellikler taşıyan arıtma çamurlarının tarım alanlarına verilerek faydalı kullanımının sağlanması oldukça yaygın bir uygulamadır. Arıtma çamurlarının belli oranlarda toprağa uygulanmasıyla hem nihai bertaraf gerçekleşmekte hem de çamur içeriğindeki bitki besin elementleri topraktaki doğal döngülerine girmektedir. Arıtma çamurunun bitki besin maddesi içeriği uygulanan

atıksu arıtma metotlarına, çamurun yaşı ve nem içeriği gibi özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ancak genel olarak arıtma çamurlarının bitki büyümesi için gerekli C, N, P ve iz elementlerini önemli miktarda içerdiği bilinmektedir [3].

Arıtma işlemi sonucunda ortaya çıkan çamur kütlesinin, insanlara ve çevreye verdiği değişik zararlar bulunmaktadır. İçerdiği organik maddeler, mikroorganizmaların çoğalmasına fırsat tanımaktadır. Bu mikroorganizmalar değişik hastalıklara neden olacağından mutlaka arıtma tesisinden çıkan çamurun deponi alanlarına taşınması gerekmektedir. Fakat hiçbir işleme tabi tutulmamış çamurun taşınması ve depolanması, katı madde oranının çok düşük olmasından dolayı tercih edilebilir bir yaklaşım değildir.

Biyolojik arıtım prosesleri sonucunda ortaya çıkan arıtma çamuru çok miktarda su ve çeşitli maddeler içermekte ve nihai bertarafı öncesinde, su içeriğinin mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. Yoğunlaştırma sonrası su içeriği hala yüksek olan çamurun, susuzlaştırılması gerekmektedir [4].

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. Çamur içerisindeki suyun doğal buharlaşmayla uzaklaştırıldığı havayla kurutma süreçleri daha az karmaşıktır, işletimi daha kolaydır ve mekanik susuzlaştırmaya göre daha az enerji ile işletilebilmektedir [5]. Mekanik ısı süreçlerinin ise yüksek ilk yatırım, işletme ve enerji maliyetleri gerektirdiği belirlenmiştir[6].

Doğal susuzlaştırma ve kurutma yöntemlerinde kullanılan en yaygın enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi geleneksel olarak seraların ısıtılmasında [7] veya gıda-tahıl kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır [8]. Güneşle atık su arıtma çamurlarının kurutulması bugün için yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalardır. Kentsel atık su çamurlarının hacimlerinin azaltılması ve ilave stabilizasyon amacıyla otomatik güneşle kurutma tesislerinden yararlanılmaktadır [9,10,11]. Türkiye ve özellikle Çukurova Bölgesinde güneşleme süresinin çok olduğu bir bölgedir.

Türkiye’de aylık ve yıllık ortalama güneş enerjisi potansiyeli Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’de verilmektedir

Çizelge 1.1. Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [12]

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi(MJ/m²-gün)	Güneşlenme Süresi (saat/gün)
Ocak	6.00	3.30
Şubat	8.20	4.10
Mart	11.25	5.30
Nisan	14.80	6.56
Mayıs	17.90	8.80
Haziran	20.30	10.80
Temmuz	20.40	11.75
Ağustos	18.40	11.06
Eylül	14.80	9.30
Ekim	10.50	6.90
Kasım	7.30	5.23
Aralık	5.50	3.30
Toplam	155.52	86.40
ORTALAMA	12.96	7.20

Çizelge 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam Güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [12].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (MJ/m²-gün)	Güneşlenme Süresi (saat/gün)
G.Doğu Anadolu	14.40	8.20
Akdeniz	13.71	8.10
Doğu Anadolu	13.46	7.30
İç Anadolu	12.96	7.20
Ege	12.86	7.50
Maramara	11.52	6.60
Karadeniz	11.05	5.40

Çizelgeler incelendiğinde ülkemizin ve çalışmanın yapılacağı Mersin ili Tarsus ilçesinin de içinde bulunduğu Akdeniz Bölgesinin güneş potansiyeli bakımından verimli olduğu görülmektedir. Verimin en düşük olduğu Karadeniz bölgesinin dahi Avrupa güneş enerjisi ortalamasının çok üstünde olduğu bir çok kaynakta belirtilmektedir. Bunun aksine Avrupa'nın yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden yararlanma oranı çok yüksektir. Avrupa'da tükenmekte olan fosil kaynaklı enerji türlerine alternatif olarak değerlendirilen yenilenebilir enerji kaynakları alanında çalışmaların yaygınlaştırılmış olması, teşvik ve desteklerin yaygın olması bu durumun doğal sonucudur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. ARITMA ÇAMURLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

1800 lü yılların sonuna doğru Amerika kıtasında başlayana arıtma tesisleri işletimi artık dünya geneline yayılmıştır. Ülkemizde de gerek yasal gerek çevre baskısından dolayı atık suların arıtımı çevre politikalarına paralel olarak önem kazanmış, yerel yönetimler ve atık su üreticileri için arıtım zorunlu kılınmıştır.

Atık suların işlendiği arıtma tesislerinde, kendiliğinden çöken, sıvı veya yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça % 0,25 ile % 12 katı madde içeren atıklar “ham arıtma çamuru” veya kısaca “ham çamur” olarak isimlendirilmektedir. Ham çamurlar stabilize edilerek ekolojik yönden kullanıma uygun hale getirildikten sonra “arıtma çamuru” olarak tanımlanmaktadır [13].

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

Izgara atıkları: Izgara çubukları arasında tutulabilecek büyüklükteki bütün organik ve inorganik maddeleri kapsar. Organik madde içeriği atık su toplama sistemi türü ve mevsimlere göre değişir. Izgarada tutulan maddeler ya öğütücüde parçalanarak ızgaradan sonraki arıtma birimlerine iletilir ya da varillerde depolanarak uygun bir şekilde giderilir. Küçük ve orta büyüklükteki atıksu arıtma tesisleri için bunların deponiye gönderilmesi daha ekonomiktir.

Ön çökeltme çamuru: Ön çökeltme çamurları genellikle gri-kahve renkli, kötü kokuludur. Uygun işletme koşullarında kolayca çürütülebilir. Ham ön çökeltme çamurunun katı madde içeriği % 4-8'dir. Bu çamurların su verme özelliği zayıftır ve kurutma yataklarında dahi suyunu bırakmamakla birlikte çamur suyunu mekanik olarak almak gerekmektedir.

Kimyasal çökeltme çamurları: Metal tuzlarının kimyasal çökmesi sonucu oluşan çamurlar genellikle koyu renklidir, hatta çok miktarda demir içeriyorsa yüzeyi kırmızı renkli olabilmektedir. Kireç çamurları gri-kahverengidir. Kimyasal çamurların hissedilebilir bir kokusu olmakla birlikte ön çökeltme çamuru kötü değildir. Kimyasal çamur jel yapıda olmakla birlikte, çamura jelatinimsi yapısını demir ve alüminyum hidratları sağlamaktadır. Çamur tank içinde uzun süre kalırsa, ön çökeltme çamuruna benzer şekilde fakat daha yavaş bozunmaya başlar. Önemli miktarlarda gaz çıkışı olabilir, uzun depolama süresine bağlı olarak çamur yoğunluğu artmaktadır.

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

Damlatmalı filtre çamuru: Damlatmalı filtre humusu, yumaklı yapıda, taze olduğu zaman kokusuzdur. % 0,5-1,5 arasında katı madde içerir, rengi sarıdan siyaha değişir. Genellikle diğer çamurlara göre daha yavaş bozunmaktadır. Damlatmalı filtre çamuru kolayca çürümektedir.

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

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

Anaerobik çürümüş çamur: Anaerobik çürümüş çamurun rengi koyu kahverengiden siyaha doğrudur ve önemli miktarda gaz içermektedir. Tamamen çürüdüğünde rahatsız edici değildir, kokusu belirsiz olmakla birlikte, yanık lastik ve sıcak katran kokusu hissedilmektedir. Kurutma yataklarında suyunu almak daha kolaydır, mekanik olarak suyunu gidermek zor olmaktadır. Kum yatak üzerine ince bir tabaka halinde serildiğinde, katı maddeler geride temiz bir su bırakarak çıkan gaz ile birlikte kum yatak üzerine taşınmaktadır. Çamur kururken gaz açığa çıkar, bahçe toprağı kokusunda çok kırılğan bir yüzey oluşmaktadır.

Kompostlanmış çamur: Kompostlanmış çamurun rengi koyu kahve rengi ile siyah arasındadır, fakat kompostlaştırma işlemi sırasında eski kompost ve odun talaşı kullanılmışsa, rengi değişebilmektedir. İyi kompostlanmış çamurun kokusu rahatsız edici değildir, bahçe çeşidi toprak şartlandırıcısı olarak ticari amaçlı kullanılabilinmektedir.

Septik tank çamuru: Septik tank çamurları siyah renklidir. Çamur uzun depolamaya rağmen iyi çürümemiş ise hidrojen sülfür ve diğer gaz çıkışlarından dolayı kokusu rahatsız edici durumda olmaktadır. İnce tabakalar halinde serilirse, kurutma yataklarında kurutulabilir, fakat iyi çürütülmemişse suyunu verirken hissedilebilir koku oluşmaktadır.

Atık alüm çamuru: İçme suyu arıtımından kaynaklanan atık alüm çamurunun sudan giderilen maddelerin çeşidine bağlı olarak rengi de değişiklik göstermektedir. Genellikle gri, sarı renkte ve kokusuzdur. Kurutma yataklarında suyunu almak zor olmaktadır [14].

Kum tutucu atıkları: Yüksek hızlarda çökebilin inorganik katı maddelerden oluşur. Tutulan kum niceliğı atıksu toplama sisteminin çeşidine, iklim koşuluna, zemin özelliklerine, kanalizasyon sisteminin durumuna, atıksuyu toplanan endüstri tesisinin çeşidine ve mutfak öğütücülerinin kullanılıp kullanılmamasına bağlıdır. Arıtma tesisinde tutulan kum miktarı 5 ile 200 mL/m³ arasında değişmekte olup

ortalama olarak 30 mL/m³ 'tür. Kum genelde deponide gömme, yıkama sonrası araziye yayma veya çamur ile birlikte yakma yöntemleri ile giderilmektedir [15].

Köpük, yağ ve gres: Köpük, ön ve son çökeltme havuzu yüzeyinden sıyrılan yüzebilir nitelikli maddelerden oluşur. Gres, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal yağlar, sabun, yiyecek atıkları, meyve ve sebze atıkları, saç, kâğıt, paçavra içerebilir. Köpüğün özgül ağırlığı 1,0'den küçüktür, genellikle 0,95 civarındadır. Evsel atıksu arıtma süreçlerinde oluşan köpük miktarı ortalama olarak 8 ml/m³ 'tür. Ön ve son çökeltme havuzlarının yüzeyinden sıyrılan köpük genellikle bir köpük yoğunlaştırma tankına veya uygun bir şekilde giderilmesi için varillere pompalanır. Arıtım ve giderilme yöntemleri, tesis içi gömme, deponide depolama, yakma ve çürütme olarak sıralanabilir [15].

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurlarının yapısı, tesiste uygulanan fiziksel, kimyasal, biyolojik veya ileri arıtma proseslerine göre farklılık göstermekte, çıkan yüksek karbonlu organik yapıda potasyum, azot, fosfor, kükürt ve metal bileşikleri de bulunabilmektedir [16]. Çıkan çamur hacimce büyük olup, işlenmesi ve bertarafı atıksu arıtma alanında oldukça karmaşık bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çamur probleminin karmaşık olmasının başlıca sebepleri;

- Arıtılmamış atıksu içindeki önemli miktarlarda koku veren maddeler
- Biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması
- Çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi olarak özetlenebilir [17].

Amerika'da 1993 yılı itibariyle ortaya çıkan 5.40 milyon ton biyokatının %33'ü arazide kullanılmaktadır. Arazide uygulanan biyokatıların %67'si tarım alanlarında, %3'ü orman alanlarında, %9'u ıslah edilecek alanlarda, %9'u yeşil alanlarda ve %12'si torbalanarak satılmaktadır [18]. Avrupa'da 1992 yılı itibariyle elde edilen biyokatı miktarı ile ülke bazında bertaraf miktarı ve kullanım oranları

incelendiğinde, üretilen biyokatı 7 milyon ton olup, bunun %37'si tarım alanlarında kullanılmaktadır [19].

Çamur işlenmesi ve bertarafında kullanılan metotlar aşağıda verilmiştir. Graviteli yoğunlaştırma, şartlandırma, susuzlaştırma ve kurutma, kullanılan başlıca arıtma metotlarıdır. Çürütme, kompostlama, yakma, ıslak-hava oksidasyonu ve derin şaft reaktörleri çamurdaki organik maddeleri stabilize etmek veya arıtmak amacıyla kullanılmaktadır [20]. Çamur işleme ve bertaraf metotları Çizelge 2.1.1.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çamur işleme ve bertaraf metotları [20].

Proses	Çamur Çeşidi	Açıklamalar
Elek	Kaba katı atık	Kaba katılar mekanik olarak veya çubuk ızgaralardan elle toplanarak atılır
Kum tutucu	Kum ve köpük	Köpük giderme işlemi, kum tutucularda kum ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön havalandırma	Kum ve köpük	Bazı sistemlerde ön havalandırma tankında köpük giderici yoktur, kum tutucunun bulunmaması tankta kum birikimine sebep olmaktadır.
Birincil (Ön) çöktürme	Birincil çamur ve köpük	Çamur ve köpük miktarı toplama sistemine giren atık suyun özelliklerine göre değişir.
Biyolojik arıtma	Askıda katı maddeler	Askıda katı madde biyolojik arıtma sonucu oluşur. Arıtma sisteminde oluşan fazla çamuru yoğunlaştırmak gerekebilir.
İkincil (Son) çöktürme	Biyolojik çamur ve köpük	ABD EPA'ya göre köpük tutucu şart koşulmuştur.
Çamur işleme birimleri	Çamur, kompost ve kül	Son ürünün özelliği, kullanılan proses ve işletme ile çamur özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki yasal düzenlemeler giderek ağırlaşmaktadır.

Çamur arıtımı ve son uzaklaştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, çamur ve katı maddenin özelliği ve içeriğini bilmek çok önemlidir. Bu aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile de yakından ilgilidir. Arıtma çamurların bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.1.2’de verilmiştir [21].

Çizelge 2.2. Arıtma çamurlarının bazı fiziksel özellikleri [21].

Çamur ve Katı Atık	Tanımlama
Izgara ve elekte tutulan atıklar	Büyük boyutlu organik ve inorganik maddelerin tutulmasında kullanılır. Organik madde içeriği sistemin yapısına ve mevsime göre değişim gösterir.
Kum	Hızlı çökme özelliğine sahip ağır inorganik katılardan oluşmaktadır. İşletme şartlarına da bağlı olarak yağ ve gres gibi organik maddeleri de içerir.
	Birincil ve ikincil çöktürme havuzları yüzeyinden sıyrılarak alınan yüzen Maddeler içerir. Köpük, yağ, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal katı yağlar, parafin, sabun ve yiyecek atıkları, sebze ve meyve kabukları, saç, kağıt ve karton, izmarit, plastik maddeler, kum ve benzeri maddeler içerir. Özgül ağırlığı genellikle 0,95’tir.
Birincil çamur	Birincil (ön)çöktürmeden çıkan çamur gri ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir.
Kimyasal çöktürme çamuru	Metal tuzları ile yaptırılan çöktürmeden çıkan çamur koyu renkli, demir içeriği yüksek kırmızlı renklidir. Kokusu birincil çamur kadar yoğun değildir. Çamurdaki demir veya alum hidratları çamuru jelatinimsi yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş çürümeye uğrar. Önemli miktarda gaz çıkışı olur ve tankta uzun süre kalırsa çamur yoğunluğu artar.
Aktif (Biyolojik) çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir. Renk açık ise az

Aktif (Biyolojik) çamur	havalandırma sonucu kötü çöktürme çamurudur. İyi şartlardaki çamur toprak kokusundadır. Çamur kolaylıkla septikleşmeye meyillidir. Çürük yumurta kokusu yayabilir. Yalnız veya birincil çamurla karışmış aktif çamur kolaylıkla çürüyebilir.
Damlatmalı filtre çamuru	Kahve renkli, floklu ve taze olduğundan nispeten kokusuzdur. Aktif çamura göre daha yavaş parçalamaya uğrar ancak kolay çürütülebilir.
Aerobik çürütülmüş çamur	Kahve ve koyu kahve renklidir. Flöküler özelliğindedir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.
Anaerobik çürütülmüş çamur	Koyu kahve-siyah renkli olup çok miktarda gaz içerir. Tam çürütüldüğünde kötü kokmaz, kokusu hafif, sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir. Çamur kurudukça gaz çıkar, zengin bahçe toprağı özelliklerindedir.
Kompost ürünü	Koyu kahve-siyah renklidir. Ancak kompostlamada kullanılan odun kırıntıları ve geri döndürülen kompost dolayısıyla renk değişebilir. İyi kompostlanmış çamur kokusuz olup ticari değerde bahçe toprağı şartlandırıcı olarak kullanılabilir.
Fosseptik (septik tank) çamuru	Siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gazlardan dolayı kötü koku yayar. Bu durumdaki çamurun kurutulmasında ciddi koku problemiyle karşılaşılır.

Arılmamış (ham) ve çürümüş çamurun kimyasal bileşimi ile ilgili bilgiler Çizelge 2.1.3'de çizelgede verilmiştir. Son uzaklaştırma yönteminin belirlenmesinde nütrientler de dahil olmak üzere kimyasal bileşiklerin çoğunun bilinmesi önemlidir. Havasız çürütme sisteminin kontrolünde pH, alkalinite ve organik asit içeriğinin

ölçülmesi oldukça önemlidir. Yakma ve arazide bertaraf metodunun uygulanması durumunda çamurdaki ağır metal, pestisit ve hidrokarbonlar ölçülmelidir. Yakma gibi termal proses kullanılacağında çamurun enerji içeriğide hesaplanmalıdır [21].

Çizelge 2.3. Arıtılmamış (ham) ve çürümüş çamurun kimyasal bileşimi [21].

Bileşim	Ham Birincil Çamur		Çürütülmüş Birincil Çamur		Aktif Çamur Sistemi
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık
Toplam Katı Madde (KM) ,%	2-8	5	6-12	10	0,83-1,16
Uçucu Katı(KM'nin %'si)	60-80	65	30-60	40	59-88
Yağ ve Gres (KM' nin %'si)					
Eterde Çözülebilir	6-30	-	5-20	18	-
Eterde ekstrakte Edilebilir	7-35	-	-	-	5-12
Protein (KM' nin %si)	20-30	25	15-20	18	32-41
Azot (KM' nin %'si)	1.5-4	2.5	1.6-6	3	2,4-5
Fosfor((P ₂ O ₅ , (KM' nin %'si))	0.8-2.8	1.6	1.5-4	2.5	2,8-11
Potasyum((K ₂ O,(KM'nin %'si))	0-1	0.4	0-3	1	0,5-0,7
Selüloz (KM' nin %si olarak)	8-15	10	8-15	10	-
Demir (sülfitsiz)	2-4	2.5	3-8	4	-
Silika ((SiO ₂ , (KM' nin %'si))	15-20	-	10-20	-	-
pH	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8
Alkalinite (mg/l CaCO ₃)	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Organik Asitler (mg/l,)	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Enerji İçeriği (kj KM/kg)	23000-29000	25000	9000-14000	12000	19000-23000

Çamurun arazide bertarafı ve faydalı kullanımını etkileyen başlıca özellikleri; organik içeriği (uçucu katı olarak ölçülür), besi maddeleri, patojenler, metaller ve

toksik organiklerdir. Çamurun arazide kullanılması durumunda, gübre özelliği (azot, fosfor ve potasyum içeriği) önem kazanır. Araziye verilen çamur, bitki büyümesi için gereken besi maddelerini karşılar. Bazı uygulamalarda, çamurun fosfor ve potasyum içeriği bitki gereksinimini karşılayamayacak kadar az olabilir. Çamurdaki iz elementler, inorganik kimyasal elementler olup bitki ve hayvanlar için gerekli veya zararlı olabilir. Çamurun arazide kullanım miktarı, yapısındaki ağır metal konsantrasyonuna bağlıdır. Besi maddesi konsantrasyonu toprak ve bitki özelliğine göre değişir [21].

Arıtma çamurunun sınıflandırılmasında kullanılan parametrelerİ arasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler olarak sınıflandırılabilir bulunmaktadır:

- *Fiziksel parametreler*; arıtma çamuru hakkındaki işlenebilirlik bilgilerini vermektedir.
- *Kimyasal parametreler*; çamurun içinde bulunan besinlerin ve toksik /tehlikeli maddelerin varlığını belirlemede yardımcı olur.
- *Biyolojik parametreler*; arıtma çamuru içindeki mikrobik faaliyetleri ve organik madde varlığı ve böylelikle çamurun emniyetli bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağını belirler [22].

2.2. ÇAMUR KAYNAKLARI

Arıtma çamurlarının kaynağı olan atıksu arıtma tesislerinde genellikle üç temel arıtım aşaması mevcuttur. Bu aşamalar;

- *Birincil arıtım*,
- *İkincil arıtım*,
- *Üçüncül arıtım (Fiziksel-Kimyasal Arıtma) 'dır.*

Ön arıtma olarak da adlandırılan birincil arıtım, daha çok fiziksel işlemleri kapsar. Yaygın olarak kullanılan bu arıtma yönteminde inorganik karakterli katı maddeler ızgara ve kum tutucu filtrelerde toplandıktan sonra bertaraf sahasına iletilir. Çökeltim havuzu tabanında toplanan maddeler “ham ön çökeltim çamuru” olarak

tanımlanır. Su içeriği çok yüksek olan bu çamurun stabilizasyonunda genellikle anaerobik çürütme yöntemi kullanılmaktadır.

İkincil arıtımda esas, çözünebilir organik maddelerin biyokimyasal oksidasyon yöntemi ile giderimidir. En yaygın şekilde kullanılan ikincil arıtım sistemleri, aktif çamur ve damlatmalı filtrelerdir. Aktif çamur; süspansiyon bir yapı içerisine yerleştirilmiş çeşitli bakteri türlerinden ve aynı yapı içerisindeki protozoalardan oluşmaktadır. Bu sistemde son çökeltme havuzunda toplanan atık aktif çamurun sadece bir kısmı stabilize edilmek üzere sistemden uzaklaştırılmakta, diğer kısmı ise geri dönüş çamuru olarak sisteme gönderilmektedir.

Damlatmalı filtre sisteminde biyolojik süreçler mekanik bir filtre olarak çalışmazlar. Filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltim havuzunda arıtılmış sudan ayrılır ve bu çamur filtre humusu olarak adlandırılır. Filtre humusu genellikle, ham ön çökeltim çamuru ile karıştırılmakta ve genellikle anaerobik olarak çürütülmektedir.

İkincil arıtmadan daha yüksek kalitede arıtım sağlamak üzere uygulanan ileri arıtım kademesi üçüncül arıtım veya fiziksel-kimyasal arıtım olarak adlandırılır. Üçüncül arıtım, atık suda azot ve fosfor giderimi ile dezenfeksiyon işlemlerini kapsamaktadır. Üçüncül arıtım, atık su içerisinde bulunan azot ve fosfor elementlerini giderdiğinden dolayı arıtma çamurlarının tarımsal üretimde kullanılması açısından uygun değildir [23].

2.3. ARITMA ÇAMURLARININ SU İÇERİĞİ

Arıtma çamurlarının önemli bir kısmının su olması nedeniyle kapladıkları hacim oldukça fazladır. Özellikle biyolojik arıtma işleminden oluşan arıtma çamurlarının organik madde içeriği çok yüksek olduğu için bu tip çamurlar bozunma ve kokuşma eğilimindedir.

Doğal ve mekanik su alma işlemleri, nihai bertaraf öncesinde çamur hacmini azaltmak ve çamurda yüksek katı madde içeriğine ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır. Çamur şartlandırma işlemi ise çamurun su verme özelliğini geliştirmek ve mekanik su alma işleminin verimini arttırmak amacıyla yaygın olarak uygulanmaktadır. Termal şartlandırma, dondurma – çözme gibi pek çok şartlandırma yöntemi olmakla birlikte kimyasal şartlandırma bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan yöntemdir .

Arıtma çamurları gördükleri çeşitli işlemlere ve içerdikleri su miktarlarına göre belirli bir yapıya ulaşırlar. Bu durumu pratik anlamda uygulamaya yönelik değerlendirmek mümkündür:

Çamurda suyun bulunma şekline göre;

- İç su (hücre suyu, hidratt suyu, iç kapılar suyu)
- Dış su olarak adlandırılmaktadır.

Dış su ise; a.) adsorpsiyon suyu; b.) kapılar su; c.) adezyon suyu; d.) ara hacim suyu (boşluk suyu) olarak ayrılmaktadır.

% 95 su içeren ve % 5 katı madde içeren bir evsel atıksu arıtma çamurundaki bu anılan suların dağılımı ise Çizelge 2.3.1' de verilmiştir [24].

Çizelge 2.4. Arıtma çamuru içeriğinde su dağılımı [25].

Yapısı	%
Ara ve boşluk hacmi suyu	70
Kapılar suyu, adezyon suyu, gözenek açığı suyu, kaba kapılar su	22
Adsorpsiyon suyu, iç kapılar suyu, hidrat suyu, hücre suyu	8

2.4. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Günümüzde pek çok ülkede, arıtma çamurlarının bir daha kullanılmamak üzere bertarafı yerine yeniden kullanımı üzerinde durulmaktadır. Arıtma çamurunun yeniden kullanım olanakları arasında; tarım alanlarında, toprak ıslahında, yeşil alanlarda, ağaçlandırma ve orman alanlarında kullanımı sayılabilir. Örneğin Amerika'da 1993 yılı itibarıyla oluşan 5.4 milyon ton (kuru madde/yıl) arıtma çamurunun % 33'ü arazide kullanılmıştır. Bunun % 67'si tarım alanlarında, % 9'u yeşil alanlarda, % 9'u toprak ıslahında, % 3'ü orman alanlarında ve % 12'si ise torbalanarak satılmıştır. Avrupa'da ise, 1993 yılında oluşan 7 milyon ton (KM)/yıl arıtma çamurunun %37'si tarım alanlarında değerlendirilmiştir. Bu oran Danimarka, Fransa, İngiltere, Norveç, İsveç ve İspanya'da % 50 civarındadır [25].

Atıksu arıtma tesislerinde ön çökeltim ve son çökeltim havuzlarında oluşmak üzere taze çamurlar oluşmaktadır. Bu taze çamurlar ya doğrudan biyolojik işlem ünitelerine (kompostlaştırma ve/veya biyogaz üretimi) gönderilir orada stabilize edilir ve aynı zamanda değerlendirilebilecek ürünlere dönüştürülür ya da termik işlem ünitelerine gönderilir tek başına veya evsel katı atık ile birlikte kurutulduktan sonra termik dönüştürme (yakma veya piroliz) gerçekleşir ve enerjisinden yararlanır. Biyogaz ünitesinden gelen kalıntı ya doğrudan tarımsal alanlara verilir ya da yapay ve/veya doğal olarak suyu alındıktan sonra deponi alanına gönderilir [26].

Arıtma işlemi sonucunda ortaya çıkan çamur tabakasının, insanlara ve çevreye verdiği değişik zararlar bulunmaktadır. İçerdiği organik maddeler, mikroorganizmaların çoğalmasına fırsat tanır. Bu durumdan dolayı arıtma çamurunun deponi alanlarına taşınması gerekmektedir. Fakat hiçbir işleme tabi tutulmamış çamurun taşınması ve deponlanması, katı madde (KM) oranının çok düşük olmasından dolayı pek akılcı bir yaklaşım değildir [27].

2.4.1. Çamur İşleme ve Bertaraf Yöntemleri

Atıksu arıtma prosesinin çeşitli noktalarından çıkan çamurların, tesisten alınması ve uygun tekniklerle zararsız hale getirilerek uzaklaştırılması şarttır. Bu teknikler şu şekilde sıralanabilir [28]:

- Birincil işlemler
- Yoğunlaştırıcı
- Stabilizasyon
- Şartlandırma
- Dezenfeksiyon
- Susuzlaştırma
- Isıl Kurutma
- Termal azaltma
- Nihai bertaraf

2.4.1.1. Birincil işlemler

Çamur öğütme, kum ayırma, karıştırma ve depolama kademeleri, çamur işleme ünitesine homojen ve sabit özellikli bir çamur verebilmek için gerekmektedir. Karıştırma ve depolama, uygun tasarlanmış bir birimde veya ayrı birimlerde gerçekleştirilmektedir.

- Çamur, birincil, ikincil ve ileri atıksu arıtma sistemlerinde üretilir. Birincil çamur, ham atıksuyun taşıdığı çökebilir katılardan ikincil çamur ise, biyolojik ve çökebilir katılardan oluşmaktadır.

- Öğütme, tıkanmaları ve dönen ekipmanlara sarılmaları önlemek için, çamurdaki büyük ve şerit halindeki maddeleri kırma veya kesme kuvveti ile küçük parçacıklar haline getiren bir proses olarak tanımlanmaktadır.

- Kum ayırma, birincil çökeltme tanklarının ön kısmında kum tutucuların kullanılmadığı bazı tesislerde veya kum tutucuların pik debileri ve yükleri karşılamakta yetersiz kaldığı durumlarda, çamurun islenmesinden önce kumun ayrılması gerekebilir.

- İleri arıtım sistemi çamuru, biyolojik ve kimyasal çamurdan oluşmaktadır. Çamurda homojen bir karışım elde edilerek daha sonraki işlem ve prosesler için hazırlanır. Çamurun homojen özellikli olması, susuzlaştırma, ısıl arıtım ve yakma gibi kısa kalma zamanlı sistemler için çok önemlidir. Uygun özellikli iyi karıştırılmış çamur, sistemin işletme verimliliğini büyük ölçüde arttırmaktadır [29].

2.4.1.2. Yoğunlaştırma

Arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurunun daha küçük hacime ulaşmasını sağlamak amacıyla yoğunlaştırma işlemi uygulanır. Genelde uygulama son çökeltme çamurlarının yoğunlaştırılması, ön çökeltme çamurunun ise doğrudan çürütücülere yollanması şeklindedir. Yoğunlaştırma sonucunda katı madde konsantrasyonu 25 kat artmaktadır. Yoğunlaşan çamurun hem hacmi hem de susuzlaştırma maliyeti bu sayede azaltılabilmektedir. Tipik çamur yoğunlaştırma yöntemleri Tablo 2.4.1'de verilmiştir [30].

2.4.1.3. Stabilizasyon

Arıtma çamurları patojenleri azaltmak veya gidermek; istenmeyen kokuları gidermek; potansiyel organik bozunmayı azaltmak, engellemek veya bu riskten kurtulmak amacıyla stabilize edilmektedirler. Kireç, çamurun suyunu verme özelliklerini geliştirmek için kullanıldığı gibi, çamur stabilizasyonu amacıyla da kullanılmaktadır. Bu yöntemde çamura, pH değerini 12 veya daha yukarı çıkaracak miktarda kireç ilave edilmektedir. Yüksek pH, mikroorganizmalar için uygun olmayan bir ortam oluşturmaktadır [28].

Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca teknolojiler ;

- Kireç yöntemiyle stabilizasyon
- Isıl arıtma
- Anaerobik çürütme

- Aerobik çürütme
- Kompostlaştırma olarak sıralanmaktadır.

2.4.1.4. Şartlandırma

Şartlandırma; çamurun suyunun alınmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir proses olarak adlandırılmaktadır.. Kimyasal şartlandırma ve ısı arıtımı en yaygın yöntemlerdir. Çamuru daha iyi susuzlaştırmak amacıyla şartlandırıcı kimyasalların kullanımı, yüksek verimi ve esnekliği dolayısıyla ekonomik olmaktadır [29].

- Kimyasal şartlandırma atığın özelliğine bağlı olarak, giren çamurda % 90–99 su azalması sağlayarak nem muhtevasını % 65–85'e düşürür. Bu yöntemin esası, katının koagülasyonu ve absorbe olan suyun açığa çıkarılmasıdır [29].

- Isıl arıtım sürekli bir proses olup, 260 °C ye kadar 2760 kN/m² basınçta yaklaşık 30 dk gibi kısa sürede çamurun ısıtılması esasına dayanır. Isıl arıtma hem stabilizasyon hem de şartlandırma prosesi olarak işlev görmektedir. Isıl arıtma, kimyasal kullanmaksızın çamurun susuzlaştırılmasını sağlamaktadır. Çamur yüksek sıcaklık ve basınç altında kaldığında ısıl aktivite ile bağlı su çamurdan ayrılır ve çamur koagüle olmaktadır [29].

2.4.1.5. Dezenfeksiyon

Çamurun araziye yayılması ve tekrar kullanımı için yönetmelik kısıtlamalarından dolayı çamur dezenfeksiyonu giderek önem kazanmaya başlamıştır. Çamurun araziye verildiği alanlarda halk sağlığı açısından insanların hastalık yapan organizmalarla teması kontrol altına alınmalıdır. Aerobik veya anaerobik olarak çürütülmüş sulu çamurların dezenfeksiyonu için en iyi yöntem pastörizasyon veya uzun süreli depolamadır. Suyu alınmış aerobik veya anaerobik çürümüş çamurların dezenfeksiyonunda en iyi yöntemler ise kompostlaştırma ve uzun süreli depolamadır. Dezenfeksiyon amacıyla yaş çamurun 70 °C'de 30 dakika

pastörizasyon işleminin uygulanmasıyla parazit yumurtaları ve kistleri inaktif hale gelmektedir [24].

2.4.1.6. Susuzlaştırma

Arıtma tesisinden çıkan çamurun kolayca uzaklaştırılabilmesi için sıvı halden çıkıp katı hale dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle, çamur su miktarının azaltılması için değişik işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu amaçla kullanılan sistemler [28];

- Çamur kurutma yatakları
- Çamur lagünleri
- Çamurun araziye yayılması
- Belt filtreler
- Santrifüjler
- Vakum filtreleri
- Filtre presler olarak gruplanmaktadır.

2.4.1.7. Kurutma

Kurutma, atık çamur içindeki katı atık madde miktarını daha da fazla artırmak için yapılan işlemdir. Çamurun nihai uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak bakımından katı madde muhtevasının artırılması veya su içeriğinin azaltılması yani suyunun alınması gerekmektedir. Çamurun suyunun alınması ile aşağıdaki faydalar sağlanmaktadır:

- Çamurun su içeriği azaldığında hacmi de azalacağından nihai uzaklaştırma sahasına nakil masrafı azalır,
- Kürek, kepçe, nakil bandı, traktör gibi vasıtalarla taşınabildiğinden sıvı haldeki çamura göre daha kolay nakledilebilir,
- Yakma söz konusu olduğu zaman, su muhtevası azaldığından yakılması daha da kolaylaşır,
- Çamurun tamamen kokusuz olmasını ve ayrışmamasını temin eder,

- Çamurun nihai olarak araziye serilme durumunda, yeraltına sızma sonucu yeraltı suyunun kirlenmesi önlenemez.
- Çamur suyunun alınması, vakum, pres, yatay bant filtre, santrifüj gibi usullerle veya kurutma yatakları ve çamur lagünleriyle sağlanabilmektedir [28].

2.4.1.8. Nihai bertaraf

Arıtma çamurlarının nihai bertarafı için çeşitli alternatifler sunulabilir. Arıtma çamurlarının özellikleri ile mevcut ekonomik ve teknik imkanlara göre uygulanan nihai bertaraf yöntemi de farklılık gösterir. Arıtma çamurlarının nihai bertarafı için kullanılan yöntemler;

Çamur lagünlerinde depolama

Lagünler; çamurların çürütülmesi, yoğunlaştırılması, kurutulması, depolanması ve nihai bertarafında kullanılan sistemlerdir. Büyük alanlarda kurulan lagünlerde buharlaşma ve çökmeden dolayı çamur hacminde önemli azalma olur, çamurun katı madde içeriği artar. İşletme ve bakım masraflarının düşük olmasından dolayı en çok tercih edilen nihai bertaraf sistemidir. Ancak büyük alan ihtiyacı olması, olası koku ve sinek problemlerinden dolayı küçük kapasitedeki tesislerin arıtma çamurlarının depolanması amacıyla kullanılması daha uygun görülmektedir [24].

Düzenli depolama

Düzenli depolama arıtma çamuru bertarafında kullanılan diğer bir yöntemdir. Düzenli depolama, geri döndürülemeyen ve başka kullanım imkanı olmayan atıklara, geri kazanma tesislerinde açığa çıkan kalıntılara ve yakma tesislerinden çıkan kül ve cüruf gibi maddelere uygulanan nihai bertaraf işlemidir. Düzenli depolama, katı atık yönetiminde en az istenen ve en düşük önceliğe sahip yönetim seçeneği olarak görülmelidir. Buna rağmen diğer uzaklaştırma teknolojilerine göre daha basit ve ucuz

olması dolayısıyla, düzenli depolama bazı istisnalar hariç günümüzde en çok kullanılan katı atık bertaraf yöntemidir [31].

Arazi iyileştirme

Tarımsal amaçlı kullanılması mümkün olmayan arazilerin arıtma çamurları ile desteklenerek tarımsal değeri olan araziler haline dönüştürülmesi mümkündür ancak bu işlemin maliyeti yüksektir. Toksik ve ağır metal içeriği yüksek olan çamurlar arazi ıslahında kullanılmazlar [24].

Kimyasal sabitleme (stabilizasyon/solidifikasyon)

Deponi sahasında hacim azalması sağlanması, atığın ihtiva ettiği kirleticilerin yağmur suyu ile teması halinde yıkanarak sızıntı sularına geçişinin önlenmesi amacıyla uygulanan en yararlı yöntem stabilizasyon yöntemidir. Çeşitli bağlayıcı malzeme ilavesiyle atık içindeki kirleticilerin katı bünye içinde sabitlenmesi, hapsedilmesi bu tür tehlikeli atıkların doğaya olan zararını önleyecektir [24].

Stabilizasyon işlemi, herhangi bir atığın kimyasal olarak kararlı forma dönüştürmek için uygulanır. Solidifikasyon işlemi ise sıvı atıktan homojen bir katı kütlesi oluşturmak üzere, atığın yapısını ve fiziksel özelliklerini geliştiren çeşitli materyallerin ilavesini kapsamaktadır [24].

2.4.1.9. Termal yöntemler

Termal yöntemler çoğunlukla çamur uzaklaştırma imkanlarının kısıtlı olduğu çok büyük tesislerde uygulanır. Yakma işleminden önce stabilizasyon gereksizdir. Çünkü aerobik veya anaerobik olarak çamurun stabilize edilmesi sonucu çamurun organik madde içeriği azalacağından yakma işleminde gerekli yakıt miktarı artar. Çok gözlü fırınlarda yakma veya akışkan yataklı fırınlarda yakma, piroliz, ıslak hava oksidasyonu ve ani kurutma ile yakma termal yöntemler olarak sıralanabilir [24].

Bazı ülkelerde % 40'lara ulasan arıtma çamurlarını yakarak bertaraf etmek, organik atık miktarında en büyük hacim azalmasının sağlandığı yöntem olmasıyla arazi darlığı bulunan ülkeler için uygun bir çözüm olarak görülmektedir. Ancak bu yöntem düzenli depolamaya göre 2–3 kat daha pahalı bir yöntemdir. Ayrıca yakma neticesinde oluşacak hava kirliliği, gelişmiş baca gazı arıtma teknolojileri kullanılmadığı takdirde, çevreyi de olumsuz yönde etkileyebilmektedir [31].

2.4.2. Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi

Arıtma tesislerinin ilk kurulduğu dönemlerde ortaya çıkan çamur tüm dünya ülkelerinde çöp depolama alanlarına ve denizlere dökülmüştür. Ancak çamurların denizlere dökümü 1 Ocak 1999 tarihinden itibaren yasaklanmıştır. Diğer taraftan çamurun içerdiği organik madde ve besi maddelerinin gübre değeri dikkate alınarak verimsiz arazinin ıslahı için evsel çamurların arazi üzerine serilmesi gündeme gelmiş, bunun sonucu olarak ağır metal vb. kirleticilere üst limitler konulmuştur.

Ülkemizde işletmeye alınan atıksu arıtma tesislerinin sayısı fazlaştıkça, tesisin son ürünü olarak ortaya çıkan arıtma çamuru miktarının da artması kaçınılmazdır. Mevcut uygulamalar genelde arıtma çamurlarının tesis işletmecileri tarafından çöp depolama alanlarına “atık” olarak gönderilmesi ve depolanması şeklindedir. Ancak, son yıllarda “atıp-kurtulma” felsefesi üzerine kurulu atık yönetim stratejilerinin terkedilip yerine “sürdürülebilirlik” felsefesi ile uyumlu modellerin tercih edilmesi sonucu tarımsal amaçlı kullanım, kompostlama gibi atıkların geri kazanımına yönelik alternatifler ağırlık kazanmaya başlamıştır [32].

Arıtma çamurunun bitki gelişimine olumlu etki yapan azot, fosfor, potasyum gibi bitki besin elementlerini içermesi, toprağın organik madde içeriğini arttırması ve fiziksel özelliklerini iyileştirmesi gibi avantajları göz önüne alındığında tarımsal amaçlı kullanım seçeneği cazip bir uygulama olabilmektedir [32].

ABD’de arıtma çamurlarının % 33’nün arazide kullanıldığı, arazide kullanılan bu çamurların % 67’sinin tarım alanlarında, % 3’nün orman alanlarında, % 9’nun arazi rehabilitasyonunda, % 9’nu yeşil alanlarda ve % 12’sinin de satıldığı

kaynaklarda belirtilmekle birlikte Avrupa ülkelerinde tarım kullanım oranı % 36 düzeyindedir.

Özellikle çamur bileşimi dikkate alındığında, agro-endüstri olarak tanımlanan sebze, bitki işleme, vb. tesislerde oluşan arıtma çamurlarının düşük ağır metal, yüksek organik madde içeriğine sahip olmasının tarımsal amaçlı kullanım potansiyelini arttırdığı söylenebilir. Literatürde kağıt endüstrisi arıtma çamurlarının ormanlık alanlarda (örneğin çam ve ladin ağaçlarını yetiştirmek için) ve patates yetiştirme gibi uygulamaları yer almaktadır [32].

Çamurları düzenli depolama alanlarına verilmesi en ucuz ve en basit yöntem olmakla birlikte bazı uygulama güçlükleri ve koku gibi işletme problemleri de mevcuttur. Bununla birlikte susuzlaştırılmış çamurun dolgu malzemesi olarak kullanılması yaygınlaştırılmaktadır.

2.4.2.1. Katı atık düzenli depolama sahasında kullanım

Düzenli depolama, katı artıkların ve arıtma çamurlarının halk sağlığı ve güvenliğine zarar vermeyecek şekilde depolanması ve üzerlerinin örtülmesi işlemidir. Çamur depolama işlemlerinin uygulanmasında ilk amaç, çamur hacminin azaltılarak deponi alanındaki mevcut depolama kapasitesini arttırmaktır. Bu nedenle düzenli depolamaya verilecek olan çamurların doğal veya mekanik yöntemler uygulanarak suyu alındıktan sonra depolanması gerekir [33].

Arıtma Çamurunun Evsel Katı Atıklarla Birlikte Depolanmasına ilişkin Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY)' nin 28. maddesinde "Arıtma çamurunun depolanabilmesi için içinde bulunan su oranının % 65 olması gerekir. Ancak, depo yeri işletmecileri, çamurun su oranının daha fazla olması halinde, deponun stabilizesini bozmayacağı, koku problemi ortaya çıkarmayacağı kanaatine varırlarsa,

su oranı % 75'e kadar olan çamurları kabul edebilirler” ibaresiyle arıtma çamurlarının değerlendirilme öncesi yüksek oranda katı madde içermesi gerektiği belirtilmiştir.

2.4.2.2. Tarımsal amaçlı kullanım

Tarımsal üretimin artırılması için kullanılan gübreler değişen miktarlarda azot, fosfor ve potasyum içermektedirler. En yaygın olarak kullanılan gübrelerde azot: fosfor: potasyum değeri 8:8:8 ve 5:10:10 şeklindedir. Arıtma çamurlarında bulunan azot, fosfor ve potasyum değerleri ise ticarî gübrelere nazaran daha düşüktür. Çünkü arıtma çamurları, çeşitli arıtma prosesleri boyunca gübre değerlerinin bir bölümünü kaybederler. Tipik bir şehir atıksu arıtma tesisinden alınan çamurdaki azot, fosfor ve potasyum yüzdeleri arasındaki oran 3:2:0'dir [33].

AB direktiflerine göre organik atıkların depolanmasına ilişkin kısıtlamalar sebebiyle, çamur bertarafında nihai çözüm, çamurun kompostlaştırılarak tarımda kullanılmasıdır. Çamurun kompost olarak kullanılabilmesi için mevcut çamur bertaraf tekniğinin iyileştirilmesi gerekir. Organik içeriği fazla olan çamurları, sıvı fazdan ayırma, yoğunlaştırma, stabilize etme susuzlaştırma ve nihai bertaraf gibi çamur arıtımında uygulanan prosesler, teknik ve işletme açısından kolay değildir. Organik atıkların ve arıtma çamurlarının birlikte kompostlaştırılması hem atıkların depolanması ile ilgili AB hedefleri ile örtüşmekte, hem de çamur bertarafına ilişkin nihai çözüm arayışını desteklemektedir. Arıtma işlemi sonucunda oluşan çamur, bitkiler için gerekli olan tüm nütrientleri içerir. Çürütülmüş çamurdaki azot ve potasyumun yaklaşık yarısı sıvı fazdadır ve dolayısıyla susuzlaştırma işlemi bunların önemli ölçüde azalmasına neden olur [33].

2.4.2.3. Terkedilmiş taş ve maden ocaklarında depolama

16.12.2003 tarih ve 25318 sayılı Resmi gazetede yayımlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği madencilikle ilgili projeleri de kapsamaktadır. Yapılan faaliyetler ekolojik dengeyi bozmamalı, insan ve çevre sağlığını etkileyecek düzeyde olmamalıdır. İslah amacıyla islenmiş arıtma çamurlarının uygulanacağı alanlarda,

uygulama başlatılmadan önce bu alanın ıslah edildikten sonra ne şekilde kullanılacağına kararlaştırılması gerekmektedir. Islah edilecek alan tarımsal üretim veya hayvan otlatma amaçlı kullanılacaksa uygulanacak işlenmiş arıtma çamuru miktarının uygulama zamanının ve seklinin belirlenmesinde Yönetmeliklerin öngördüğü düzenlemelerin yerine getirilmesi gerekmektedir.

2.4.2.4. Çamurdan yağ üretimi

Piroliz, organik maddelerin 300-900°C arasında değişen sıcaklıklarda oksijensiz ortamda termal bozunması işlemidir. Piroliz bir seri karmaşık kimyasal reaksiyonlar içerir. Elde edilen piroliz ürünleri ise piroliz gazı, yarı kok ve yağdan oluşur. Gaz, yakıt olarak kullanılabilir. Yarı kok, yakıt olarak yakılabilir veya uzaklaştırılabilir. Yağ ise kimyasal endüstriler için bir hammadde veya yakıt olarak kullanılabilir [34].

Atık çamurdan piroliz sonucu yağ üretimi olarak son derece dikkat çekici olan bu proses OFS (oil from sludge) olarak da adlandırılmaktadır. OFS, ön kurutma çamurunun oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda ve çamurun organik kısmını buhar haline dönüştüren atmosfer basıncından daha yüksek basınçta ısıtıldığı 2 aşamalı bir prosestir. Bu buharlar hidrokarbonlara dönüştürülür. Çamurdaki yüksek silikat ve bakır içeriği reaksiyon için ilave katalizör görevi görür. Elde edilen yağ yüksek viskoziteye ve ısıl değere (29-38 MJ/kg) sahiptir [34].

2.4.2.5. Çamurdan türetilmiş yakıt üretimi (Carver-Greenfield Prosesi)

Carver-Greenfield (C-G), kurutma prosesi ile etkin bir kurutma işlemiyle ve çok az enerji kullanarak çamuru yakıtı dönüştürmektedir. Mekanik olarak susuzlaştırılan çamur, suyunkinden daha yüksek kaynama noktasına sahip bir endüstriyel yağ ile karıştırılmakta ve daha sonra ön-kurutma yapılmaktadır. Su içeriği %5'in altına azaltılmış olsa da, yağ, çamur içinde sıvı halde kalmaktadır. Kurutma sonrası yağ filtre presle ayrılmakta ve geri beslenmektedir. Böylece üretilen çamur yakıt, %87 katı çamur, %9 yağ ve %4 sudan oluşmaktadır. Isıl değeri

yaklaşık 16,7- 18 MJ/kg'dır. Çalışmalar çamurdaki 2,6 kg suyu uzaklaştırmak için sadece 1 kg buhar gerektiğini ve bunun da klasik kurutucuların normal buhar ihtiyacının %33'ünden daha az olduğunu göstermektedir [34].

2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çimrin ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, tarımda bitki fosfor ihtiyacının karşılanmasında fosfor kaynağı olarak, TSP (Triple Süper Fosfat) fosforu ile arıtma çamuru kombinasyonlarının mısır bitkisinin gelişimi ve bazı bitki besin maddelerine etkisini belirlemek amacı ile kireçli bir toprakta saksı denemesi yürütülmüştür. Arıtma çamuru ve TSP fosforu kombinasyonlarının fosfor kaynağı olarak kullanılması sonucunda mısır bitkisinin, bitki kuru ağırlığı, toprak üstü aksam ağırlığı, bitkinin fosfor, çinko ve demir içeriğini önemli düzeyde artırmıştır. Uygulamalar bitki kök kuru ağırlığı ve bitki mangan içeriğini önemli olarak etkilemez iken bitki bakır içeriğini önemli olarak azaltmışlardır [35].

Ünal ve Katkat (2003) tarafından yapılan çalışmada da, bisküvi ve şekerleme fabrikaları arıtma çamurlarının toprak özelliklerine ve mısır bitkisi besin element içeriğine etkileri araştırılmıştır. Toprağa artan düzeylerde uygulanan arıtma çamuru uygulaması yapılmıştır. Bitki gelişimin izlenmesi amacıyla tesadüf blokları desenine göre dört yinmeli sera denemesi kurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre arıtım çamurunun dozunun artmasıyla toprakta pH düşmekle birlikte organik madde ve besin elementlerinde artışlar tespit edilmiştir. Bu durum mısır bitkisinde de aynı şekilde tespit edilmiştir [36].

Kocaer ve ark. (2003) tarafından yapılan diğer bir çalışmada da, gıda endüstrisi kökenli bir arıtma çamurunun azotlu gübre potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla farklı oranlarda çamur uygulanmış topraklar inkübe edilerek mineralize olan organik azot ve inorganik azot formlarının zamana bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Çalışma neticesinde maya endüstrisi arıtma çamurunun toprakta azot mineralizasyonu 16 g/kg seviyesinde önemli derecede arttırdığı saptanmıştır. Bu

uygulama yapıldığında ise toplam organik azotun %67'sinin mineralize olup bitkiye yararlı formlar olan amonyum ve nitrat azotuna dönüşeceği bildirilmiştir [37].

Önal ve ark. (2003) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, sera denemesinde iki yıl yinelemeli olarak toprağa uygulanan farklı kentsel arıtma çamurlarının domates bitkisinde kuru madde, meyve ürün miktarları ve bazı meyve kalite özellikleri ile mineral içerikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurları ile ilgili olarak her iki yıl domates bitkisinin kuru madde ve meyve ürün miktarları ile meyvede N, P, K, Mg, Fe, içeriklerinde artış olduğu saptanmıştır [38].

Yakupoglu ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada ise, farklı düzeylerde erozyona uğramış topraklara ilave edilen arıtma çamuru ve çay atıklarının, toprak mikro elementleri (Fe, Mn, Cu ve Zn) düzeylerindeki etkilerini araştırılmıştır. 18 hafta deneme süresinden sonra toprak mikro element içerikleri belirlenmiştir. Sonuçta organik atık ve arıtma çamurunun birlikte uygulandığı erozyona uğramış toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmenin yanında bitkisel üretimde önemli bir yere sahip mikro element miktarlarında belirgin artışlar sağladığını saptamışlardır [39].

Dölgen ve ark. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada da, bitki işleme tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanım olanakları araştırılmıştır. Değişik oranlarda hazırlanan çamur-kompost(toprak, kum ve çiftlik gübresi) karışımları saksılara ekilen marullar vasıtasıyla ağır metal birikimin yanında azot, fosfor ve potasyum gibi besin maddelerinin analizleri yapılmıştır. Bitki işleme tesisinden çıkan arıtma çamurunun yüksek oranda besin elementi içeriği sayesinde bitki gelişiminde kayda değer artışlar gözlenmesine yol açmıştır. Bunu aksine bitkisel yağ üretimi çamuru denemelerinde, besin maddelerinin eksikliği ve alkali koşulların bitki gelişimini olumsuz etkilediği kanaatine varılmıştır. Ayrıca bitkilerde her iki çamurun ağır metal içeriklerinin düşük olması nedeniyle ağır metal artışının olmadığı tespit etmişlerdir [40].

Tüfekçi ve ark. (2008) tarafından yürütülen bir çalışmada ise okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) fidanlarının

üretiminde, Tarsus Evsel Atıksu Arıtma Tesisi'nin arıtma çamurları kullanılmıştır. Deneme, fidanlık koşullarında on iki yetiştirme materyali ve rastlantı blokları deneme desenine göre üç tekrarlı olarak düzenlenmiştir. Vejetasyon dönemi sonunda elde edilen sonuçlara göre, arıtma çamurunun bazı yetiştirme materyallerinin karıştırılmasıyla kullanılan fidanların gelişmesini önemli derecede artırdığını tespit etmişlerdir [41].

Angın ve Yağanoğlu (2009) tarafından yapılan bir çalışmada; arıtma çamurlarının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada şansa bağlı deneme blokları planına göre oluşturulan parsellerde 0, 4,8 ve 12 t/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulayarak topraktaki değişimleri gözlemlemişlerdir. ASKİ Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisinden alınan anaerobik çamurun tuzlu-alkali toprak üzerinde önemli değişikliklere neden olduğunu belirlemişlerdir. Elde edilen veriler göre 12 t/da uygulamasında en yüksek verim alınmış ve toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi ve verimliliğin sağlanması amacıyla uygulanacak çamurun iyi bir alternatif olacağını belirtmişlerdir [42].

Arıkan ve Öztürk (2005) tarafından yapılan çalışmada; organik evsel katı atık ile arıtma çamurunun kompostlaştırılmasının etkileri üzerinde durmuşlardır. Çalışmada sıcaklık, pH, uçucu katı madde, su muhtevası parametreleri izlenmiştir. Kompostlaştırma çalışmasında kullanılan materyal, evsel atıksu arıtma tesisi çamuru keki ile organik evsel katı atık(EKA)/evsel atıksu arıtma tesisi çamuru keki kullanılmıştır. Deneysel verilere göre organik EKA-çamur karışımından elde edilen kompost kalitesi sadece çamurdan elde edilen komposttan daha yüksek olmakla birlikte, oluşan ürünlerin park, bahçelerde gübre ve eski maden ocaklarının rehabilitasyonunda toprak ıslah malzemesi olarak kullanılabilceğini vurgulamışlardır [43].

Çelik ve Öner (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; arıtma tesisinde son ürün olarak elde edilen arıtma çamurunun değerlendirilmesi amacıyla arıtma çamuru filtre kekinin çimentoya doğrudan ve dolaylı olarak katılabilirliği araştırmışlardır. Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden alınan örneklerden ağırlıkça %5,10,15 ve 20 kuru filtre keki ve filtre keki külü içeren örneklerde çimento

üretiminde ilk dayanım, priz alma ve hacim genişmesi testleri yapılmış, sonuçlar filtre keki içermeyen kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu kuru filtre keki maksimum %5 oranında katılabilirken, filtre keki külünün %20'ye kadar çimento özelliklerini bozmadan katılabildiği tespit etmişlerdir [44].

Veeresh ve ark.(2003) tarafından yapılan çalışmada; arıtma çamuru ve uçucu kül uygulamalarının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla, çeşitli oranlardaki arıtma çamuru ve uçucu kül karışımını 52 t/ha uygulama düzeyinde incelemişlerdir. Araştırmacılar yalnız arıtma çamuru uygulamasının toprakların elverişli azotunu, organik karbonunu, tuzluluğunu, su tutma kapasitesini, makro besin elementlerini ve ağır metal içeriğini artırdığını ve pH'sını düşürdüğünü saptamışlardır. Uçucu kül uygulamasının ise toprak özelliklerinde çok az bir değişime neden olduğunu bildirmişlerdir [45].

Hernandez-Apaolaza ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada; çam kabuğu, hindistan cevizi lifi ve arıtma çamurları gibi atık maddelerin süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanım olanaklarının araştırmışlardır. Çalışmada, çam kabuğu, çam kabuğu-%15 arıtma çamuru, çam kabuğu-%30 arıtma çamuru, Hindistan cevizi lifi, Hindistan cevizi lifi-%15 arıtma çamuru ve Hindistan cevizi lifi-%30 arıtma çamuru karışımlarının fındık çamı, mavi servi ve piramit servi bitkilerinin gelişimi üzerine olan etkileri belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, yetiştiricilik açısından en uygun karışımın %30 arıtma çamuru içeren karışımlar olduğu saptanmıştır [46] .

Mantovi ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada; sıvı, susuzlaştırılmış ve buğday samanı ile karıştırılmış arıtma çamuru uygulamalarının, toprakların ve bitkilerin bazı özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada yıllık 5 t/ha ve 10 t/ha uygulama düzeylerini 12 yıl süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucu, sıvı ve susuzlaştırılmış arıtma çamuru kullanımının yüksek azot içerikleri nedeniyle şekerpancarı bitkisinin kalitesini düşürdüğü ve buğdayda yatmaya neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca arıtma çamuru uygulamalarının toprakların organik madde, toplam azot ve elverişli fosfor içeriklerini artırdığı, toprak alkalinitesini ise düşürdüğü saptanmıştır [47].

Canpolat ve ark. (1996) tarafından rüzgar erozyonu alanı topraklarının bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla yürütülen bir çalışmada; çöp kompostu ve ahır gübresini %2, %4 ve %6 uygulama düzeylerinde incelemiştir. Çalışma sonucu, organik atık materyal uygulamasının toprakların organik madde miktarını, kütle yoğunluğunu, porozitesini ve su tutma kapasitesini artırdığını, buna karşılık agregat stabilitesini ise değiştirmedini saptanmıştır. Sonuç olarak, aynı oranlarda uygulanan çiftlik gübresinin çöp kompostundan daha etkili olduğunu çalışma sonucunda bildirilmiştir [48].

Ojeda ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada; %16 eğim derecesindeki tın ve kum tekstüre sahip toprakların yüzey akış değerlerini ve erozyon kayıplarını azaltmak amacıyla sıvı, kompost ve termal olarak kurutulmuş arıtma çamurlarını 10 t/ha kuru madde içeriğini sağlamak üzere, sırasıyla 11,3, 13,8 ve 50 t/ha uygulama düzeyinde incelemiştir. Araştırma sonucunda, termal olarak kurutulmuş arıtma çamuru uygulamasının sıvı ve kompost arıtma çamuru uygulamalarına göre toprakların yüzey akış değerlerini ve erozyon kayıplarını önemli derecede düşürdüğü ve infiltrasyon değerlerinin arttığını bildirilmiştir [49].

Bux ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada; arıtma çamurlarında yüksek enerji gereksinimlerine rağmen düşük dış ortam sıcaklığında bile güneşten enerji sağlayarak çamurun stabil hale gelmesini ve hacim azalmasını sağlayacak tam otomatik bir sistem geliştirilmiştir. Bu çalışmada konvansiyonel yollarla yapılan çamur kurutma işlemlerinde buharlaştırılan her bir ton su başına harcanan elektrik enerjisinin 70-100 kWh' den 17-28 kWh' a düşürüldüğü belirtilmiştir [50].

Mehrdadi ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada; ilaç endüstrisi arıtma çamurlarının kum yataklarında kurutulması üzerine yapılan diğer bir çalışmada, güneş enerjisinin eğik bir cam düzlemlerle yatak üzerindeki çamurlara gönderilerek verimliliği incelenmiştir. Çalışmada güneş ile çamur kurutma kum yatağı sisteminin yaygın çamur kurutma kum yatağına göre kurutma süresini % 25-35 oranında azalttığı tespit edilmiştir [51].

Horn ve ark. (2001); Wacol Atıksu Arıtma Tesisi'nden (Avustralya) çıkan çamurların miktarını azaltmak ve tekrar kullanım olanaklarını araştırmak amacı ile

yapılan bir çalışmada çamurun katı madde oranının % 95'e kadar artıran Thermo Sistem Prosesi (Thermo-System Process) geliştirilmiştir. Kurutma süresinin çamur tipine, iklim koşullarına ve başlangıç kuru katı içeriğine bağlı olduğu saptanmıştır. Güneş kurutma prosesinin, yaygın kurutma prosesine göre önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamış olduğunun vurgulandığı çalışmada, susuzlaştırmanın ekonomik olması amacıyla mekanik susuzlaştırma sistemlerinden önce güneş kurutma prosesinin tercih edilmesi önermişlerdir [52].

Salihoğlu ve Pınarlı (2007) tarafından yapılan bir çalışmada; atıksu arıtma çamurlarının güneş enerjisiyle kapalı yataklarda kurutulması incelenmiştir. Uzun havalandırılmalı kentsel bir atıksu arıtma tesisi belt filtre presinden alınan % 20-25 KM içeriğindeki çamur 25 cm yüksekliğinde beton kaplama üzerine serilmiş ve kontrollü ortamda kurutma sürecinin kapalı ve açık tip sistemlerde verimlilikleri karşılaştırılmıştır. % 23 KM içeriğindeki atık çamurun, Temmuz-Ağustos döneminde 26 gün sonunda, açık tesiste % 79KM, kapalı tesiste ise % 91 KM oranına kadar kuruduğu görülmüştür. Kasım-Aralık döneminde %23 KM içeren çamurun, 26 gün sonunda, açık sistemde hava şartları nedeniyle % 17 KM'ye düştüğü, kapalı sistemde ise % 37 KM oranına kadar kuruduğu saptanılmıştır [53].

Topaç ve ark. (2008) tarafından yapılan diğer bir araştırmada arıtma çamurları açık ve kapalı çamur kurutma yataklarında kurutulmuş ve çamurdaki toplam koliform ve heterotrofik bakteri sayılarının 3 farklı kuruma dönemi süresince gösterdiği değişim izlenmiştir. Çalışma sonuçları açık çamur kurutma yataklarında kuruma ve mikrobiyal giderim veriminin doğrudan iklim koşullarına bağlı olduğunu göstermiştir. Kuvvetli yağışların ardından açık sistemdeki çamurlarda yeniden mikrobiyal çoğalma gözlenmiş ve artan nem seviyesi bakteri sayılarını arttırdığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, kapalı kurutma yataklarındaki çamurlar hem katı madde hem de bakteri içeriği açısından daha tutarlı sonuçlar tespit edilmiştir [54].

3.MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

3.1.1. Arıtma Çamuru Numunesi Özellikleri

Tez çalışması ile ilgili arıtma çamurlarının kurutma işlemleri, bu amaç için özel dizayn edilen sistemlerde Tarsus Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü fidan yetiştirme ve sera alanında gerçekleştirilmiştir.

Çamur numuneleri evsel nitelikli atık suların arıtıldığı Tarsus Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinden (TBAAT) sağlanmıştır. Tarsus Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisi, karbon ve azot eliminasyonlu ve eş zamanlı çamur stabilizasyonlu, bir kademeli mekanik-biyolojik atıksu arıtma tesisidir. Çamur işlenmesi statik fazla çamur yoğunlaştırma, mekanik susuzlaştırma ve kireç ile işleme(ihtiyaç halinde) ünitelerinden oluşmaktadır. Ayrıca bunların yerleşim bölgesinden tasfiye edilmesi için, arıtma tesisinde bir atık çamur kabul istasyonu kurulmuştur.

Tesiste günde yaklaşık 16 ton yaş arıtma çamuru elde edilmektedir. Belt filtre preslerle mekanik susuzlaştırma yoluyla, fazla çamurlu su, çamurun katı madde oranı ortalama %2-6'dan yaklaşık %25'e çıkacak şekilde filtrelenmektedir. TBAAT arıtma çamurları ağır metal analiz sonuçları ve toprakta kullanılması için Türkiye ve çeşitli ülkelerin maksimum tolerans değerleri Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2. 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. TBAAT arıtma çamurunun ağır metal analizleri ve izin verilebilecek maksimum sınır değerleri (TÜBİTAK-MAM; 18892 sayılı raporu)

Parametreler	TBAAT Arıtma Çamuru		TKKY Ek I-B	AB	ABD
	TÜBİTAK-MAM	KHAE			
Kursun (mg/kg)	43,20	40	1200	1200	840
Kadmiyum (mg/kg)	<2	0,93	40	40	85
Krom (mg/kg)	75	53-69	1200	-	3000
Bakır (mg/kg)	113	106-113	1750	1750	4300
Nikel (mg/kg)	37,40	68-88	400	400	420
Cıva (mg/kg)	2	-	25	25	57
Çinko (mg/kg)	794	613-790	4000	4000	7500

TÜBİTAK-MAM: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi

KHAE: Ankara Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü

TKKY: Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

Çizelge 3.2. TBAAT arıtma çamurunun ağır metal ve bazı kimyasal özelliklerine ait analiz değerleri

Kurşun (mg/kg fırın kuru madde)	< 30	1200
Kadmiyum (mg/kg)	<0.10	40
Krom (mg/kg)	60	1200
Bakır (mg/kg)	103.90	1750
Nikel (mg/kg)	56.90	400
Cıva (mg/kg)	<0.50	25
Çinko (mg/kg)	701.80	4000
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/kg)	58039	-
Fosfor (mg/kg)	11067	-
pH	6.25	-
C/N (%)	6.70	-
Kuru Madde (KM)(%)	15.77	
Yanma Kaybı (Kuru Madde de) (%)	69.55	
Organik Madde (Kuru Madde de) (%)	69.55	

- : Değer Yok

3.1.2. Çalışma Alanının Belirlenmesi

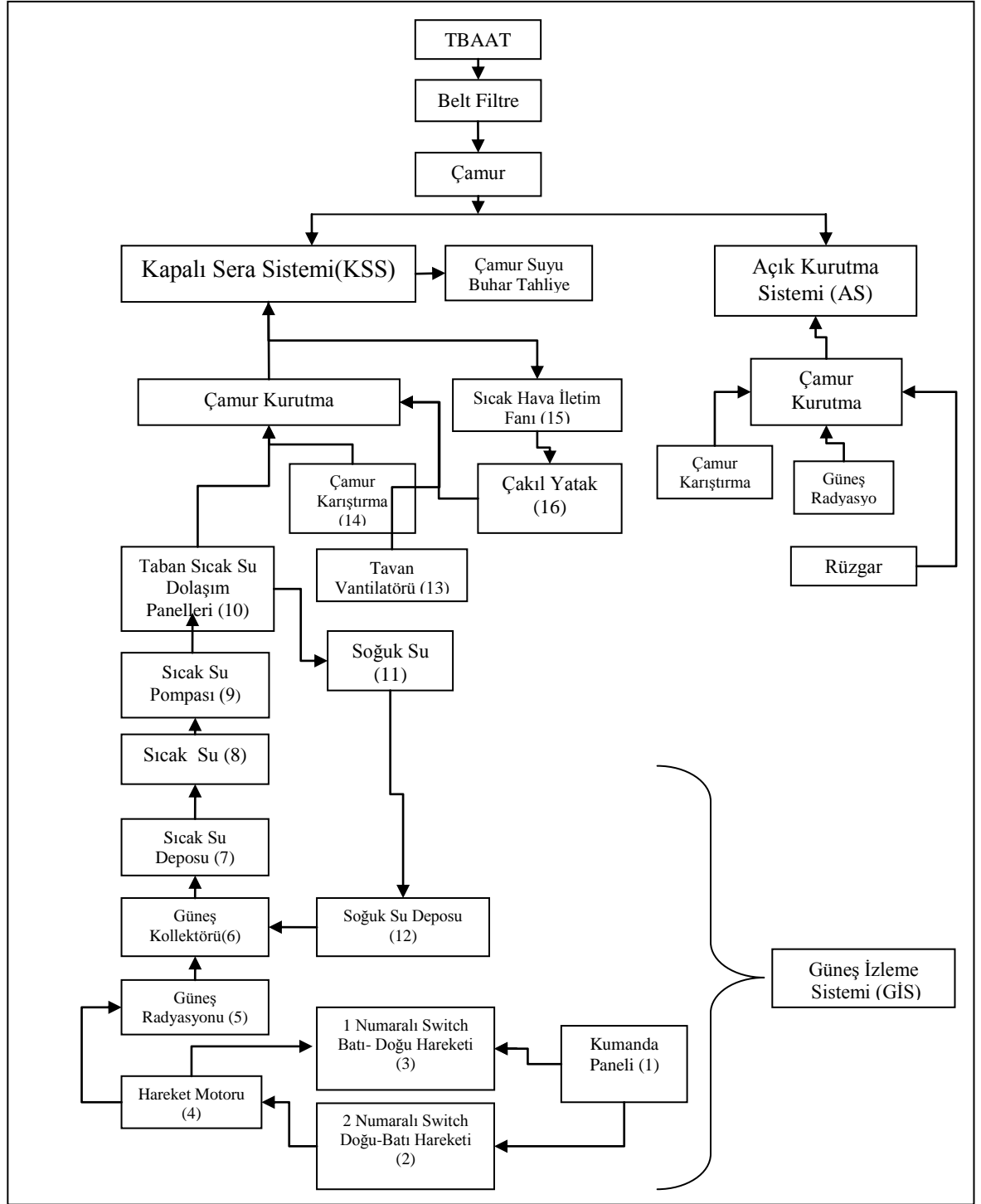
Çalışma alanı olarak Tarsus Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü fidanlık ve sera alanı seçilmiştir. Tarsus Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi mekanik susuzlaştırma ünitesinden alınan çamur numunelerinin Katı Madde (KM) içeriğinin herhangi bir değişime uğramaması için en hızlı ve kolay biçimde tesise ulaştırılması amacıyla arıtma tesisine yakın bu alan uygun görülmüştür. Kurutma sistemlerinin kurulacağı ve çalışmanın yapılacağı alan Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kurutma sistemlerinin kurulduğu alan

3.1.3. Kurutma Sistemleri

Çamur numunelerinin kurutulması amacıyla Güneş İzleme Sisteminin bağlı olduğu tünel tipi Kapalı Sera Sistemi (KSS) özel olarak tasarlanmıştır. Çamur numuneleri kapalı sisteme serilerek yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) aylarında üç ayrı sistemde Güneş İzleme Sistemi (GİS), Sabit Sistem (SS) ve Açık Sistem (AS) ile kurutulması sağlanmış ve kurutma sistemlerinin bu dönemlerdeki güneş enerjisinden yararlanma verimleri çamur katı madde değişimleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çamur kurutma sistemlerine ait akım şeması Şekil 3.2.'de verilmiştir.

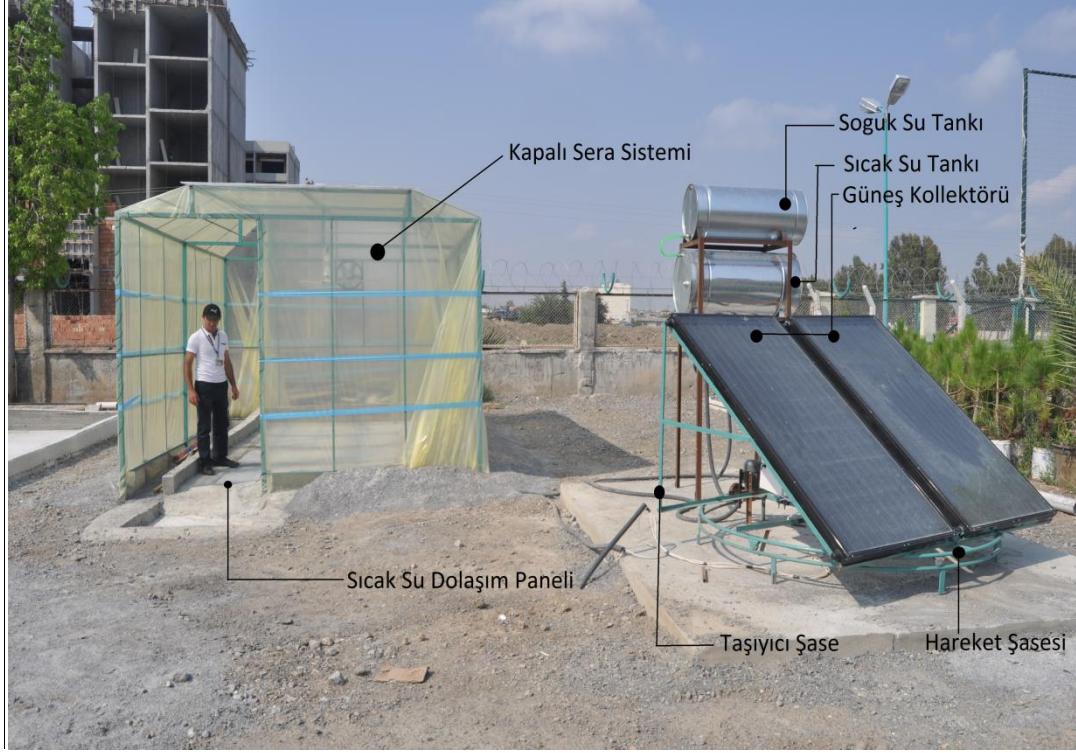


Şekil 3.2. Çamur kurutma sistemleri akım şeması

3.1.3.1. Kapalı sera sistemi

Kapalı Sera Sistemi (KSS) olarak tasarlanan sistemin tabanında 2,00 m x 4,00 m ebatlarında ve en yüksek yeri 35,00 cm, en düşük yeri 25,00 cm yüksekliğinde (2 m³ lük hacim) kurutma tavası yer almaktadır. Kurutma tavasının içerisine 1,00 m x 2,00 m ölçülerde içerisinde 13 adet borulama sistemi olan su panelinden (Şekil 3.2;14) 4 adet yerleştirilmiştir. Güneş panellerinde elde edilen sıcak su ise sirkülasyon pompası (Şekil 3.2;9) yardımıyla su panelleri içerisinde dolaştırılarak, sıcak suyun sahip olduğu ısı enerjisinin çamura iletilmesi amaçlanmıştır. Çamuru kurutma amaçlı su panellerinde dolaştırılan sıcak su, tekrar depoya gönderilerek kapalı bir su dolaşım sistemi (Şekil 3.2;10-11-12-6) oluşturulmuştur. İlk gün ısıtılan su, bu kapalı döngüyü dolaşarak sürekli sıcak kalmakta güneşin olmadığı gece saatlerinde de sıcaklığını belli oranda korumaktadır.

Kapalı sera sistemi, 3,00 m yüksekliğinde ve 4,80 m x 3,30 m ebatlarında sera konstrüksiyonu oluşturularak ekonomik avantajı nedeniyle sera örtüsüyle kaplanmıştır. Ayrıca seranın tavanı %90 oranında güneş ışığı geçirimsizliğine sahip polikarbonat plakayla kapatılmıştır. Artıma çamurlarının serilip kurutulacağı Kapalı Sera Sistemine Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çamurun kurutulması için güneş izleme sistemi ve kapalı sera sistemi

KSS'nin toprak zeminin altında ısı yalıtımı ve olası su sızdırmazlığı sağlamak amacıyla 10,00 cm beton zemin ve bu zemin üzerine 50,00 cm yükseklikte ve 16,00-48,00 mm çaplı çakıllarla dolgu yatak(Şekil 3.2;16) kısmı oluşturulmuştur [53]. Kapalı sistem içerisinde oluşacak nemli ve sıcak havayı 120,00 mm çaplı PVC borulardan taş dolgu yatağa iletebilecek 130,00 m³/saat kapasiteli bir fan (Şekil 3.2;15) yardımıyla ısı döngüsü oluşturulmuş ve ısının gündüz depolanması sağlanmıştır. Kapalı sistem içerisine yerleştirilen sıcaklık ve nem sensörleriyle iç ortamda sıcaklık ve nem takibi sağlanmıştır. Çamur üzerinde oluşacak olan doygun buharın sistemden uzaklaştırılması amacıyla yan duvara bir fan (Şekil 3.2;17) monte edilmiştir. Çamur örneklerinin serileceği zemin ve kapalı sistem elemanlarının inşası için çakıl dolgu yatak üzerine 15,00 cm beton zemin hazırlanmıştır.

3.1.3.2. Güneş izleme sistemi (GİS)

Güneş İzleme Sistemi(GİS), bir adet 1,50 kw kapasiteli invertör ve hız kontrol sayaçlarının bulunduğu kumanda paneli, bir adet 0,18 kw kapasiteli motor redüktör (Şekil 3.2;4), 6 adet çelik hareket tekerleri ve bu sistemin hareket ettirdiği çelik kontrüksiyon iskelet (şasi) üzerinde yer alan 2 adet güneş enerji kollektöründen (Şekil 3.2;6) oluşmaktadır. Kumanda panelinde yer alan hız kontrol cihazlarıyla belirlenen hareket süresi ve yönü invertörle birlikte motor redüktöre aktarılmaktadır. Motor redüktör ve hareket tekerlekleri yardımıyla hareket tahrikiyle, konstrüksiyon üzerindeki güneş kollektörleri, her gün saat 06:00 - 18:00 arası, Doğu-Batı yönünde güneşi izlenmektedir. Doğu-Batı yörüngesinde hareket eden kollektörler, saat 18:00 olduğunda, şasi sistemin alt kısmına monte edilmiş olan 1 numaralı anahtar (konum switchi) (Şekil 3.2;2) zeminde sabit duran metal levhaya temas ederek kapanır ve kumanda panelindeki hız kontrol sayacına sinyal göndererek, kollektör hareket yönünü, Batı-Doğu olmak üzere ilk hareket yörüngesine ters olacak şekilde sağlamaktadır. Saat 18:00 - 06:00 arası Batı-Doğu yönünde hareket eden kollektör taşıma şasisi, saat 06:00 da ilk konumuna denk gelmekte ve burada yer alan demir levhaya temas eden 2 numaralı anahtarın(konum switchi) (Şekil 3.2;3) kumanda panelinde yer alan invertöre sinyal göndermesiyle güneş izleme hareketi, tekrar Doğu-Batı yörüngesine getirilmektedir. Bu hareket mekanizması her gün otomatik olarak tekrarlanmaktadır.

Çamur kurutulması için tasarlanan ve imal edilen güneş izleme sistemi Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Güneş İzleme Sistemi

3.1.3.3. Sabit sistem (SS)

Sabit Sistem (SS), Güneş İzleme Sisteminde yer alan hareket kabiliyetinin engellenerek güneş kolektörlerinin Şekil 3.3’de görüldüğü üzere güney yönlü 45 derecelik eğimle konumlandırılmasıyla oluşturulan evlerde kullanılan klasik güneş enerji sistemine verilen isimdir. Kumanda paneli(Şekil 3.2;1) üzerinde yer alan sistem açma-kapama anahtarının kapatılması sonucu hareketi sağlayan motor redüktörün pasif konuma getirilmesiyle güneş kolektörleri güney yönlü olarak sabit konumda kalmaktadırlar.

Kurutma çalışmalarında öncelikli olarak Güneş İzleme Sistemi çalıştırılmış olup, daha sonraki süreçte Sabit Sistem devreye alınmıştır.

3.1.3.4. Açık sistem

Açık Sistem (AS), yalnızca Kapalı Sera Sistemi tabanında yer alan kurutma tavası olarak inşa edilen bölümün olduğu ve kurutmanın doğal güneş ışınları yardımıyla açık alanda yapıldığı sistem olarak tasarlanmıştır. Kurutma tavasının ölçüleri KSS içerisindeki tava ile aynı ölçülerdedir.

Her çamur kurutma tavasının önünde 1,00 m X 1,00 m ebatında su toplama havuzu oluşturulmuştur. Bunun nedeni çamurun tavalara yerleştirildiğinde bir miktarda yer çekimine bağlı olarak suyun süzüleceği ve süzülen suyun toplanarak analizlenmesi düşünülmüştür. Fakat bu durumun oluşmaması nedeniyle su toplama havuzunda su toplanılamamış ve analizler de gerçekleştirilememiştir.

3.2. METOT

3.2.1. Çamur Analizleri

3.2.1.1. pH analizi

Çamur numunelerinin pH'ları , analizden bir gün önce saf su ile doygun hale getirilerek hazırlanan çamur-saf su karışımında enstrümental analiz yöntemi kullanılarak WTW 330İ marka pH metreyle ölçülmüştür

3.2.1.2. Toplam katı madde analizi

Toplam katı madde analizi Heraeus UT6 marka etüvde 105 °C'de 1 saat süreyle kurutularak hesaplanmıştır. Analiz Standart Metot 2540 B yöntemine göre yapılmıştır [55].

3.2.1.3. Toplam uçucu katı madde ve inorganik katı madde (kül) analizleri

Toplam uçucu katı madde ve inorganik katı miktarları, numunenin 105 °C'de kurutulup, kül fırınında 550 °C 'de 1 saat süreyle yakılması suretiyle

bulunmuştur. Numunedeki toplam uçucu katı madde miktarı ve inorganik madde miktarı Standart Metot 2540 E yöntemine göre hesaplanmıştır [55].

3.2.1.4. Yağ-Gres analizi

Yağ-gres analizi, çamur numunesindeki yağ miktarı hekzan fazına alınıp, ısıtıcıda hekzanın uçurulmasından sonra kalan yağ miktarının gravimetrik olarak hesaplandığı Standart Metot 5520 A yöntemine göre yapılmıştır [55].

3.2.1.5. Ağır metal iyonları için asit parçalama işlemleri

Arıtma çamurunda analizi yapılacak olan ağır metallerin sulu faza geçmesini sağlamak amacıyla parçalama işlemi uygulanmıştır. Parçalama işlemi için Hach Digesdahl marka parçalama cihazı kullanılmıştır. Parçalama işlemi Hach Lange el kitabı metoduna göre yapılmıştır. Metotda katılar için belirtilen 0.5 gr çamur örneği 105 °C de etüvde 1 saat kurutulup 100 ml lik parçalama şişesine alınarak 4 ml H₂SO₄ (sülfirik asit) ilave edilerek 440 °C'de 4 dakika parçalama işlemine tabi tutulmuştur. Çamur örneğinin kurumamasına özen gösterilerek kaynama sırasında oluşan bulanıklığı gidermek amacıyla 10 ml H₂O₂ (hidrojen peroksit) eklendikten sonra 1 dakika daha ısıtılarak hidrojen peroksit giderilmiştir. Soğutma işleminden sonra filtrasyon kâğıdıyla süzülen numune, distile su ile seyreltilip pH nötralizasyonu yapıldıktan sonra ağır metal analizleri için buzdolabında saklanmıştır.

Ağır metal analizleri Hach-Lange DR 2800 UV-VIS Spektrofotometresi kullanılmıştır. Tüm analiz çalışmaları Tarsus Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğü (TASKİ) labotuarlarında yapılmıştır. Lange DR 2800 spektrofotometresinde kullanılan küvet testlerindeki tüm metotlar USEPA tarafından onaylanmıştır [55].

Analizlerin analitik kalite güvenilirliği belirlemek amacıyla Lange ADDİSTA testleri uygulanmıştır. Lange ADDİSTA testleri, derişimi bilinen ve standart bir kontrol kartındaki okumaları belgelendirilen çözeltilerin analiz edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Eğer, spektrofotometrede okunan ölçüm değerleri, önceden

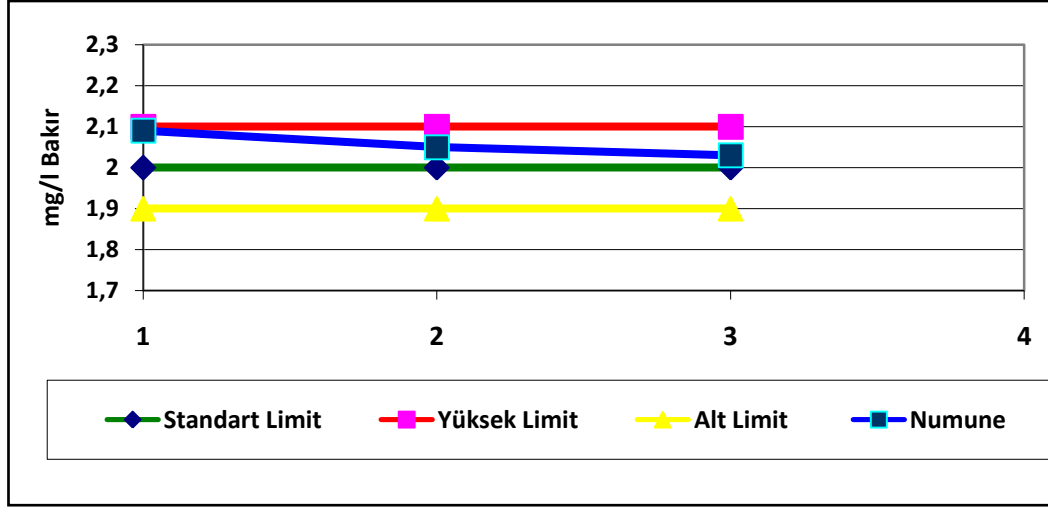
saptanmış bir güven aralığındaysa (ayar değeri civarında izin verilen dağılıma), fotometre, küvet testi, pipetler ve benzeri gibi aparatların doğru işlediğini ve analizin düzgün bir şekilde yapıldığını teyit etmektedir.

3.2.2. Ağır Metal İyon Analizleri

Tez çalışmasında, kurutulan çamurun toprakta veya diğer değerlendirme yöntemleri sonucu kullanılması için Toprak Kirliliğinin kontrolü Yönetmeliği (TKKY)'ne göre ağır metal değerlerinin Ek-I B'de belirtilen sınır değerlerinin altında olması ön koşuldur. Bu amaçla numunelerde bakır (Cu), kurşun (Pb), krom (Cr), demir (Fe), nikel (Ni), kadmiyum (Cd) ve çinko (Zn) analizleri yapılmıştır.

3.2.2.1. Bakır (II) analizi

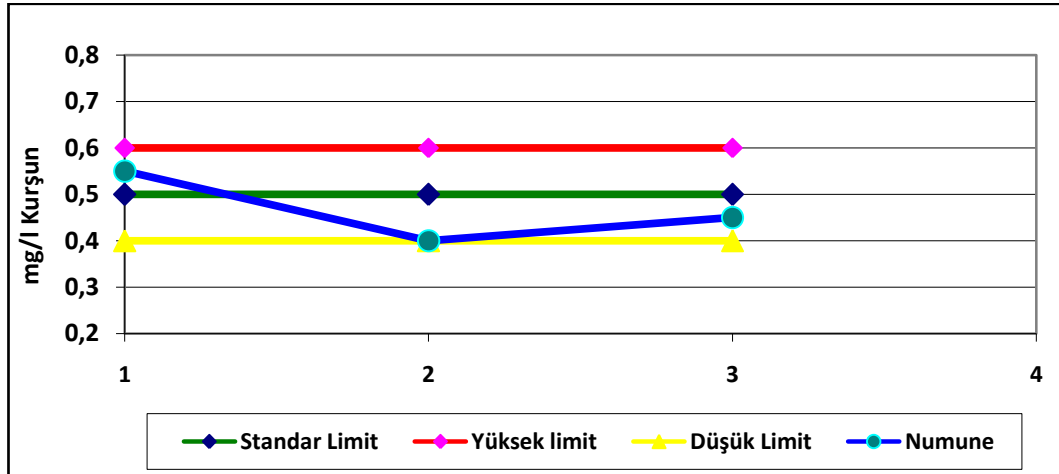
Bakır (I) iyonu analizleri, Standart Metot 3500-Cu metoduna göre yapılmıştır. Analizlenecek numunelerin sıcaklığı 15-25°C ve pH 2.5-11 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Bakır (II) iyonları, askorbik asitle bakır(I) iyonlarına indirgenerek, bathocuproine disulphonic acid (C₂₆H₁₈N₂O₆S₂Na₂)'in disodium tuzuyla turuncu renkli kompleks oluşturmasıyla sonuç, 484 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometresi ile okunmuştur [55]. Bakır (I) iyonu derişimi 2,0 mg/l olan Hach-Lange ADDİSTA testi ile ± 0,1 sapma değeri aralığında analizin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir [56].



Şekil 3.5. Bakır (I) için standart çalışma doğrusu

3.2.2.2. Kurşun (II) analizi

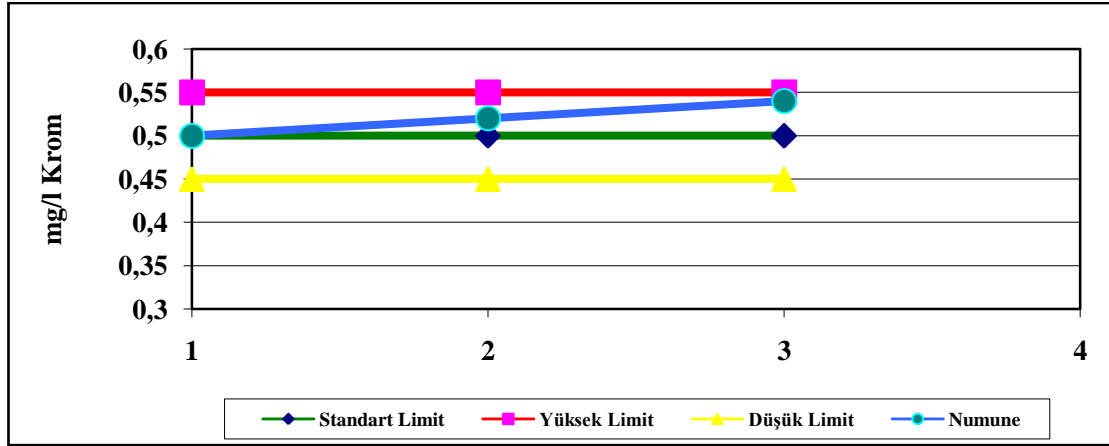
Kurşun (II) iyonu analizleri, 3500-Pb metoda göre gerçekleştirilmiştir. Analizlenecek numunelerin sıcaklığı 15-25⁰C ve pH 3-9 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurşun (II) iyonlarının piridil azo resorsin (C₁₁H₈N₃NaO₂.H₂O) ile reaksiyona girmeleri sonucunda kırmızı renkli kompleks oluşturmasıyla sonuç, 520 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometresi ile okunmuştur [55]. Kurşun (II) iyonu derişimi 0,5 mg/l olan Hach-Lange ADDİSTA testi ile ± 0,1 sapma değeri aralığında analiz kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir [56].



Şekil 3.6. Kurşun (II) için standart çalışma doğrusu

3.2.2.3. Krom (VI) analizi

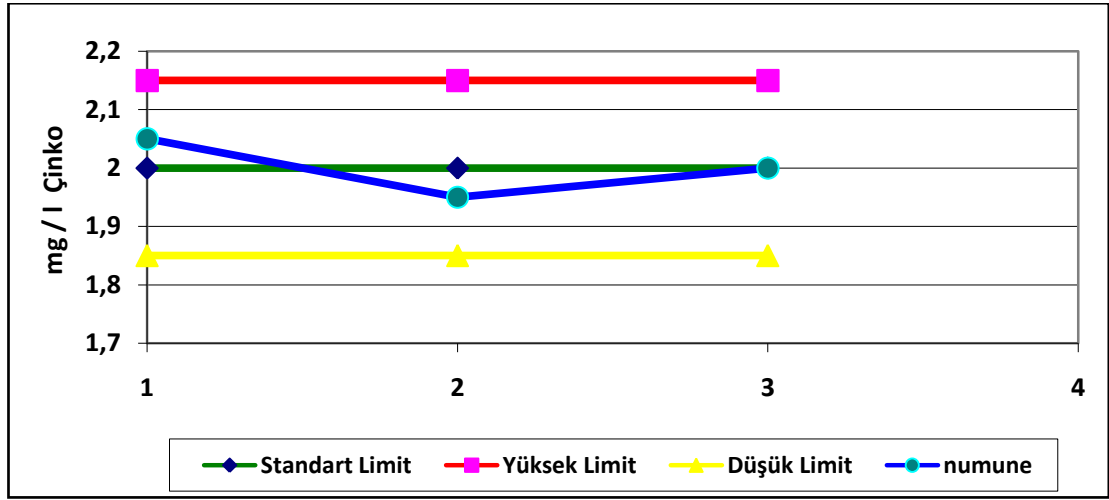
Krom (VI) iyonu analizleri, Standart Metot 3500-Cr kolorimetrik metoda göre yapılmıştır. Analizlenecek numunelerin sıcaklığı 15-35°C ve pH 3-9 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Krom (VI) iyonlarının, difenil karbazid (C₁₃H₁₄N₄O) ile kırmızı renkli kompleks oluşturmasıyla sonuç, 540 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometresi ile okunmuştur [55]. Krom (VI) iyonu derişimi 0,5 mg/l olan Hach-Lange ADDİSTA testi ile ± 0,05 sapma değeri aralığında analizin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir [56].



Şekil 3.7. Krom (VI) için standart çalışma doğrusu

3.2.2.4. Çinko (II) analizi

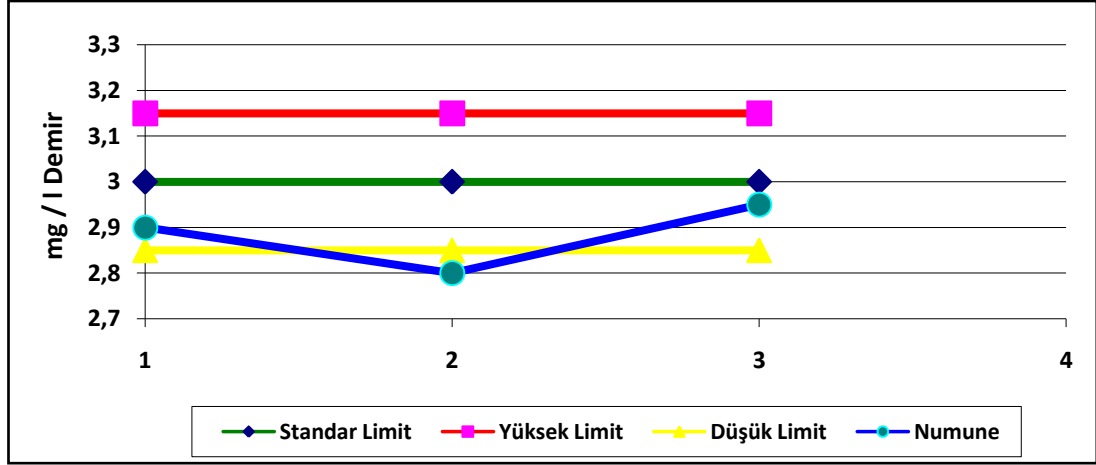
Çinko (II) iyonu analizleri, Standart Metot 3500-Zn metoda göre yapılmıştır. Analizlenecek numunelerin sıcaklığı 15-25°C ve pH 2.5-11 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Çinko (II) iyonlarının, piridil azo resorsin (C₁₁H₈N₃NaO₂.H₂O) ile turuncu-kırmızı renkli kompleks oluşturmasıyla sonuç, 500 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometresi ile okunmuştur [55]. Çinko (II) iyonu derişimi 2,00 mg/l olan Hach-Lange ADDİSTA testi ile ± 0,15 sapma değeri aralığında analizin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir [56].



Şekil 3.8. Çinko (II) için standart çalışma doğrusu

3.2.2.5. Demir (II) analizi

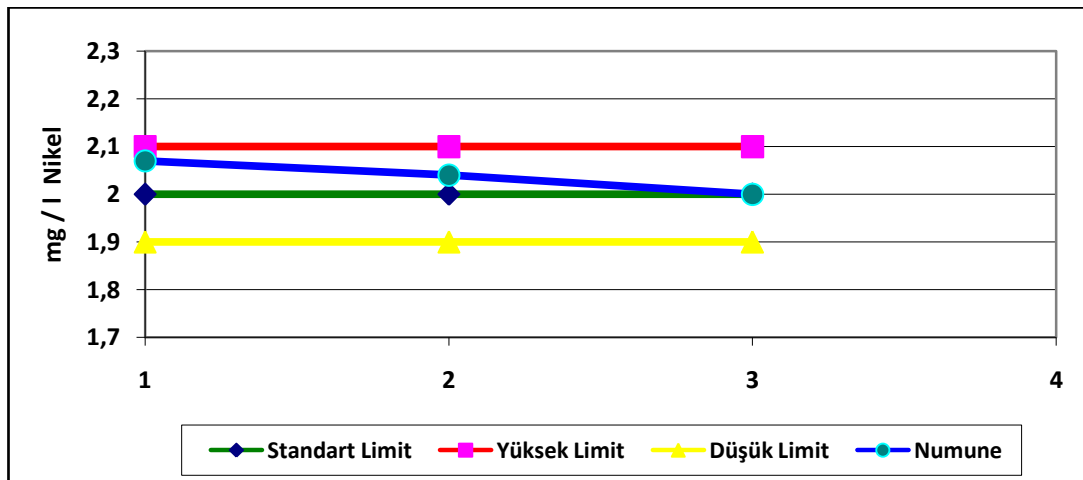
Demir (II) iyonu analizleri, Standart Metot 3500-Fe fenantrolin metoda göre gerçekleştirilmiştir. Analizlenecek numunelerin sıcaklığı 15-25°C ve pH 3-10 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Demir (II) iyonlarının askorbik asit varlığında 1,10-fenantrolin(C₁₂H₈N₂.H₂O) ile turuncu renkli kompleks oluşturmasıyla sonuç, 510 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometresi ile okunmuştur [55]. Demir (II) iyonu derişimi 3,00 mg/l olan Hach-Lange ADDİSTA testi ile ± 0,15 sapma değeri aralığında analizin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir [56].



Şekil 3.9. Demir (II) için standart çalışma doğrusu

3.2.2.6. Nikel (II) analizi

Nikel (II) iyonu analizleri, Standart Metot 3500-Ni metoda göre gerçekleştirilmiştir. Analizlenecek numunelerin sıcaklığı 15-25°C ve pH 3-10 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Nikel(II) iyonlarının dimetilgloksim ($\text{CH}_3\text{C}(\text{NOH})\text{C}(\text{NOH})\text{CH}_3$) ile turuncu-kahverengi renkte kompleks oluşturmasıyla sonuç 463 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometresi ile okunmuştur [55]. Nikel (II) iyonu derişimi 2,00 mg/l olan Hach-Lange ADDİSTA testi ile $\pm 0,1$ sapma değeri aralığında analizin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir [56].

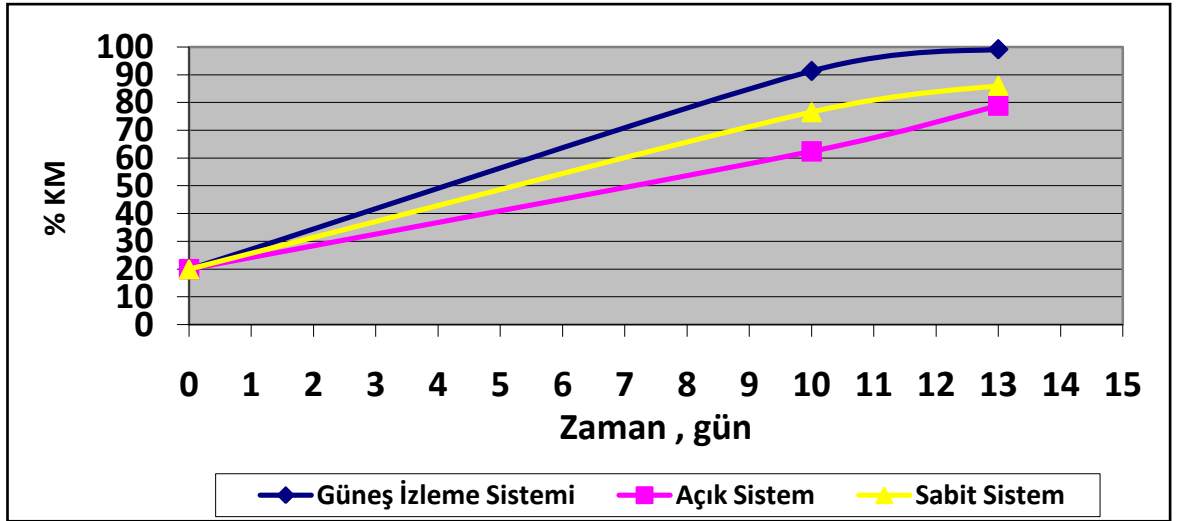


Şekil 3.10. Nikel (II) için standart çalışma doğrusu

3.2.2.7. Kadmiyum (II) analizi

Kadmiyum (II) iyonu analizleri, Standart Metot 3500-Cd metoda göre gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle göre analizlenecek numunelerin sıcaklığı 15-25°C ve pH 3-10 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Kadmiyum (II) iyonlarının cation ($C_{18}H_{14}N_6O_2$) ile kompleks oluşturularak cationun renk yoğunluğunun azalmasına bağlı sonuç, 552 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometresi ile okunmuştur [55].

Kadmiyum (II) iyon derişimi 0,2 mg/l olan Hach-Lange ADDİSTA testi ile \pm 0,03 sapma değeri aralığında analizin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir [56].



Şekil 3.11. Kadmiyum (II) için standart çalışma doğrusu

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1. SULU ÇAMUR NUMUNELERİNİN ANALİZ SONUÇLARI

Kurutulacak olan sulu çamur numunelerini karşılaştırmak amacıyla çamurların kurutma tesislerine yerleştirilmeden önce başlangıçta; Ağır metal, pH, Toplam katı madde, Toplam uçucu katı madde, inorganik (kül) katı madde , Yağ-gres analizleri yapılmıştır.

Çalışmanın amacı arıtma çamurlarının güneş enerjisi yardımıyla kurutulması olması dolayısıyla özellikle başlangıçtaki katı madde (KM) içeriği kurutmanın ilerleyen safhalarında belirgin olarak görülmesi amacıyla üzerinde durulan parametredir.

Tarsus Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinde çamur çöktürme havuzundan katı madde oranı % 2 - 6 olan arıtma çamurları yaklaşık olarak %20 düzeylerine çıkacak şekilde belt filtrelerde preslenmektedir (Tarsus Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğü-TASKİ). Kurutulacak olan arıtma çamuru örnekleri belt filtre çıkışından alınmıştır. Örnek arıtma çamurlarının katı madde yüzdeleri ve ağır metal derişimleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çamur numunelerinin kurutma işlemi başlangıç analiz değerleri

Parametre	Arıtma Çamuru Yaz Dönemi (Temmuz-Ağustos)	Arıtma Çamuru Kış Dönemi (Aralık-Ocak)
pH	6.39	6.84
Kurşun (mg/kg fırın kuru madde)	32,60±0,6	81,00±1,07
Kadmiyum (mg/kg)	3,93±0,21	2,57±0,12
Krom (mg/kg)	16,02±0,11	18,35±0,68
Bakır (mg/kg)	87,69±0,21	78,89±1,09
Nikel (mg/kg)	90,53±0,11	43,91±0.3
Demir (mg/kg)	40,17±0,1	34,66±0.1
Çinko (mg/kg)	68,57±2,87	39,26±0,72
Toplam Katı Madde (KM) (%)	20,00	19,60
Toplam Uçucu Katı Madde(TUKM) (%)	79,86	72,00
İnorganik Katı Madde (Kül) (%)	20,14	28,00
Yağ-Gres (mg/l)	374,00	711,00

4.2. ARITMA ÇAMURLARININ YAZ MEVSİMİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ İLE KURUTULMASINA İLİŞKİN SONUÇLAR

Tarsus ilçesinin bulunduğu Akdeniz bölgesinde Temmuz-Ağustos dönemlerinde günlük 11.75-11.06 saat güneşlenme süresi ile Türkiye ortalaması olan 7.20 saat değerinin üzerinde olup güneş enerjisinden yararlanma verimi oldukça yüksektir (Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2)

Temmuz-Ağustos döneminde kurutulacak olan arıtma çamuru, TBAAT'nde yer alan mekanik susuzlaştırma ünitesinde belt filtre presle susuzlaştırılarak katı madde içeriği % 20'ye ulaşmıştır.

Çamur kurutma sistemlerinin kurutma verimlerini gözlemlemek amacıyla kurutma dönemi boyunca günlük veriler kayıt altına alınmıştır. Güneş İzleme Sistemiyle yapılan kurutma işleminde ortam sıcaklığının ve kuru madde içeriğinde artış verimi yüksek düzeydedir. Günün her saatinde güneş ışınlarını dik açıyla alabilen Güneş İzleme Sistemi en düşük 47,90 °C ve en yüksek 74,80 °C sıcaklık aralığında kurutma işlemini gerçekleştirmiştir.

Kurutma işlemi boyunca güney konumlu olan Sabit Sistem ise en düşük 42,20 °C ve en yüksek 61,40 °C sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Burada Güneş İzleme Sisteminde elde edilen kurutma verilerine yakın bir kurutma işlemi gerçekleştirildiği saptanmıştır. Doğal güneş ışınlarıyla kurutma yapılan Açık Sistemde ise en düşük 32,50 °C ve en yüksek 38,70 °C sıcaklıkla ortam sıcaklığı bakımından, diğer sistemlere göre güneşin yaydığı solar enerjiden daha az yararlandığını göstermektedir.

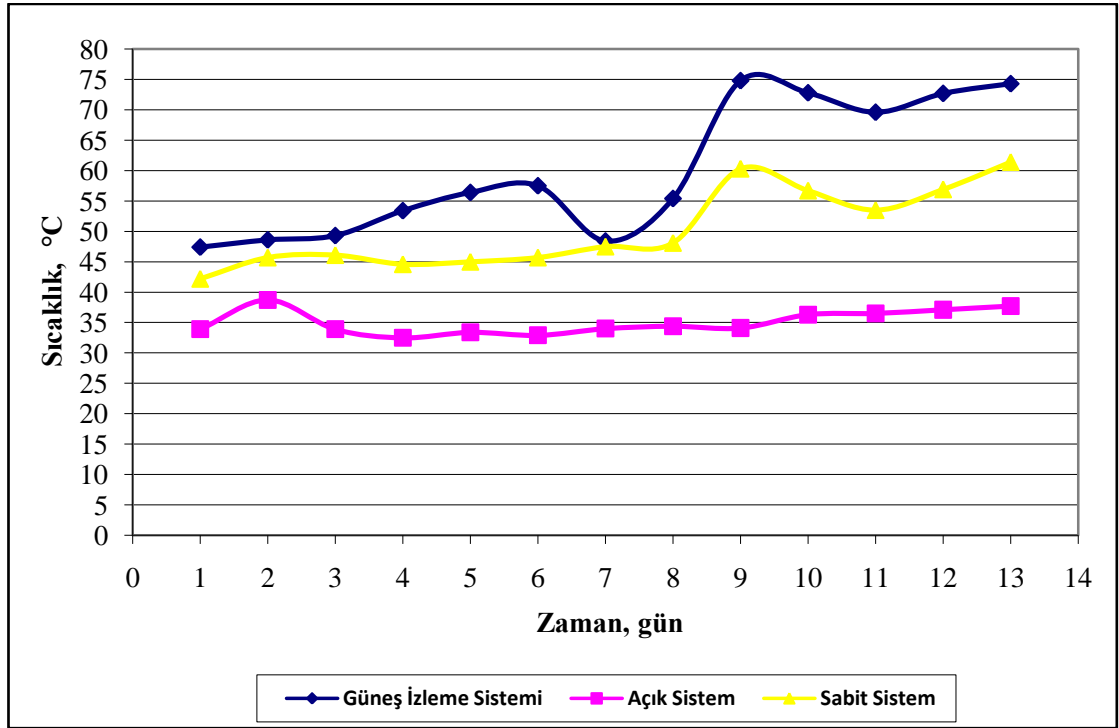
Gün içerisinde güneş kolektörlerinden elde edilen sıcak su ile ısıtılan Kapalı Sera Sisteminde oluşan yüksek iç ortam ısısının çakıl yatağa fan ile PVC borulardan gönderilerek, çakıl taşlarının ısıyı depo etmesi sağlanmış olup, bu ısının gece saatlerinde sıcaklığı düşen iç ortama aktarılması sağlanarak güneşin olmadığı gece saatlerinde de iç ortam sıcaklığı korunmaya çalışılmıştır. Ayrıca tavan vantilatörüyle sürekli olarak iç ortam ısısının çamur yüzeyine yayılmasıyla artan buharlaşma ile iç ortam nem miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Çamurdaki suyun uzaklaştırılmasıyla iç ortam havasında oluşan nem ise yan duvarda yer alan duvar aspiratörü ile hızlı biçimde dışarı atılarak kurutma veriminin olumsuz etkilenmesi engellenmiştir.

Güneş İzleme Sisteminde yapılan arıtma çamuru kurutma işlemlerinde, bu sistemde elde edilen yüksek verim nedeniyle 13. gün sonunda %99.17 katı madde içeriğine ulaşılmış olup, kurutma sistemleri verimlerinin aynı kurutma dönemi içerisinde eşit değerlerde karşılaştırılması amacıyla bu süre yaz döneminde referans kurutma süresi olarak alınmıştır.

Kapalı Sera ortam sıcaklığını sürekli olarak arttıran Güneş İzleme Sisteminde, 4. gün itibariyle çamurda artmaya başlayan katı madde içeriğinin, sıcaklığa paralel olarak sürekli arttığı ve 7. gün itibariyle çamur vizkozitesi, çamurun toz halini almaya başlamasıyla azalmıştır. Sabit Sistemde ise çamurun katı madde içeriğinin artması 7. gün itibariyle başlamış olup, ancak 13. günde toz haline kavuştuğu gözlemlenmiştir. Açık kurutma sisteminde ise 8. günde çamurun yüksek akışkan hali devam etmiş olup, 9. günden itibaren çamurun katı madde içeriğinde artışa yöneldiği durum olan topaklaşma haline dönüştüğü ve 13. günde ise henüz toz durumuna kavuşamadığı gözlemlenmiştir. Yaz mevsimi kurutma döneminde herhangi bir gün için yağış kaydedilmemiştir.

4.2.1. Yaz Mevsiminde Toplam Katı Madde, Toplam Uçucu Katı Madde, İnorganik Katı Madde (Sabit Katı Madde) ve Yağ-Gres Analiz Sonuçları

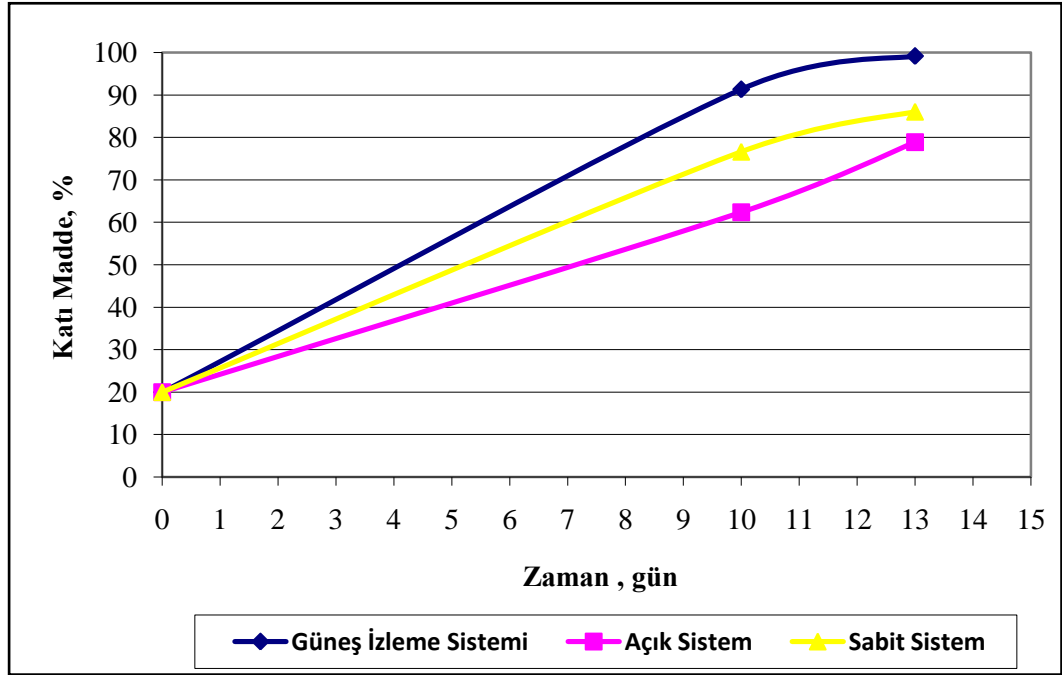
Yaz mevsimine ilişkin kapalı ortamda ve dış ortamda ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Yaz mevsimi ortam sıcaklık değişimleri

Yaz mevsiminde kurutma periyodunda, dış ortam sıcaklık değerleri, Güneş İzleme ve Sabit Sistemlerden elde edilen sıcak suyla sağlanan ısıdan kaynaklı iç ortam sıcaklık değerlerinden düşük düzeylerde olduğu görülmektedir. Dış ortam sıcaklığı en yüksek değeri 38,70 °C'ye yükselmiş iken, bu değer Güneş İzleme Sistemiyle 75,00 °C ve Sabit Sistemde 61,40 °C olarak kaydedilmiştir. Güneş ışınlarının, günün her saatinde, Güneş İzleme Sistemiyle kollektörler üzerine dik olarak geliyor olması; bu verilerin elde edilmesinde başlıca etken olmuştur.

Kurutma sistemlerinde çamur katı madde içeriğinde meydana gelen değişimler Şekil 4.2'de verilmiştir.

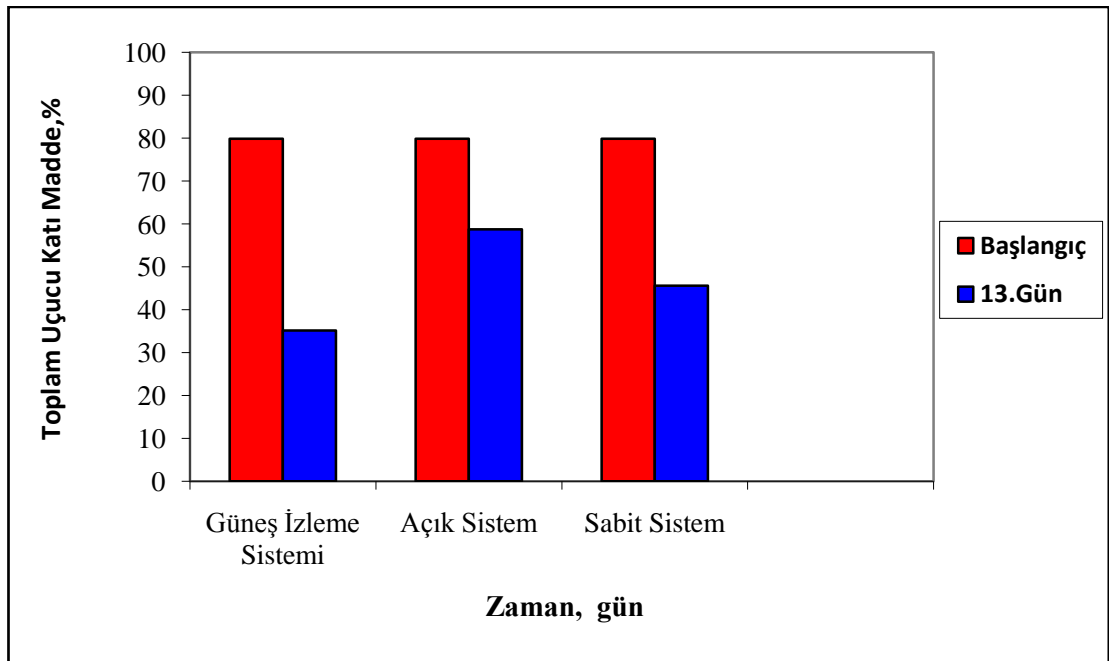


Şekil 4.2. Yaz mevsimi kurutma işlemlerinde katı madde yüzdesinin zamanla değişimi

Yaz mevsimi Güneş İzleme Sistemi ile Sabit Sistem ile ısıtılan Kapalı Sera sistemine ve Açık Sisteme % 20,00 KM derişimde arıtma çamuru yüklenmiş olup güneş ışınlarından yararlanılarak elde edilen ısıyla, çamurun içindeki suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılmasıyla katı madde derişimi arttırılarak çamurun kurutulması sağlanmıştır. Katı madde derişimleri her 10. günde analizlenerek,

değişimlerin izlenmesi amaçlanmıştır. Yaz mevsiminde güneşlenme süresine bağlı olarak Güneş İzleme Sisteminde hedeflenen katı madde derişimine 13. günde ulaşılmış olması nedeniyle kurutma işlemleri durdurularak kurutma verimlerinin eşit sürelerde değerlendirilmesi sağlanmıştır. Açık Sistemde 10. günde % 62,38, 13. günde ise % 78,88 katı madde derişimine ulaşılmıştır. Sabit Sistemde katı madde derişimleri sırasıyla 10. günde %76,61 ve 13. günde %86,06 tespit edilmiştir. Güneş İzleme Sisteminde ise katı madde derişimleri 10. günde % 91,38 ve 13. günde ise % 99,17 ile yaz mevsimi kurutma döneminde çamur kurutma işleminde en verimli sistem olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.1’de yaz mevsimi sıcaklık değişimleri göz önüne alındığında, Güneş İzleme Sisteminde güneş ışınlarından gün boyunca dik olarak yararlanılması, arıtma çamurlarının kurutulmasına olumlu yönde etki yaptığı bu araştırma ile kanıtlanmıştır.

Yaz mevsimi kurutma sistemlerinde kurutulan arıtma çamurları için toplam uçucu katı madde derişimlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.3.’de verilmiştir.



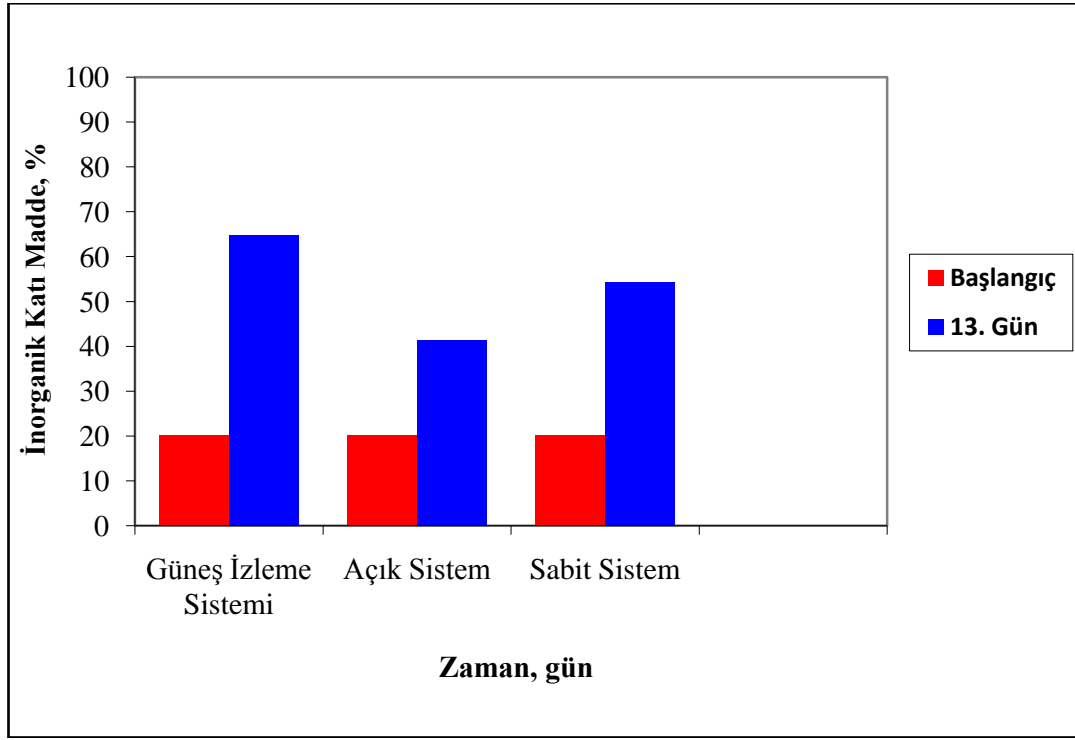
Şekil 4.3. Yaz mevsimi kurutma işlemlerinde toplam uçucu katı madde derişimlerinin zamanla değişimi

Her üç sistem için başlangıç toplam uçucu katı madde derişimi %79,86 analizlenmiş olup, 13 günlük kurutma süreleri sonunda Güneş İzleme Sisteminde yapılan kurutma %35,16, Sabit Sistemde %45,64 ve Açık Sistemde ise % 58,76'e düştüğü görülmektedir. Toplam uçucu katı madde derişimindeki bu azalma, kurutma sistemlerinde artan ortam sıcaklığına bağlı olarak arıtma çamurundaki uçucu organik maddelerin sıcaklığın da etkisiyle uzaklaşmasından kaynaklı olduğu söylenebilir. Literatürde işlenmiş çamurun uçucu katı madde miktarı, katı maddenin %30-60'i arasındadır.

“Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği” ne göre arıtma çamurlarının toprakta kullanılması için organik içeriğinin %40 az olmaması zorunlu kılınmıştır. Bu durumda araştırmada güneş izleme sistemiyle kurutulan arıtma çamurlarının toprakta değerlendirilebilmesi için organik içeriğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu durumun oluşmaması için kurutulan çamurların toplam uçucu katıların kontrolü için katı madde içeriğinin %90 seviyesinin altında olması gerektiği söylenebilir [60].

Güneş İzleme Sistemleri kullanılarak kurutulacak olan çamurların katı madde derişimleri kontrol edilerek arıtma çamurlarının değerlendirme ve bertaraf yöntemleri arasında yaygın olarak kullanılan toprakta kullanımında organik içerik bakımından herhangi bir uygunsuz durumun ortaya çıkmasını engelleyecektir.

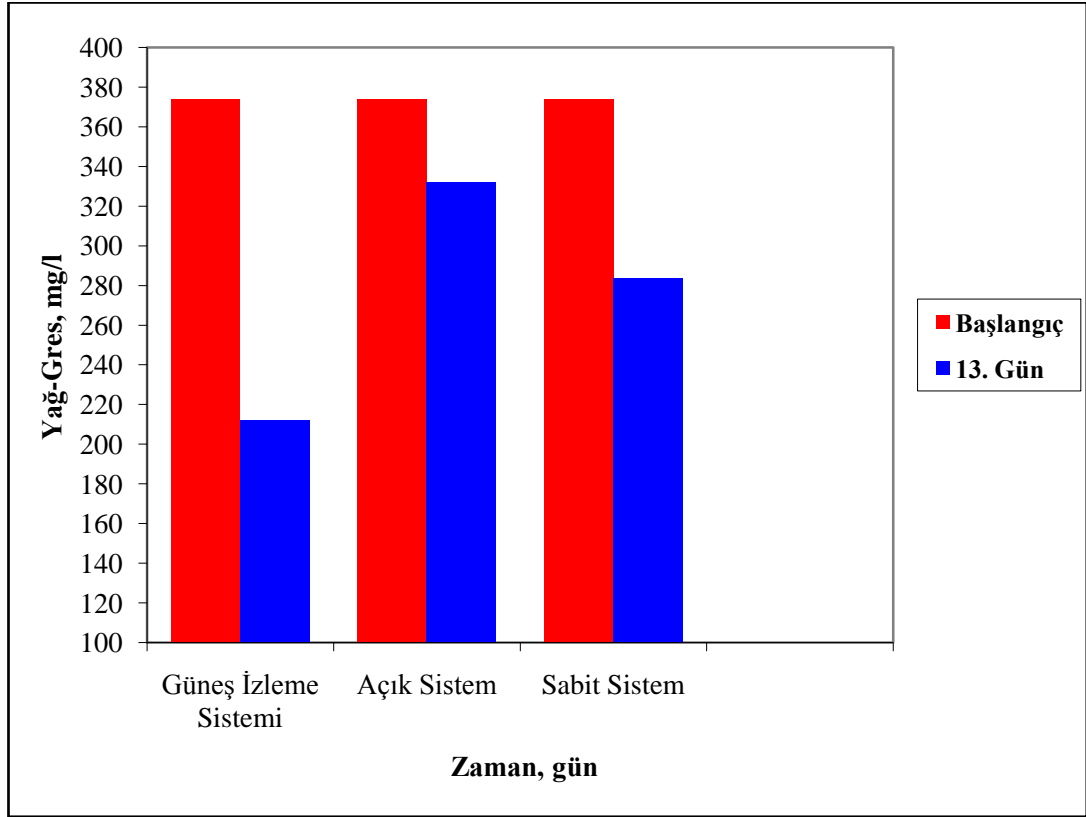
Yaz mevsimi arıtma çamurlarının kurutma işlemlerinde inorganik katı madde (sabit katı madde-kül) derişimin zamana bağlı değişim sonuçları Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Yaz mevsimi kurutma işlemlerinde inorganik katı madde (sabit katı madde-kül) derişiminin zamanla değişimi

İnorganik katı madde derişimleri her üç kurutma sistemi için başlangıçta %20,14 derişiminden Güneş İzleme Sisteminde %64,84'e, Sabit Sistemde %41,24'e ve Açık Sisteminde ise % 54,36 'ya yükseldiği tespit edilmiştir. Kurutulan arıtma çamurlarının kül fırınında 550°C'de yakılmasından kalan son ürün olan inorganik katı madde (kül) içeriği, arıtma çamurlarının kurutulmasıyla azalan su içeriklerine bağlı olarak artış göstermiştir. İnorganik katı madde içeriklerindeki bu artışlar, kurutma sistemlerinden sağlanan ısıyla artan ortam sıcaklarının etkisiyle ortaya çıktığı söylenebilir.

Yaz mevsimi kurutma döneminde kurutma sistemlerinde kullanılan çamur numunelerindeki yağ-gres derişimindeki değişimler Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Yaz dönemi kurutma işlemlerinde yağ-gres yüzdesinin zamanla değişimi

Başlangıçta 374,00 mg/l yağ-gres derişime sahip arıtma çamuru numuneleri Güneş İzleme Sistemiyle kurutulması sonucunda 212,00 mg/l'ye, Sabit Sistemde 284,00 mg/l 'ye ve Açık Sistemde ise 332,00 mg/l'ye kadar düştüğü saptanmıştır. Yağ-gres derişimlerindeki bu azalma iç ortam sıcaklığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.1'deki kurutma sistemlerin yaz dönemi ortam sıcaklık derişimleri göz önünde bulundurulduğunda 13 günlük kurutma süreleri sonunda hidrokarbon yapıdaki yağların ortam sıcaklığının sürekli artması sebebiyle termokimyasal olarak bozunmaya uğradığı söylenebilir.

4.2.2. Yaz Mevsimi Kurutma İşlemlerinde Ağır Metal İyonları Analiz Sonuçları

Araştırmada kullanılan arıtma çamurlarının, arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına ilişkin yasal düzenlemelerde belirtilen sınır değerlerinin çok altında olduğu; ülkemiz, AB ve ABD ile ilgili arıtma çamurlarının kullanılması için izin

verilen maksimum ağır metal değerlerinin karşılaştırıldığı Çizelge 3.1'den de anlaşılmaktadır.

Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda Tarsus Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurlarının toprakta kullanılması ve değerlendirilmesinde ağır metal derişimleri bakımından engelleyici bir durumun olmadığı söylenebilir. Araştırmanın yapıldığı Tarsus ilçesinde kanalizasyon sisteminden arıtma tesisine yüksek oranda ağır metal konsantrasyonu yükü getirebilecek herhangi bir sanayi kuruluşunun olmadığı, var olan kuruluş ve tesislerde ise ağır metal konsantrasyon yüklerinin olmadığı veya olan tesislerde ise ön arıtma sonucu bu durumun oluşmasına ilgili kurumlara izin verilmemektedir.

4.3. ARITMA ÇAMURLARININ KIŞ MEVSİMİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ İLE KURUTULMASINA İLİŞKİN SONUÇLAR

Ülkemiz Aralık-Ocak dönemlerinde günlük 3,30 saat güneşlenme süresi potansiyeline sahiptir. Günlük güneşlenme süresi ülkemizde ortalama 7,20 saat olup, çalışmanın yapıldığı Akdeniz bölgesinde bu süre 8,10 saate çıkmaktadır [12].

Kış dönemi çalışmalarında örnek arıtma çamurunun bant filtrelerinde susuzlaştırılmasıyla katı madde yüzdesi 19,60 olarak analizlenmiştir. Çamur kurutma tavalara eğimli taban alana 25-35 cm yüksekliğinde serilen çamurun stabil formuna daha hızlı ulaşması ve patojen giderimi amacıyla 0.10 kg sönmemiş kireç/kg katı madde eklenmiştir [53].

Çamur kurutma sistemlerinin kurutma verimlerini gözlemek amacıyla kış mevsiminde kurutma dönemi boyunca günlük veriler kayıt altına alınmıştır. Güneş İzleme Sistemiyle yapılan kurutma işleminin sonucunda ortam sıcaklığı ve kuru madde yüzdesi olarak Sabit Sistemle hemen hemen aynı değerlere ulaştığı fakat Açık Sistemle karşılaştırıldığında oldukça yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Kış mevsiminde Aralık-Ocak döneminde hava sıcaklığındaki düşüşe ve bazı günlerin yağışlı olmasına bağlı olarak, yaz dönemine göre kurutuma süresi uzamıştır. Kapalı Sera Sisteminde kurutulan çamurların yağıştan etkilenmediği ve havanın az güneşli olduğu günlerde dahi kurutma işleminin hızlandığı görülmektedir. Açık Sistemin en büyük dezavantajının kış aylarında yağmurdan etkileniyor olması karşısında Kapalı Sera Sistemlerin önemi dikkat çekicidir.

Açık Sistemde kurutulan çamurların başlangıç katı madde oranı % 19,60 iken bu oran 30 gün sonunda yağışların etkisiyle % 18,65'e gerilemiştir. Kış aylarında Güneş İzleme Sistemlerinin kullanılması güneşli geçen günlerin sayısına bağlı olarak önem kazanmaktadır. Bu dönemlerde kurutulan arıtma çamurlarında Güneş İzleme Sisteminde elde edilen % 88,67 katı madde derişimi ile Sabit Sistemde elde edilen %74,82 katı madde derişimleri arasında 30 gün sonunda ulaşılan katı madde içeriği bakımından yaklaşık %14,00 lük bir fark oluşmuştur. Yaz dönemi Temmuz-Ağustos aylarında Güneş İzleme Sisteminde elde edilen % 99,17 katı madde derişimi ile Sabit Sistemde elde edilen %86,06 katı madde derişimleri arasında 13 gün sonunda ulaşılan katı madde içeriği bakımından yaklaşık %13,00 lük bir fark oluşmuştur.

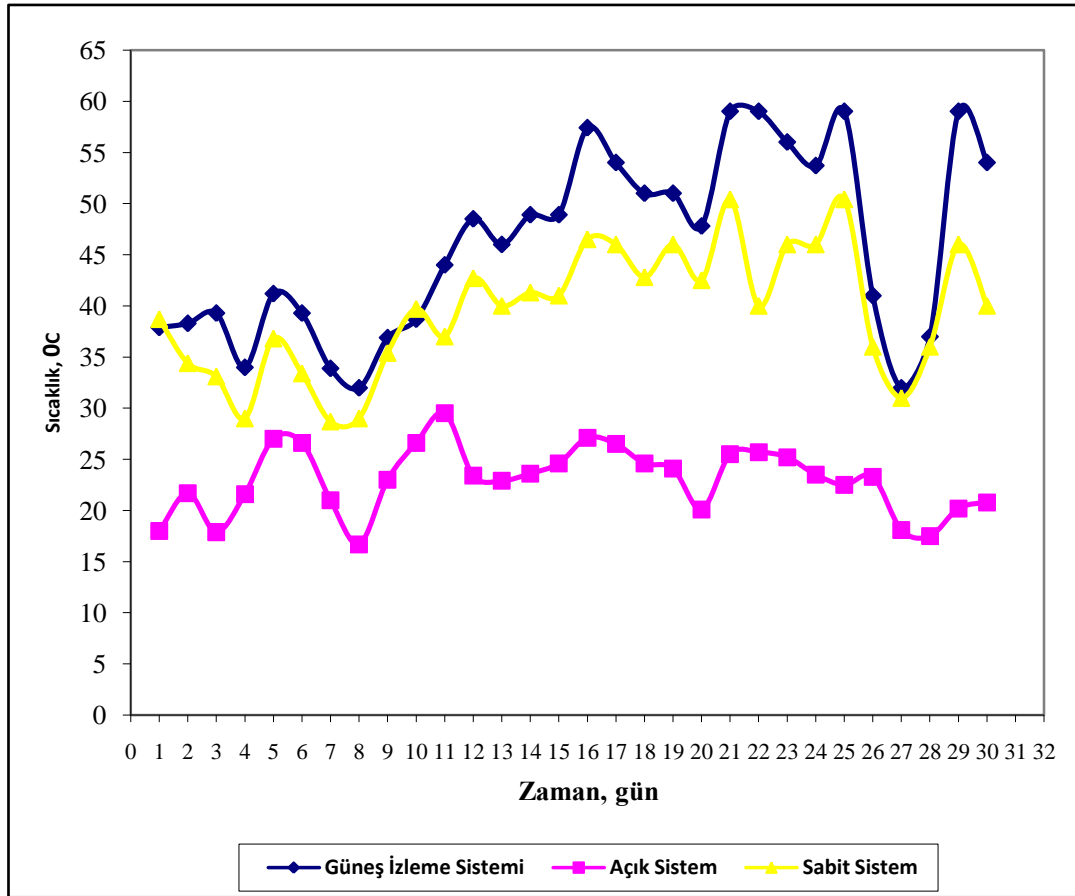
Güneş İzleme Sistemi ile Sabit Sistem arasında bu farkların oluşması Güneş İzleme Sisteminin, Sabit Sisteme göre daha verimli olduğunu ispatlamakla birlikte mevsimsel şartların bu farkın oluşmasında etkili olmadığı söylenebilir.

4.3.1. Kış Mevsimi Kurutma İşlemlerinde Toplam Katı Madde, Toplam Uçucu Katı Madde, İnorganik Katı Madde (Kül) ve Yağ-Gres Analiz Sonuçları

Kış mevsiminde 07:00-17:00 saatleri arasında ortalama iç ortam sıcaklığı Güneş İzleme Sisteminde 55,95°C, Sabit Sistemde ise 40,10°C olarak tespit edilmiştir. Bu dönemde yapılan Açık Sistemde kuruma çalışmalarında dış ortam sıcaklığı ortalama 22,96 °C olarak gerçekleşmiş ve diğer sistemlerde güneş enerjilerinden sıcak su eldesi ile yapılan iç ortam ısıtılmasından kaynaklı oluşan sıcaklık değerlerinin çok altında kaldığı görülmüştür. Güneş enerjili kurutma

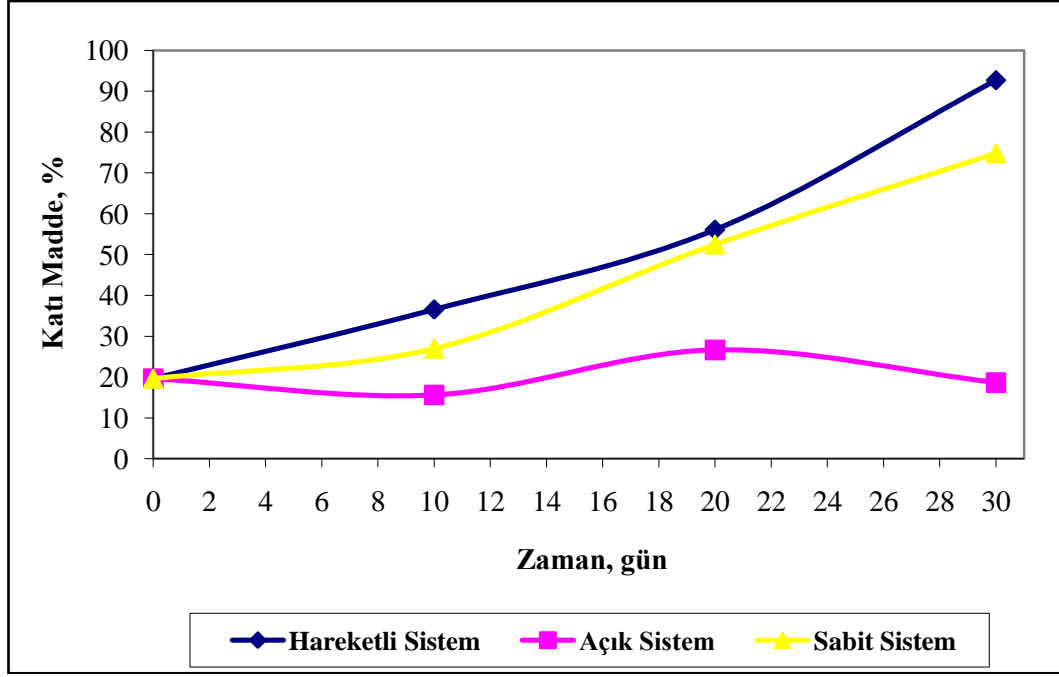
sistemlerinde bazı günlerde yağmurun olması ve güneşin kapalı olması nedeniyle güneş enerjisinden ısı elde edilen verim yaz mevsimine göre oldukça düşüktür. Şekil 4.6 incelendiğinde özellikle yağmurun olduğu günlerde ortam sıcaklığında ani düşümler yaşanmış olduğu görülecektir.

Kış mevsimi Aralık-Ocak kurutma döneminde kurutma sistemlerinde ortam sıcaklık değişimleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Kış mevsimi ortam sıcaklık değişimleri

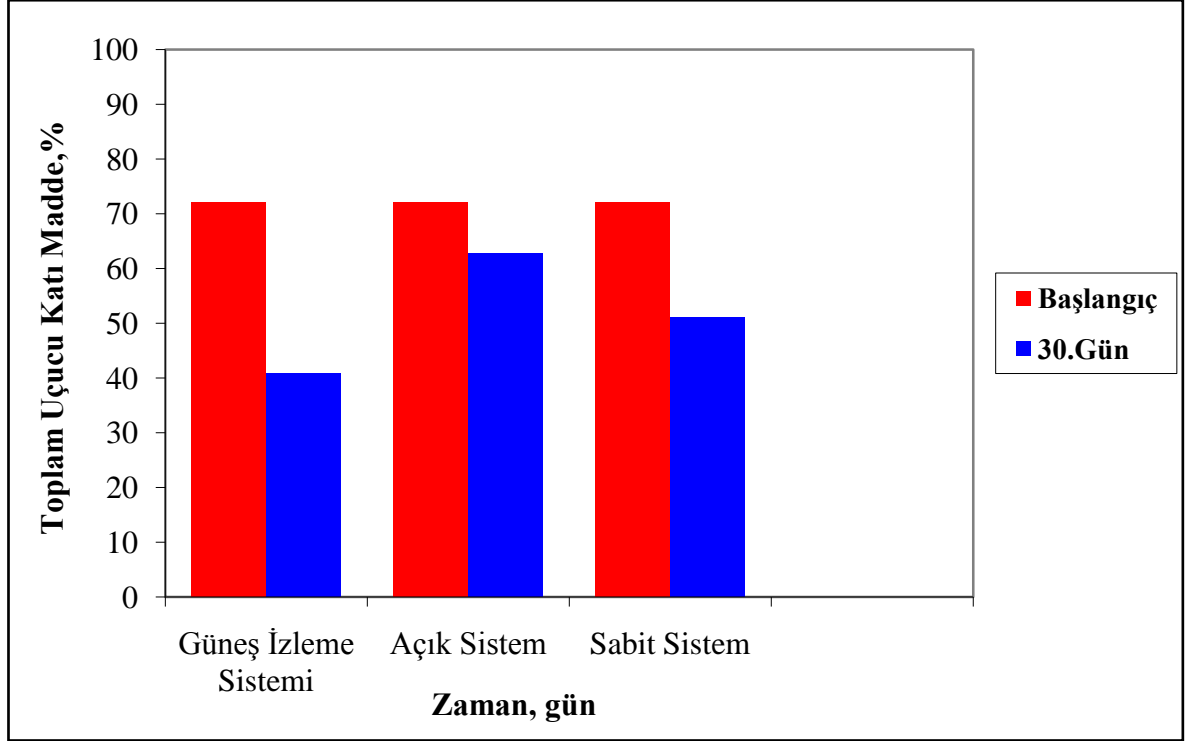
Kış mevsiminde yapılan kurutma çalışmalarında katı madde derişiminde gerçekleşen değişimler Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Kış mevsimi kurutma işlemlerinde katı madde içeriğinin zamanla değişimi

Kış mevsiminde Aralık-Ocak aylarında kurutma süresi periyodu, kurutma sistemlerinin aylık verimlerini karşılaştırmak amacıyla 30 gün olarak tercih edilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde Güneş İzleme Sistemiyle yapılan kurutmanın yaklaşık olarak doğrusal olduğu söylenebilir. Sabit Sistem, Güneş İzleme Sistemine yakın bir kurutma verimi sağlamış olup Açık Sistemle yapılan kurutma işlemleri yağmurlu gün olmasının da etkisiyle başlangıçta % 19,60 olan katı madde içeriği 30. Gün sonunda % 18,56 'ya kadar gerilemiştir. Bu durum sonucunda kış mevsiminde Açık Sistemle yapılan kurutma başarılı olunmayacağı açık şekilde görülmektedir. Kış mevsiminde Güneş İzleme Sistemi ve Sabit Sistemde yapılan kurutmalara Yaz mevsimi kurutma süresinden yaklaşık 2,5 katı kadar daha uzun sürmesine rağmen, kurutma işlemlerinin Kapalı Sistemde (KS) gerçekleştirilmiş olmasıyla dış ortam hava şartlarının bertaraf edilmesinin önemini göstermektedir. Güneş enerjisinden yararlanma verimi çok düşük olmasına rağmen kış aylarında kapalı ortamda nem kontrolü yapılması kurutma işlemlerinde önemli olduğu söylenebilir.

Kış mevsiminde kurutulan arıtma çamurlarının toplam uçucu katı madde içeriklerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.8'de verilmiştir.



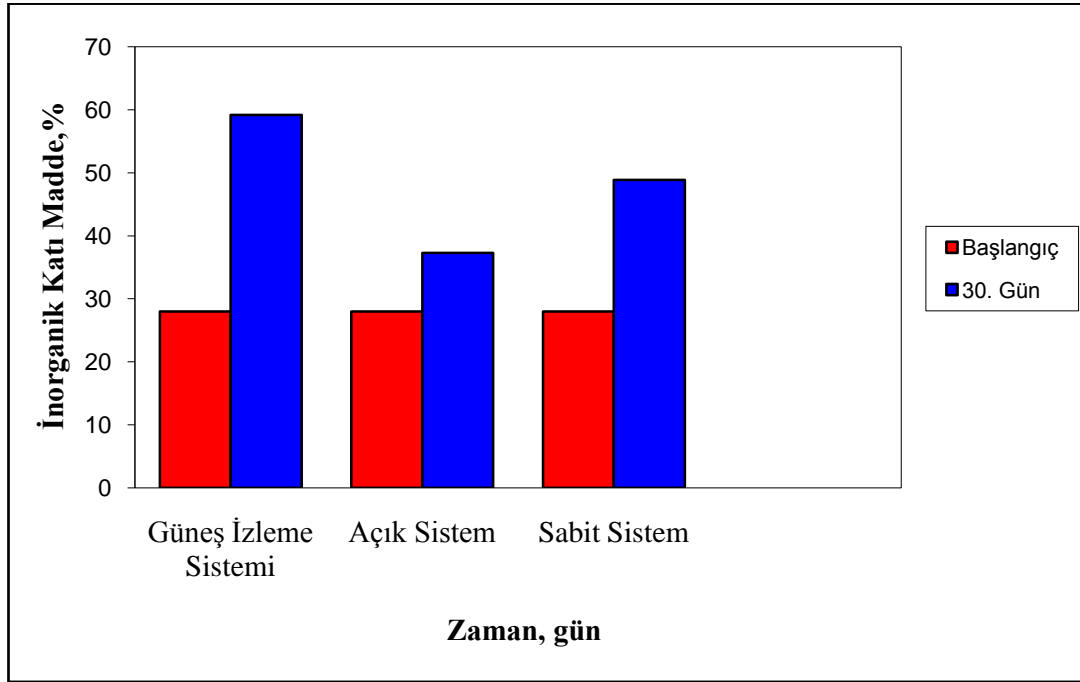
Şekil 4.8. Kış mevsimi kurutma işlemlerinde toplam uçucu katı madde içeriğinin zamanla değişimi

Kış mevsiminde kurutulana arıtma çamurlarındaki toplam uçucu katı madde içeriğinde yaz mevsimine benzerlik gösteren azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Fakat bu azalmaların ortam sıcaklığı ile ilişkisi olduğu için Açık Sistemde kurutulan çamurlarda değişim % 72,00'den %62,72'ye düşmüş olmakla birlikte diğer sistemlere oranla daha düşük bir verim sağlandığı söylenebilir.

“Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği” ne göre [58], arıtma çamurlarının toprakta kullanılması için organik içeriğinin %40 az olmaması gerektiği göz önünde bulundurulursa bu sınır değere sadece yaz mevsiminde yapılan kurutma işlemlerinde olduğu gibi Güneş İzleme Sistemiyle yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Kış mevsiminde yapılan kurutma çalışmalarında %40,80 TUKM içeriğine ulaşılan Güneş İzleme Sisteminde katı madde içeriği %88.67 olarak tespit edilerek TUKM-sıcaklık ilişkisi desteklenmiştir.

Temmuz-Ağustos kurutma döneminde Güneş İzleme Sisteminde 13 gün sonunda ortam sıcaklığının yüksek olması nedeniyle çamurlar %99.17 katı madde içeriğine ulaşmıştır. Bu durum toplam uçucu katı madde (TUKM) içeriğinin % 35.16 olarak tespit edilmiş olmasıyla sıcaklıkla-TUKM arasında ilişki olduğunu ispatlamakta ve TUKM'nin sınır değerlerin altına düşmesini engellemek için, kurutulacak çamurların katı madde içeriklerinin maksimum %90 düzeylerinde olması gerektiğini ortaya çıkarmıştır

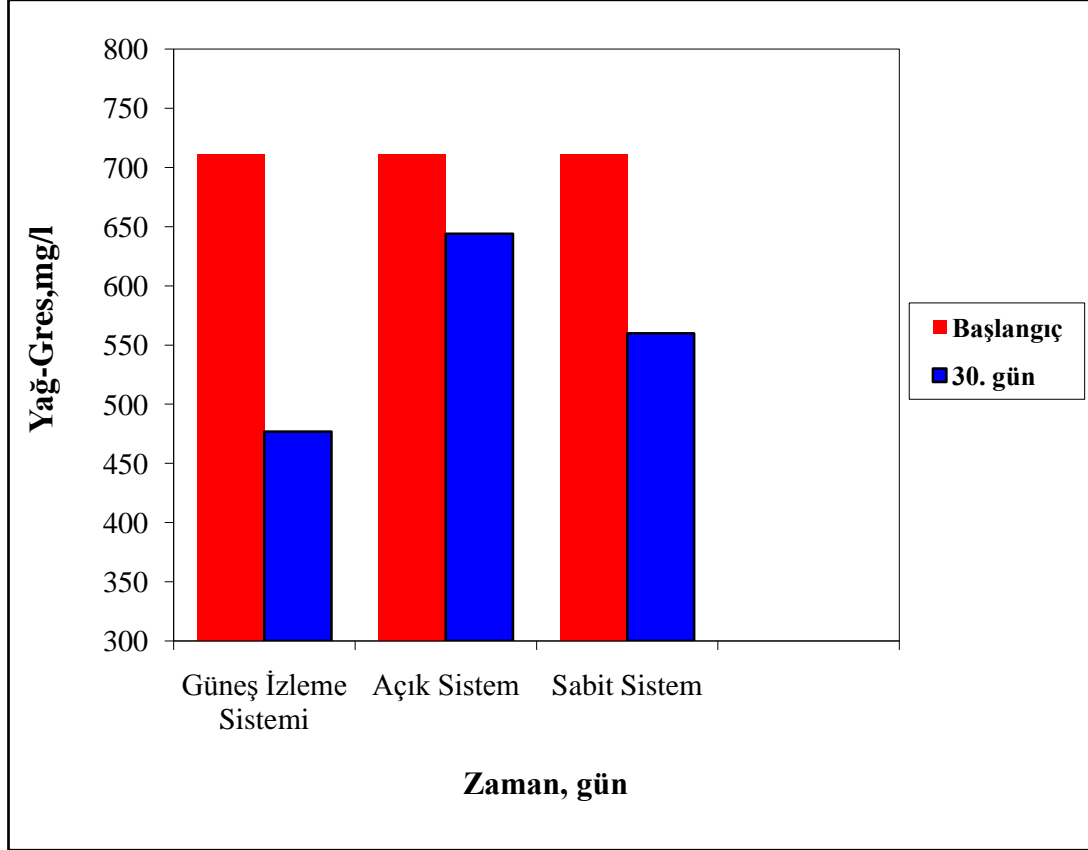
Kış mevsiminde kurutulan arıtma çamurlarının inorganik katı madde (kül) içeriklerine ait değişimler Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Kış mevsimi kurutma işlemlerinde inorganik madde içeriğinin zamanla değişimi

İnorganik katı madde derişimleri her üç kurutma sistemi için başlangıçta %28,00 derişiminden; Güneş İzleme Sisteminde %59,18, Sabit Sistemde %48,88'e yükselirken ve Açık Sistemde ise % 27,2'e düşmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasında başlıca etken olarak, kış mevsiminde açık sistem kurutma işleminde katı madde içeriğinin yağışlarla birlikte başlangıç düzeyinden daha düşük katı madde içeriğinde azalmanın neden olduğu düşünülmektedir.

Kış mevsimi kurutma döneminde kurutma sistemlerinde kullanılan çamur numunelerindeki yağ-gres derişimindeki değişimler Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. Kış mevsimi kurutma işlemlerinde yağ-gres içeriğinin zamanla değişimi

Şekil incelendiğinde başlangıçta 711,00 mg/l yağ-gres derişimine sahip arıtma çamurlarında yağ-gres derişimleri Güneş İzleme Sisteminde 447,00 mg/l, Sabit Sistemde 560,00 mg/l ve Açık Sistemde 644,00 mg/l olarak tespit edilmiştir. Bu durum yaz mevsimi kurutma dönemindeki değişimlere benzerlik göstermektedir. Güneş İzleme Sisteminin bağlı olduğu Kapalı Sera Sisteminde ortalama ortam sıcaklığı 55,95 °C, Sabit Sistemde 40,10 °C ve Açık Sistemde ise dış ortam ortalama sıcaklığı 22,96 °C olarak ölçülmüştür. Yağların hidrokarbon yapıda olması nedeniyle ortam sıcaklığının yağ-gres derişimlerini düşürdüğü düşünülmektedir.

4.3.2. Kış Mevsimi Kurutma İşlemlerinde Ağır Metal İyon Analizleri

Ağır metal analiz sonuçlarına ilişkin çizelge incelendiğinde kullanılan çamur örneklerinin sağlandığı Tarsus Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisi çamurlarının ağır metal derişimleri bakımından yasal sınırların çok altında olduğu ve toprakta beraraf veya değerlendirilmesi açısından herhangi bir uygunsuzluk olmadığı söylenebilmektedir.

4.4. İSTATİSTİKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada Nikel (II), Bakır (II), Kurşun (II), Krom (VI), Çinko (II), Demir (II), Toplam uçucu katı madde, İnorganik katı madde ve Yağ-gres değerleri bakımından kurutma sistemleri, mevsimler arasında fark olup olmadığı ve sistemler ile mevsimler arasındaki etkileşimin anlamlı olup olmadığı iki faktörlü varyans analizi ile test edilmiştir. Başlangıç, 10. gün ve 13. gün değerleri bakımından zamanlar ve sistemler bakımından karşılaştırma yapılırken İki Yönlü Tekrarlanan Ölçümlü ANOVA ile test edilmiştir. Bu analizler SPSS v.11.5 paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

İstatistiki analizlerde $p < 0,05$ istatistiksel anlamlılık düzeyi olarak kabul edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda, gruplar arasında ortaya çıkan farklılığın şans eseri olma olasılığı 0,05'den fazla olduğu durumda, gruplar arasında farklılıktan söz edilemez.

4.4.1. Deneme Desenleri

SPSS v.11.5 paket programında gerçekleştirilecek analizler için, laboratuvar analiz sonuçlarından yola çıkarak üç paralelli yapılan analizler için Tekerrürlü Tesadüf Blokları Deneme Deseni oluşturulmuştur.

Çizelge 4.2. Metal iyonları, toplam inorganik madde, sabit katı madde, yağ-gres analizleri için deneme deseni

<i>Grup1</i>	<i>Grup2</i>	Ni ⁺² mg/kg	Cu ⁺² mg/kg	Pb ⁺² mg/kg	Cd ⁺² mg/kg	Cr ⁺⁶ mg/kg	Zn ⁺² mg/kg	Fe ⁺² mg/kg	TUKM %	SKM %	Yağ- Gres %
<i>GİS</i>	<i>Yaz</i>	91,44	83,81	24,45	2,38	14,83	41,24	41,38	35,23	64,66	217
<i>GİS</i>	<i>Yaz</i>	73,69	88,78	30,69	3,95	15,87	50,23	37,61	35,18	65,03	208
<i>GİS</i>	<i>Yaz</i>	86,13	86,13	27,60	2,49	15,92	46,71	43,23	35,07	64,83	211
<i>AS</i>	<i>Yaz</i>	95,66	103,43	26,5	3,87	16,93	30,24	27,61	58,64	41,21	331
<i>AS</i>	<i>Yaz</i>	103,43	98,36	23,82	4,21	16,35	29,67	28,76	58,79	41,34	334
<i>AS</i>	<i>Yaz</i>	92,39	104,39	23,60	3,74	14,6	29,55	28,89	58,85	41,17	331
<i>SS</i>	<i>Yaz</i>	88,75	72,23	29,90	2,51	16,23	38,46	44,08	45,75	54,28	286
<i>SS</i>	<i>Yaz</i>	88,51	74,18	29,76	2,09	16,71	38,31	42,36	45,49	54,03	281
<i>SS</i>	<i>Yaz</i>	89,02	74,09	29,8	2,33	16,62	38,73	41,66	45,68	54,77	285
<i>GİS</i>	<i>Kış</i>	56,90	52,00	63,05	1,53	18,54	82,52	19,34	40,98	59,17	476
<i>GİS</i>	<i>Kış</i>	59,16	52,24	63,35	1,79	16,89	81,14	20,56	40,65	59,26	445
<i>GİS</i>	<i>Kış</i>	57,82	52,84	62,6	1,72	20,85	80,78	20,16	40,83	59,11	510
<i>AS</i>	<i>Kış</i>	34,18	73,28	48,18	2,70	11,19	71,84	43,20	62,66	37,41	654
<i>AS</i>	<i>Kış</i>	33,47	70,36	49,22	2,45	11,12	72,76	43,40	63,10	37,49	671
<i>AS</i>	<i>Kış</i>	31,05	68,46	48,34	2,62	10,87	72,96	43,60	62,40	36,94	607
<i>SS</i>	<i>Kış</i>	45,25	90,37	90,23	2,03	14,23	45,69	31,72	51,12	48,66	518
<i>SS</i>	<i>Kış</i>	39,57	89,54	88,13	1,77	14,91	46,73	31,07	51,03	49,21	579
<i>SS</i>	<i>Kış</i>	42,02	89,73	83,30	1,81	15,80	48,28	31,29	51,21	48,77	583

Çizelge 4.3. Kurutma sistemleri katı madde analizleri için deneme deseni

<i>Grup1</i>	<i>Grup2</i>	Başlangıç KM,%	10.gün KM,%	13.gün KM,%	<i>Grup1</i>	<i>Grup2</i>	Başlangıç KM,%	10.gün KM,%	20.gün KM,%	30.gün KM,%
<i>GİS</i>	<i>Yaz</i>	20	91,52	99,23	<i>GİS</i>	<i>Kış</i>	19,6	36,33	56,58	92,42
<i>GİS</i>	<i>Yaz</i>	20	90,77	99,25	<i>GİS</i>	<i>Kış</i>	19,6	36,54	56,03	92,79
<i>GİS</i>	<i>Yaz</i>	20	91,85	99,03	<i>GİS</i>	<i>Kış</i>	19,6	36,75	55,61	92,8
<i>AS</i>	<i>Yaz</i>	20	61,95	79,12	<i>AS</i>	<i>Kış</i>	19,6	17,22	25,83	18,67
<i>AS</i>	<i>Yaz</i>	20	61,76	78,6	<i>AS</i>	<i>Kış</i>	19,6	14,81	27,33	17,79
<i>AS</i>	<i>Yaz</i>	20	63,46	78,92	<i>AS</i>	<i>Kış</i>	19,6	14,66	26,76	19,49
<i>SS</i>	<i>Yaz</i>	20	76,54	86,02	<i>SS</i>	<i>Kış</i>	19,6	26,51	52,78	74,68
<i>SS</i>	<i>Yaz</i>	20	77,12	86,84	<i>SS</i>	<i>Kış</i>	19,6	27,13	52,21	74,83
<i>SS</i>	<i>Yaz</i>	20	76,17	85,32	<i>SS</i>	<i>Kış</i>	19,6	27,39	52,37	74,95

4.4.2. Nikel (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Nikel iyonları bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p=0,091$). Nikel ağır metali bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p<0,001$). Nikel ağır metali için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$).

Çizelge 4.4. Nikel (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	10557,891(a)	5	2111,578	99,504	,000
Kesişim	81129,291	1	81129,291	3823,071	,000
GRUP1	125,340	2	62,670	2,953	,091
GRUP2	9320,676	1	9320,676	439,220	,000
GRUP1 * GRUP2	1111,876	2	555,938	26,198	,000
Hata	254,652	12	21,221		
Toplam	91941,834	18			
Düzeltilmiş toplam	10812,543	17			

a $R^2= 0,976$

4.4.3. Bakır (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Bakır iyonları bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p<0,001$). Bakır ağır metali bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p<0,001$). Bakır ağır metali için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$).

Çizelge 4.5. Bakır (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	4533,882(a)	5	906,776	225,146	,000
Kesişim	112689,034	1	112689,034	27979,897	,000
GRUP1	934,469	2	467,235	116,011	,000
GRUP2	1193,650	1	1193,650	296,375	,000
GRUP1 * GRUP2	2405,763	2	1202,881	298,667	,000
Hata	48,330	12	4,028		
Toplam	117271,246	18			
Düzeltilmiş Toplam	4582,212	17			

a $R^2 = ,989$

4.4.4. Kurşun (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Kurşun iyonları bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). Kurşun iyonları bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). Kurşun ağır metali için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$).

Çizelge 4.6. Kurşun (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	9144,537(a)	5	1828,907	431,514	,000
Kesişim	39435,553	1	39435,553	9304,459	,000
GRUP1	1460,847	2	730,423	172,337	,000
GRUP2	6816,449	1	6816,449	1608,279	,000
GRUP1 * GRUP2	867,241	2	433,621	102,309	,000
Hata	50,860	12	4,238		
Toplam	48630,950	18			
Düzeltilmiş Toplam	9195,397	17			

a $R^2 = 0,994$

4.4.5. Kadmiyum (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Kadmiyum ağır metali bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p=0,001$). Kadmiyum ağır metali bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p<0,001$). Kadmiyum ağır metali için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamsızdır ($p=0,129$).

Çizelge 4.7. Kadmiyum (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	10,088(a)	5	2,018	13,081	,000
Kesişim	117,504	1	117,504	761,862	,000
GRUP1	4,682	2	2,341	15,179	,001
GRUP2	4,651	1	4,651	30,157	,000
GRUP1 * GRUP2	,754	2	,377	2,445	,129
Hata	1,851	12	,154		
Toplam	129,443	18			
Düzeltilmiş Toplam	11,938	17			

a R Squared = ,845 (Adjusted R Squared = ,780)

4.4.6. Krom (VI) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Krom iyonu bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p=0,001$). Krom ağır metali bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p=0,05$). Krom ağır metali için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$).

Çizelge 4.8. Krom (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	95,579(a)	5	19,116	17,591	,000
Kesişim	4307,776	1	4307,776	3964,211	,000
GRUP1	40,454	2	20,227	18,614	,000
GRUP2	5,184	1	5,184	4,771	,050
GRUP1 * GRUP2	49,941	2	24,970	22,979	,000
Hata	13,040	12	1,087		
Toplam	4416,396	18			
Düzeltilmiş Toplam	108,619	17			

a $R^2=0,880$

4.4.7. Çinko (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Çinko ağır metali bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p<0,001$). Çinko ağır metali bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p<0,001$). Çinko ağır metali için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$).

Çizelge 4.9. Çinko (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	6071,531(a)	5	1214,306	308,693	,000
Kesişim	49700,739	1	49700,739	12634,603	,000
GRUP1	1348,892	2	674,446	171,453	,000
GRUP2	3742,855	1	3742,855	951,485	,000
GRUP1 * GRUP2	979,784	2	489,892	124,537	,000
Hata	47,204	12	3,934		
Toplam	55819,475	18			
Düzeltilmiş Toplam	6118,736	17			

a $R^2=0,992$

4.4.8. Demir (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Demir iyonları bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). Demir ağır metali bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). Demir ağır metali için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$).

Çizelge 4.10. Demir (II) İyonları Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	1325,587(a)	5	265,117	147,472	,000
Kesişim	21350,045	1	21350,045	11875,981	,000
GRUP1	152,116	2	76,058	42,307	,000
GRUP2	145,863	1	145,863	81,137	,000
GRUP1 * GRUP2	1027,608	2	513,804	285,804	,000
Hata	21,573	12	1,798		
Toplam	22697,205	18			
Düzeltilmiş Toplam	1347,160	17			

a R Squared = ,984 (Adjusted R Squared = ,977)

4.4.9. Toplam Uçucu Katı Madde Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

TUKM değerleri bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). TUKM değerleri bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). TUKM değişkeni için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$).

Çizelge 4.11. Toplam uçucu katı madde değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	1673,190(a)	5	334,638	10186,848	,000
Kesişim	43282,704	1	43282,704	1317586,125	,000
GRUP1	1099,992	2	549,996	16742,654	,000
GRUP2	114,005	1	114,005	3470,472	,000
GRUP1 * GRUP2	459,192	2	229,596	6989,230	,000
Hata	,394	12	,033		
Toplam	44956,288	18			
Düzeltilmiş Toplam	1673,584	17			

a $R^2 = 1,000$

4.4.10. İnorganik Katı Madde Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

İnorganik katı madde değerleri bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). İnorganik katı madde değerleri bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). İnorganik katı madde değişkeni için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$).

Çizelge 4.12. İnorganik katı madde değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	1673,190(a)	5	334,638	5537,308	,000
Kesişim	46750,704	1	46750,704	773591,355	,000
GRUP1	1099,992	2	549,996	9100,875	,000
GRUP2	114,005	1	114,005	1886,459	,000
GRUP1 * GRUP2	459,192	2	229,596	3799,165	,000
Hata	,725	12	,060		
Toplam	48424,619	18			
Düzeltilmiş Toplam	1673,915	17			

a $R^2 = 1,000$ (Adjusted $R^2 = ,999$)

4.4.11. Yağ-Gres Değerlerine İlişkin İki Faktörlü ANOVA Sonuçları

Yağ gres değerleri bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). Yağ gres değerleri bakımından yaz (Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak) mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). Yağ gres değişkeni için mevsim sistem etkileşimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p = 0,001$).

Çizelge 4.13. Yağ-gres değerlerine ilişkin iki faktörlü ANOVA sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Model	427526,500(a)	5	85505,300	145,997	,000
Kesişim	3147540,500	1	3147540,500	5374,287	,000
GRUP1	49813,000	2	24906,500	42,527	,000
GRUP2	363804,500	1	363804,500	621,180	,000
GRUP1 * GRUP2	13909,000	2	6954,500	11,875	,001
Hata	7028,000	12	585,667		
Toplam	3582095,000	18			
Düzeltilmiş Toplam	434554,500	17			

a $R^2 = ,984$

4.4.12. Yaz Mevsimi Kurutma Sistemleri Verimlerine İlişkin ANOVA Sonuçları

Yaz (Temmuz-Ağustos) mevsimi için başlangıç, 10. gün ve 13. gün arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). Farklılığın hangi zamandan kaynaklandığı incelendiğinde bütün zamanlar arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılık bulunmuştur ($p < 0,001$). Zamanlar ile sistemler arasındaki etkileşim istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$).

Çizelge 4.14. Yaz mevsimi kurutma sistemleri verimlerine ilişkin ANOVA sonuçları

Varyansın Kaynağı		Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
FACTOR1	Sphericity Assumed	23942,650	2	11971,325	63418,638	,000
	Greenhouse-Geisser	23942,650	1,704	14050,357	63418,638	,000
	Huynh-Feldt	23942,650	2,000	11971,325	63418,638	,000
	Lower-bound	23942,650	1,000	23942,650	63418,638	,000
FACTOR1 * GRUP	Sphericity Assumed	674,632	4	168,658	893,474	,000
	Greenhouse-Geisser	674,632	3,408	197,949	893,474	,000
	Huynh-Feldt	674,632	4,000	168,658	893,474	,000
	Lower-bound	674,632	2,000	337,316	893,474	,000
Error(FACTOR1)	Sphericity Assumed	2,265	12	,189		
	Greenhouse-Geisser	2,265	10,224	,222		
	Huynh-Feldt	2,265	12,000	,189		
	Lower-bound	2,265	6,000	,378		

Yaz mevsimi (Temmuz-Ağustos) için başlangıç, 10. gün ve 13. günde elde edilen katı madde değerleri bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında fark vardır ($p < 0,001$).

Çizelge 4.15. Yaz mevsimi katı madde değerlerine ilişkin ANOVA sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Kesişim	102486,387	1	102486,387	329502,904	,000
GRUP	1221,258	2	610,629	1963,226	,000
Hata	1,866	6	,311		

4.4.13. Kış Mevsimi Kurutma Sistemleri Verimlerine İlişkin ANOVA Sonuçları

Kış (Aralık-Ocak) mevsimi için başlangıç, 10. gün, 20. gün ve 30.gün arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p < 0,001$). Farklılığın hangi zamandan kaynaklandığı incelendiğinde bütün zamanlar arasında istatistiksel olarak

anlamli derecede farklılık bulunmuştur ($p < 0,001$). Zamanlar ile sistemler arasındaki etkileşim istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$).

Çizelge 4.16. Kış mevsimi kurutma sistemleri verimlerine ilişkin ANOVA sonuçları

Varyansın Kaynağı		Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
FACTOR1	Sphericity Assumed	9219,135	3	3073,045	5006,771	,000
	Greenhouse-Geisser	9219,135	1,941	4749,217	5006,771	,000
	Huynh-Feldt	9219,135	3,000	3073,045	5006,771	,000
	Lower-bound	9219,135	1,000	9219,135	5006,771	,000
FACTOR1 * GRUP	Sphericity Assumed	4374,401	6	729,067	1187,835	,000
	Greenhouse-Geisser	4374,401	3,882	1126,731	1187,835	,000
	Huynh-Feldt	4374,401	6,000	729,067	1187,835	,000
	Lower-bound	4374,401	2,000	2187,200	1187,835	,000
Error(FACTOR1)	Sphericity Assumed	11,048	18	,614		
	Greenhouse-Geisser	11,048	11,647	,949		
	Huynh-Feldt	11,048	18,000	,614		
	Lower-bound	11,048	6,000	1,841		

Kış (Aralık-Ocak) mevsimi için başlangıç, 10. gün, 20.gün ve 30.günde elde edilen ölçüm değerleri bakımından Güneş İzleme Sistemi, Sabit Sistem ve Açık Sistem arasında fark vardır ($p < 0,001$).

Çizelge 4.17. Kış mevsimi katı madde değerlerine ilişkin ANOVA sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	p
Kesişim	51578,952	1	51578,952	142891,178	,000
GRUP	5917,172	2	2958,586	8196,287	,000
Hata	2,166	6	,361		

4.5. MALİYET ANALİZİ

Bu çalışmada, Tarsus Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisi (TBAAT) çamurlarının Güneş İzleme Sistemi ile kurutulması araştırılmıştır. Tasarlanan ve uygulaması yapılan sistemin sağladığı fayda ve ekonomik açıdan öndeliğini irdelemek gelecek çalışmalara yol göstermesini sağlayacaktır.

Çizelge 4.18. Kullanılan güneş kollektörü özellikleri

Kollektör brüt alanı	1,84 m ²
Kollektör cam alanı	1,71 m ²
Kollektör cam sayısı	1 adet
Isı transfer akışkan türü	Su
Akışkan debisi	0,0305 kg/s
Ortalama giriş suyu sıcaklığı	27,5 °C
Ortalama çıkış suyu sıcaklığı	68,00 °C

Yaz kurutma döneminde Temmuz ayında Güneş İzleme Sisteminden elde edilen enerjiyle ısıtılan suyun, kurutma tavaasına giriş sıcaklığı ortalama 68 °C olarak ölçülmüştür. Güneş İzleme Sisteminde yer alan soğuk su deposuna giren suyun ortalama sıcaklığı ise 27,5 °C olarak ölçülmüştür.

Sistemden ortalama 68 °C elde etmek için gerekli enerji miktarı, Q_{su} ; [59]

$$Q_{su} = m_{su} * c_{p,su} * (T_g - T_ç) \quad (4.1)$$

m_{su} ; sıcak su panellerinde günlük olarak dolaştırılan su miktarı, kg

$c_{p,su}$; suyun özgül ısısı

T_g ; Depo çıkış suyu sıcaklığı

$T_ç$; Depoya dönen su sıcaklığı

$$Q_{su} = 880 \text{ kg} * 4,186 \text{ kJ/kg-}^\circ\text{C} * (68,00-27,5) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{su} = 149189,04 \text{ kJ} \quad ; \quad 3600 \text{ kJ} = 1 \text{ kwh}$$

$$Q_{su} = 41,44 \text{ kwh}$$

Kullanım tankından olan kayıp enerji miktarı, Q_K ;

Kullanım tankı alanı, A ;

$$A = \pi \cdot D \cdot H = 3,14 * 0,50 * 1,02 = 1,60 \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

D ; Sıcak su tankı çapı,

H ; Sıcak su tankı yüksekliği

$$Q_K = U * A * (T_G - T_C) \quad (4.3)$$

U ; Sıcak su tankı için ısı kayıp katsayısı $W/ m^2 \cdot ^\circ C$; 0,62

A ; Tank alanı, m^2

$$Q_K = 0,62 * 1,60 * (68,00 - 27,5)$$

$$Q_K = 40,17 \text{ W} = 0,04017 \text{ kWh}$$

Toplam ısı yükü, Q_{TOP} ;

$$Q_{TOP} = Q_{su} + Q_K = 41,48 \text{ kWh} \quad (4.4)$$

Yaz dönemi Temmuz ayında Güneş İzleme Sistemi ile 12 saat verim alınabilmektedir.

$$41,48 \text{ kWh} * 12 \text{ saat} = 497,76 \text{ kW}$$

Aylık enerji üretimi;

$$497,76 \text{ kW} * 30 \text{ gün} = 14.932,80 \text{ kW}$$

$$\text{GİS enerji üretim bedeli} = 14.932,80 \text{ kW} * 0,163 \text{ TL/kW} = 2.434 \text{ TL}$$

Güneş İzleme Sistemi İşletme Gideri;

Hareket ve kontrol ekipmanları için harcanan elektrik sarfiyatı;

Motor-redüktör ; 0,18 kWh

İnverter ; 1,50 kWh

Tavan vantilatörü ; 75,00 W

Duvar fanı ; 60,00 W

Sirkülasyon pompası ; 110,00 W

Sıcak hava iletim fanı ; 75,00 W

Ekipman elektrik sarfiyatı ; yaklaşık 2,00 kWh

Sistem ekipmanları 24 saat çalışmaktadır. Günlük sarfiyat;

$$2,00 \text{ kWh} * 24 \text{ h} = 48 \text{ kWh}$$

$$\text{GİS aylık enerji tüketim bedeli} = 48,00 \text{ kWh} * 0.163 \text{ TL/kWh} * 30 = 240,00 \text{ TL}$$

Sistem net enerji üretim kazancı;

$$= \text{Enerji Üretim Bedeli} - \text{Enerji Tüketim Bedeli}$$

$$= 2.434,00 \text{ TL} - 240,00 \text{ TL}$$

$$= 2.194,00 \text{ TL}$$

$$\text{GİS yatırım maliyeti} = 7.000 \text{ TL}$$

Bu şartlarda kazanılan enerji karşılığında, Güneş İzleme Sisteminde yaklaşık 3,5 ay işletildikten sonra, toplam yatırım maliyetinin karşılandığı görülmektedir.

Kış kurutma döneminde Aralık ayında Güneş İzleme Sisteminden elde edilen enerjiyle ısıtılan suyun, kurutma tavasına giriş sıcaklığı ortalama 52,00 °C olarak ölçülmüştür. Güneş İzleme Sisteminde yer alan soğuk su deposuna giren suyun ortalama sıcaklığı ise 17,70°C olarak ölçülmüştür.

Sistemden Aralık-Ocak aylarında ortalama 52 °C elde etmek için gerekli enerji miktarı, Q_{su}

$$Q_{su} = m_{su} * c_{p,su} * (T_g - T_{\phi})$$

$$Q_{su} = 880,00 \text{ kg} * 4.186 \text{ kJ/kg-}^{\circ}\text{C} * (52,00 - 17,70) ^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{su} = 114863,84 \text{ kJ} \quad ; \quad 3600 \text{ kJ} = 1 \text{ kWh}$$

$$Q_{su} = 31,90 \text{ kWh}$$

Kullanım tankından olan kayıp enerji miktarı, Q_K ;

$$A = \pi \cdot D \cdot H = 3,14 * 0,50 * 1,02 = 1,60 \text{ m}^2$$

$$Q_K = U * A * (T_G - T_C)$$

$$Q_K = 0,62 * 1,60 * (52,00 - 17,70)$$

$$Q_K = 30,02 \text{ W} = 0,034 \text{ kW}$$

Toplam ısı yükü, Q_{TOP} ;

$$Q_{TOP} = Q_{su} + Q_K = 32,00 \text{ kWh}$$

Yaz dönemi Temmuz ayında Güneş İzleme Sistemi ile 8 saat verim alınabilmektedir.

$$32,00 \text{ kWh} * 8 \text{ saat} = 256,00 \text{ kW}$$

Aylık enerji üretimi;

$$256,00 \text{ kW} * 30 \text{ gün} = 7,680 \text{ kW}$$

$$\text{GİS aylık enerji üretim bedeli } 7,680 \text{ kW} * 0,163 \text{ TL/kW} = 1.252 \text{ TL}$$

Güneş İzleme Sistemi İşletme Gideri;

Ekipman elektrik sarfiyatı ; yaklaşık 2,00 kW h

Sistem ekipmanları 24 saat çalışmaktadır;

$$2,00 \text{ kWh} * 24 \text{ h} = 48,00 \text{ kW}$$

$$\text{GİS aylık enerji tüketim bedeli} = 48,00 \text{ kW} * 0.163 \text{ TL/kW} * 30 = 24,00 \text{ TL}$$

Sistem net enerji üretim kazancı;

$$\begin{aligned} &= \text{Enerji Üretim Bedeli} - \text{Enerji Tüketim Bedeli} \\ &= 1.252 \text{ TL} - 240,00 \text{ TL} \\ &= 1.012 \text{ TL} \end{aligned}$$

GİS yatırım maliyeti = 7.000 TL

Kış mevsimi (Aralık-Ocak) şartlarında kazanılan enerji karşılığında, Güneş İzleme Sistemi yaklaşık 7 ay işletildikten sonra toplam yatırım maliyetinin karşılandığı görülmektedir.

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, Tarsus Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi mekanik susuzlaştırma ünitesinden alınan arıtma çamurlarının kurutulmasında Güneş İzleme Sisteminin verimi araştırılmıştır. Çalışmalar sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Temmuz-Ağustos döneminde, Kapalı Sera içerisinde, ortalama 25 cm kalınlıkta serilen 2 ton arıtma çamurunu kurutmak için 8,00 m² lik alana ihtiyaç vardır. Temmuz-Ağustos aylarında bu alana serilen % 20,00 katı madde içeriğe sahip olan arıtma çamurlarına kurutma sistemlerinde uygulanan yöntemler sonucu değişimler Çizelge 5.1 'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Temmuz-Ağustos yaz dönemi kurutma verimlerinin karşılaştırılması

Zaman	Parametre	Kurutma Sistemi		
		GİS	SS	AS
Başlangıç	pH	7,03	7,54	7,62
	Max Sıcaklık	38,60	39,60	35,2
	Min Sıcaklık	28,60	25,60	22,6
	%KM	20,00	20,00	20,00
10.Gün	pH	7,99	7,94	7,91
	Max Sıcaklık	62,80	56,70	36,30
	Min Sıcaklık	34,80	33,40	24,90
	%KM	91,38	76,61	62,39
13.Gün	pH	7,66	7,83	7,80
	Max Sıcaklık	64,30	61,40	37,70
	Min Sıcaklık	41,20	36,70	24,10
	%KM	99,17	86,06	78,88

Arıtma çamurlarının susuzlaştırılmasında katı madde içeriği dikkate alındığında Kapalı Seralarda Güneş İzleme Sistemi ile kurutulmasının Açık

Sistemlere göre daha verimli olduğu görülmüştür. Güneş enerjisi yardımıyla yapılacak olan kurutma uygulamalarında ise Güneş İzleme Sisteminin, Sabit Sisteme göre çamurda oluşan katı madde içeriğindeki değişimler göz önüne alındığında, yüksek susuzlaştırma ve kurutma veriminin sağlanmış olması, atık su arıtma tesislerinin işletilmesinde önemli maliyet payı bulunan çamur bertaraf ve depolama maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir.

Çamur kurutma tavalara yoğunluğu yaklaşık 1ton/m³ olan çamurdan 2 ton çamur yerleştirilmiştir. Sistemlere yerleştirilen çamur numunelerinin toplam kütle bileşimi %20,00 KM içeren çamurda 1600 kg su, 400 kg KM içermektedir. 13 kurutma günü sonunda Güneş İzleme Sistemi ile kurutularak %99,17 katı madde derişimine ulaşan çamur kütesinden 1596,66 kg su uzaklaştırılmıştır. Sabit Sistemde %20,00 KM içeren 2000 kg sulu çamur kütesinden 13. Gün sonunda 1535,21 kg su uzaklaştırılmıştır. Açık Sistemde ise yine %20,00 KM içeren 2000 kg sulu çamurdan 13. kurutma günü sonunda 1492,90 kg su uzaklaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre arıtma çamurlarının yaz mevsiminde Güneş enerjisiyle kurutulması için gerekli sürenin 10 gün yeterli olduğunu göstermektedir [60]. Kurutma işlemleri sırasında karıştırma işlemleri elle yapılmıştır. Yapılan gözlemlerde elle yapılan karıştırma ile karıştırma periyotları arasında uzun süre olması nedeniyle alttan ısınan çamur kütesinden uzaklaştırılacak su buharının tahliyesi de gecikmekte, bu durum kurutma süresini uzatarak verimi düşürmektedir. Kurutma süresinin düşürülmesi açısından tasarlanan sistemlere otomatik bir karıştırma sistemi dahil edilmesiyle bu sürenin daha aşağılara çekilebileceğini göstermektedir.

İç ortam sıcaklığının sürekli artması ve çamurun sıcak nemli hava ile teması sonucunda özellikle yaz aylarında koku ve sinek problemi kendini göstermiştir. Bu durumda çamur pH'sını 12 ve üzerinde tutarak mikroorganizma faaliyetlerinin durdurulması amacıyla kontrollü olarak kireç ilavesi yapılması gerekmektedir. Ayrıca arıtma çamurlarının mikrobiyal analizlerin de yapılarak

İlgili standartlara uygun olup olmadığının belirlenmesi, arıtma çamurlarının değerlendirilmesinden önce üzerinde durulması gereken bir parametredir.

Aralık-Ocak döneminde, Kapalı Sera içerisinde, 8,00 m² lik alanda kurutma tavaasına 25-30 cm kalınlıkla yerleştirilen % 19,60 katı madde içeriğe sahip olan arıtma çamurlarına kurutma sistemlerinde uygulanan yöntemler sonucu değişimler Çizelge 5.2 'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Aralık-Ocak kış dönemi kurutma verimlerinin karşılaştırılması

Zaman	Parametre	Kurutma Sistemi		
		GİS	SS	AS
Başlangıç	pH	7,17	7,32	7,33
	Max Sıcaklık	28,80	27,90	18,00
	Min Sıcaklık	17,60	19,50	8,90
	%KM	19,60	19,60	19,60
10.Gün	pH	7,20	7,38	7,40
	Max Sıcaklık	38,70	39,70	26,60
	Min Sıcaklık	25,30	23,70	8,30
	%KM	36,54	27,01	15,6
20.Gün	pH	7,43	7,38	7,52
	Max Sıcaklık	47,8	42,5	20,1
	Min Sıcaklık	29,00	26,3	7,00
	%KM	56,07	52,45	26,64
30.Gün	pH	6,93	7,12	7,05
	Max Sıcaklık	54,00	40,0	20,80
	Min Sıcaklık	30,50	27,60	12,20
	%KM	88,67	74,82	18,65

Aralık-Ocak kış döneminde ise güneşlenme süresinin düşmesine bağlı olarak güneş enerjisinden yararlanma veriminde katı madde değişimi dikkate alındığında Güneş İzleme ve Sabit Sistem verimi arasında %14 gibi bir fark

görülmüştür. Fakat Çizelge 5.2' de görüldüğü gibi başlangıçta %19,60 KM içeren çamurun Açık Sistemde 20 gün kurutulması sonucunda KM içeriği %26,64'e kadar yükselirken, 30. Gün sonunda yağışların da etkisiyle % 18,65 KM'ye düşerek başlangıç KM değerinin altında olduğu görülmüştür.

Aralık-Ocak kurutma döneminde çamur kurutma tavalarına yoğunluğu yaklaşık 1ton/m³ olan çamurdan 2 ton çamur yerleştirilmiştir. Sistemlere yerleştirilen çamur numunelerinin toplam kütle bileşimi %19,60 KM içeren çamurda 1608,00 kg su, 392,00 kg KM içermektedir. 30 kurutma gün Güneş İzleme Sistemi ile kurutularak %88,67 KM derişimine ulaşan çamur kütlelerinden 1558,00 kg su uzaklaştırılmıştır. Sabit Sistemde %19,60 KM içeren 2000,00 kg sulu çamur kütlelerinden 30 gün sonunda 1476,08 kg su uzaklaştırılmıştır. Açık sistemde ise başlangıçta %19,6 KM içeren 2000,00 kg sulu çamur yağışlardan gelen 101,87 kg su ilavesiyle 30 gün sonunda %18,65 KM içeriğinde olduğu tespit edilmiştir.

Yaz ve kış mevsim şartları ve elde edilen verimler birlikte düşünüldüğünde yıl boyunca Güneş İzleme Sistemi ile güneşten yararlanma değeri günlük 10 saat ve ortalama enerji yükü 37 kWh hesaplanmıştır. Bu durumda sistem yatırım maliyetinin geri ödeme süresi yaklaşık olarak 4-5 ay görülmektedir.

Tasarlanan Kapalı Sera Sistemlerinin en azından yağışlardan kaynaklı katı madde içeriğindeki düşüşleri bertaraf ettiği açıkça görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında yaz mevsiminde yüksek kurutma sağlanan bu tesisler, kurutmanın 20 gün gibi uzun süre alması nedeniyle diğer bir alternatif olarak kış mevsiminde küçük ve orta ölçekli atık su arıtma tesislerinde kompost tesisine dönüştürülerek fayda sağlanabilir.

Kurutma sistemlerinde çamurun serilmesi ve kaldırılması sırasında sıcak su iletim panellerinin tabana döşenmiş olması nedeniyle arızalar yaşanmıştır. Bu arızaların önüne geçilmesi ve daha etkin kurutmanın yapılması için çamur serme, karıştırma ve kaldırma işlemlerinde otomatik karıştırma sisteminin yanında, çamur serme ve kaldırma işlemlerinde yine otomatik sistemlerin kullanılması önerilebilir.

Güneş İzleme veya Sabit Sistemde kurutulan çamur toz durumuna dönüştüğü için otomatik sıyırıcı tipi sistemle kuruyan çamur kaldırılabilir. Çamur serme işlemlerinde, sanayide yaygın olarak kullanılan tavana bağlı otomatik olarak kontrol edilebilecek bir vinç sistemiyle çamur su dolaşım panellerine zarar vermeyecek bir sistem önerilebilir.

Arıtma çamurlarının değerlendirilmesi ve bertarafında çamur katı madde içeriğinin arttırılarak, çamurun stabil bir forma kavuşturulmasıyla birlikte ciddi bir sorun olan arıtma çamurlarının atık sınıfından çıkarılarak faydalı bir ürüne dönüştürülmesi yanında çevre ve insan sağlığının tehdit edici unsurların yok edilmesi açısından önemlidir. Çamur katı madde içeriğindeki artış çamurun taşınması ve depolanması sırasında hacim azalması nedeniyle , bu işlemler sırasında oluşabilecek yüksek maliyetleri de bertaraf etmektedir. Yeterli alan ihtiyacının karşılanması durumunda Güneş İzleme Sistemiyle yapılacak olan çamur kurutma işlemleri daha kısa sürelerde gerçekleştirilerek, arıtma çamuru kaynaklı koku, sinek oluşumu vb. önemli çevre problemleri de beraberinde ortadan kaldırılmış olacaktır.

Bu katkının yanında sürdürülebilir çevre anlayışı gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre yatırımlarında kullanılması da diğer dikkat çekici noktadır. Ülkemizde son yıllarda artan arıtma çamurlarıyla birlikte arıtma çamurlarının bertaraf maliyetleri de gündeme gelmektedir. Arıtma çamurlarının bertaraf edilmesinde kullanılan yöntem ve işlemlerinde yüksek enerji maliyetinin, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla azaltılması ülke ekonomisine yeni bir katkı yapacağı şüphesizdir.

KAYNAKLAR

- [1] Akyol, A., “Arıtma Çamuru Flok Ayırıştırma Mekanizmalarının Çamur Su Verme Özellikleri Üzerine Etkisi: Enzimlerle Arıtım Yöntemi”, Su Kirlenmesi Kontrolü, İTÜ Dergisi,17(1): 15–24, (2007).
- [2] Öbek, E., Tatar, S. Y., Hasar, H., Arslan, E. I., İpek, U. “Kentsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Değerlendirilmesi”, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 16 (1):31-38, (2004).
- [3] Kocaer, F.O., Kemiksiz, A., Başkaya, H.S. “Arıtma Çamuru Uygulanmış Bir Topraktaki Organik Azotun Mineralizasyonu Üzerine Bir Araştırma”, Ekoloji Dergisi, 12(46): 12-16,(2003).
- [4] Yükseler, H., Yetiş,Ü., Tosun, İ., “Çamur Susuzlaştırılması”, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 201-210, (2005).
- [5] U.S.E.P.A., “Dewatering Municipal Wastewater Sludges”, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research And Development, EPA625/1-93/014, (1987).
- [6] Bux, M., Baumann, R., Quadt, S., Pinnekamp J., Mühlbauer W., “Volume Reduction And Biological Stabilization Of Sludge İn Small Sewage Plants By Solar Drying”, Drying Technology, 20: 829–837, (2002).
- [7] Kürklü, A., Bilgin, S., Özkan, B., “A Study on the Solar Energy Storing Rock-Bed to Heat a Polyethylene Tunnel Type Greenhouse”, Renewable Energy, 28: 683–97, (2003).

- [8] Ekechukwu, O.V., Norton, B., “Review of Solar Energy Drying Systems II: An Overview of Solar Drying Technology”, *Energy Conversion and Management*, 40: 615–55,(1999).
- [9] Luboschik, U., “Solar Sludge Drying-Based on the IST Process” *Renewable Energy*, 16: 785– 798, (1999).
- [10] Haralambopoulos, D.A., Biskos, G., Halvadakis, C., Lekkas, T.D., “Dewatering of Wastewater Sludge Through A Solar Stil”, *Renewable Energy*, 26: 247–56, (2002).
- [11] Bux, M., Baumann, R., Quadt, S., Pinnekamp J,Mühlbauer W., “Volume Reduction And Biological Stabilization of Sludge in Small Sewage Plants by Solar Drying”, *Drying Technology*, 20: 829–37, (2002).
- [12] Kürklü, A., Bilgin, S. “Antalya’nın Güneş Enerjisi Potansiyeli”, *Alman-Türk Madde Akımı ve Yönetimi, İklim Koruma ve Sürdürülebilir Gelişme Konferansı, Antalya, (2006).*
- [13] Küçükhemek, M., Gür, K., Uyanöz, R., Çetin,Ü., “Arıtma Çamuru ve Çiftlik Gübresinin Çim Bitkisi Verimine ve Renk Özelliğine Etkisi”, *I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu(AÇS2005), Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir, (2005).*
- [14] Filibeli, A., “Arıtma Çamuru Tanımı ve Çamur Kaynakları”, *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir,1-25 (1998).*
- [15] Toprak, H., “Çamurların Susuzlaştırılması”, *Çevre Mühendisliği Uygulamaları, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara, 153 – 160, (2002).*

- [16] Aydın, S., Güneysu, S., Arayıcı, S., “Evsel ve Endüstriyel Arıtma Çamurları Pirolyzi ve Yeniden Kullanım Olanakları”, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir, (2005).
- [17] Arıkan, A.O., Öztürk, İ., “Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Evsel Katı Atık İlavesinin Etkisi”, İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 4(1):15-24, (2005).
- [18] Land Application of Biosolids., Process Design Manual U.S.E.P.A., Cincinnati, Ohio, (1994).
- [19] Steffen H., “Evsel Atıksu Nitelikli Arıtma Tesisleri Atıklarının İşlenmesine Ait Tasarımlar”, Su ve Atıksular Sempozyumu, Ankara, (1995).
- [20] <http://web.deu.edu.tr/atıksu/ana52/camurana1.html> (27.05.2011)
- [21] <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc87.html> (27.05.2011)
- [22] ÇOB, Treatment of The Sludge Resulting From Treating Domestic Waste Water, Çevre ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi, www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/evsel/13.doc (12.07.2011)
- [23] Angın, İ., “Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Toprak Düzenleyicisi Olarak Kullanımı”, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s:18, (2008).
- [24] Filibeli, A. “Arıtma Çamuru Tanımı ve Çamur Kaynakları”, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir,1-25, (1998).

- [25] Steffen, H., “Evsel Atıksu Nitelikli Arıtma Tesisleri Atıklarının İşlenmesine Ait Tasarılar”, Su ve Atıksular Ekonomisi Sempozyumu, Ankara, 24 – 29(1995).
- [26] Ayvaz, Z., “Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi”, ÇEV-KOR Dergisi ,9(35):3-12(2000).
- [27] Ayol, A., “Arıtma Çamuru Flok Ayırıştırma Mekanizmalarının Çamur Su Verme Özellikleri Üzerine Etkisi: Enzimlerle Arıtım Yöntemi”, İTÜ Dergisi, Su Kirlenmesi Kontrolü,17(3):13-42,(2007).
- [28] Morgül, A., “Çeşitli Sektörlere Ait Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyonu”, Gebze Yüksek Teknolojisi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,11s., (2007)
- [29] Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U., “Atıksu Arıtımının Esasları Kılavuzu, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü”, Çevre ve Orman Bakanlığı,(2005).
- [30] Metcalf and Eddy, “Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse”, Mcgraw-Hill International Editions, 2nd Ed.,(1991).
- [31] Arıkan, O.A., Öztürk, İ., “Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Evsel Katı Atık İlavesinin Etkisi”, İTÜ Dergisi, 14(1):15-24,(2005).
- [32] Dölgen, D., Alpaslan,M,N., Özkan,B., Delen,N., “Bitki İşleme Tesisi Arıtma Çamurunun Tarımsal Amaçlı Geri Kullanımı”, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 611-617,İzmir,(2007).

- [33] Aksu, T., “Isparta Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Bertaraf Stratejilerinin Belirlenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 17s., (2008)
- [34] Toraman, Ö., Y., Topal, H., “Katı Atık ve Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesinde Alternatif Termal Teknolojiler ve Uygulamaları”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1):19-33, (2003).
- [35] Çimrin, K. M., Bozkurt, M.A., Erdal, İ., “Kentsel Arıtma Çamurunun Tarımda Fosfor Kaynağı Olarak Kullanılması”, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 10(1): 85-90, (2000).
- [36] Ünal, M., Katkat, A.V., “Bisküvi ve Şekerleme Sanayii Arıtma Çamurunun Toprak Özelliklerine ve Mısır Bitkisinin Kimi Mineral Madde İçeriği Üzerine Etkileri”, Uludağ Üniversitesi Zir. Fak. Dergisi, 17(1): 107–118, (2003).
- [37] Kocaer, F.O., Kemiksiz, A., Başkaya, H.S., “Arıtma Çamuru Uygulanmış Bir Topraktaki Organik Azotun Mineralizasyonu Üzerine Bir Araştırma”, ÇEV-KOR Dergisi, 12(46):12-16, (2003).
- [38] Önal, M.K., Topçuoğlu, Ö., Arı, A., “Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi, I. Gelişme ve Meyve Özellikleri İle Meyvede Mineral İçerikleri”, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1), 97–106, (2003).
- [39] Yakupoğlu, T., Özdemir, N., "Erozyona Uğramış Topraklara Uygulanan Arıtma Çamuru ve Çay Endüstrisi Atığının Toprakların Mikro Element İçeriklerine Etkileri, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(2): 207–213, (2007).

[40] Dölgen, D., Alpaslan, M.N., Özkan, B., Delen, Nafiz., “Bitki İşleme Tesisi Arıtma Çamurunun Tarımsal Amaçlı Geri Kullanımı”, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji, İzmir,(2007).

[41] Tüfekçi S., Gülbaba, A. G., Tokgönül, F., “Tarsus Eysel Arıtma Çamurunun Okaliptüs ve Kızılcım Fidanları Üretiminde Kullanılması”, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın No:368,Çevre ve Orman Bakanlığı Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayın No:49,(2008).

[42] Angın, İ., Yağanoğlu, A.V., “Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Toprak Düzenleyicisi Olarak Kullanımı”, Çev-Kor Dergisi, Ekoloji 19(73): 39-47,(2009).

[43] Arıkan, A.O., Öztürk, İ., “Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Eysel Katı Atık İlavesinin Etkisi”, İstanbul Teknik Üniveritesi Dergisi/D Mühendislik, 4(1):15-24,(2005).

[44] Çelik, İ.B., Öner, M., “Atık Su Arıtma Filtre Kekinin Çimentoda Kullanımı”, Madencilik Dergisi, 42(2):11-18(2003).

[45] Veeresh, H., Tripathy, S., Chaudhuri, D., Ghosh, B.C., Hart, B.R. and Powell, M.A., “Changes In Physical and Chemical Properties of Three Soil Types In India as a Result of Amendment with Fly Ash and Sewage Sludge”, Environmental Geology, 43: 513-520,(2003).

[46] Hernández-Apaolaza, L., Gascó, A.M., Gascó, J.M., Guerrero, F., “ Reuse of Waste Materials as Growing Media for Ornamental Plants”, Bioresource Technology, 96 (1): 125-131, (2005).

[47] Mantovi, P., Baldoni, G., Toderi, G., “Reuse of Liquid, Dewatered, and Composted Sewage Sludge On Agricultural Land: Effects of Long-Term Application on Soil and Crop. Water Research”, 39: 289-296,(2005).

- [48] Canbolat, M.Y., Hanay, A., Anapalı, Ö., “ Aralık İlçesi Rüzgar Erozyon Alanı Sorunlu Topraklarına Organik Atık Materyal Uygulamasının Etkileri”, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(3): 448-460,(1996).
- [49] Ojeda, G., Alcañiz, J.M., Ortiz, O., “Runoff and Losses By Erosion in Soils Amended with Sewage Sludge. Land Degrad. Develop., 14: 563-573,(2003).
- [50] Bux, M., Baumann, R., Philipp, W., Conrad, T., Mulhlbauer, W. “Class A By Solar Drying Recent Experiences in Europe”, Proceedings of Water Environment Federation, Atalanta, (2001).
- [51] Mehrdadi, N., Joshi, S. G., Nasrabadi, T., Hoveidi, H. “Aplication of Solar Energy For Drying of Sludge From Pharmaceutical Industrial Waste Water and Probable Reuse”, Graduate Faculty Of Environment University of Tehran International, Journal of Environmental, (1): 42-48, ISSN: 1735-6865,(2007).
<http://www.bioline.org.br/pdf?er07007> (28.09.2011)
- [52] Horn, S., Barr, K., Mclellan, J., Bux, M., “Accelerated Air Drying of Sewage Sludge Using A Climate-Controlled Solar Drying Hall”, Brisbane Water and University of Hohenheim, Stuttgart
http://www.localgovernment.qld.gov.au/docs/local_govt/grants_subsidies/funding/awtt/solar_drying_hall_project_results_pt2.pdf (08.03.2011)
- [53] Salihoğlu, N.K., Pınarlı, V., “Atıksu Arıtma Çamurlarının Kapalı Yataklarda Güneş Enerjisiyle Kurutulması”, Su Kirlenmesi Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 17 (1): 3-14, (2007).

[54] Topaç, F.O., Alkan,U., Salihoğlu, N.K., Birden, B., “Açık ve Kapalı Çamur Kurutma Yataklarındaki Toplam Koliform ve Hetetrofik Bakteri Sayılarının Değişimi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13: (2), 111-117, (2008).

[55] APHA, AWWA, WEF, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 21st Edt., American Public Health Association, Washington DC,(2005).

[56] <http://www.hach-lange.com.tr/countrysites/TOKEN/ygi2kZljYvb1CUY3J-Nh6TdYnQ/M/QFx5Jw> (27.04.2010)

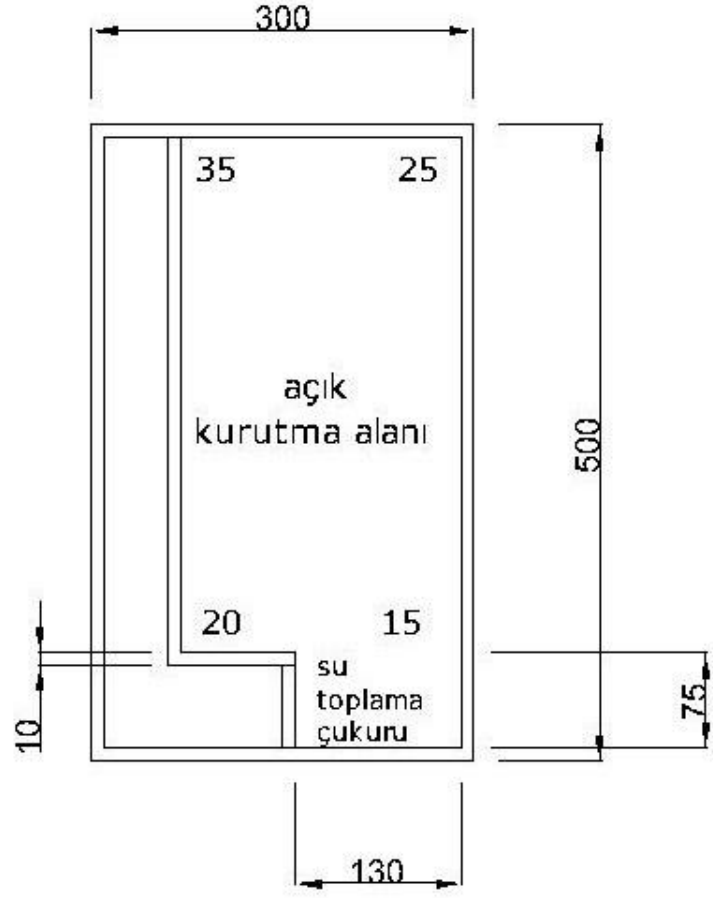
http://www.hachlange.co.uk/shop/action_q/download%3Bdocument/DOK_ID/14782193/type/pdf/lkz/GB/spkz/en/TOKEN/wKtKXZ6GikPR6VYSqTQi-LxG-Q8/M/nuwFbg/DOC062.52.00269.Feb07.web.pdf (27.04.2010)

[57] <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc87.htm> (26.05.2011)

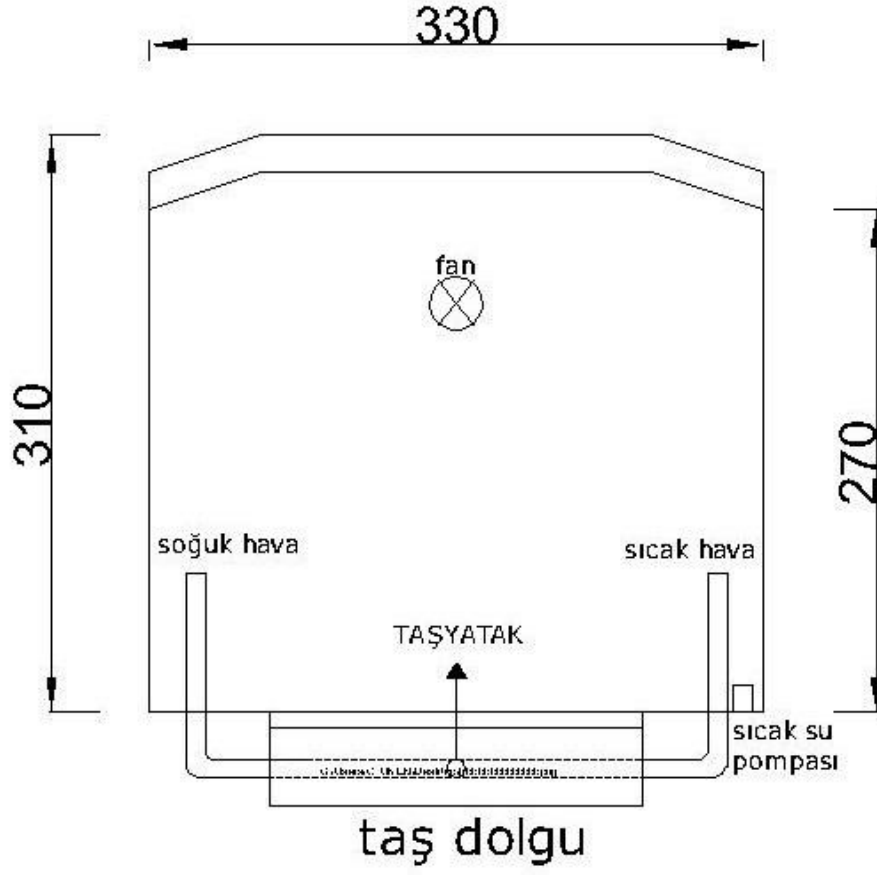
[58] 03.08.2010 tarih ve 27661 Resmi Gazete sayılı “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”, Çevre ve Orman Bakanlığı

[59] Ekmekçi, İ., Dizdar, H., Özçelebi, S., “Kocaeli İli İçin Bir Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi ve Boyutlandırılması”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s. 35-41, Kayseri (2001).

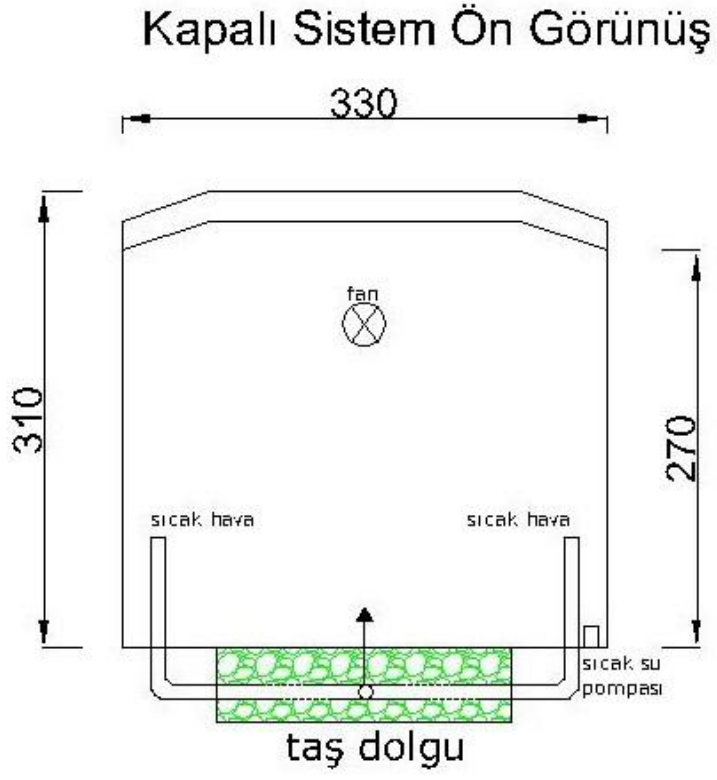
[60] <http://www.aettechnology.com.tr/tr/Camur-Kurutma-Sistemleri-Uzerine-Yapilan-Universite-Arastirmasi.pdf> (05.11.2011)

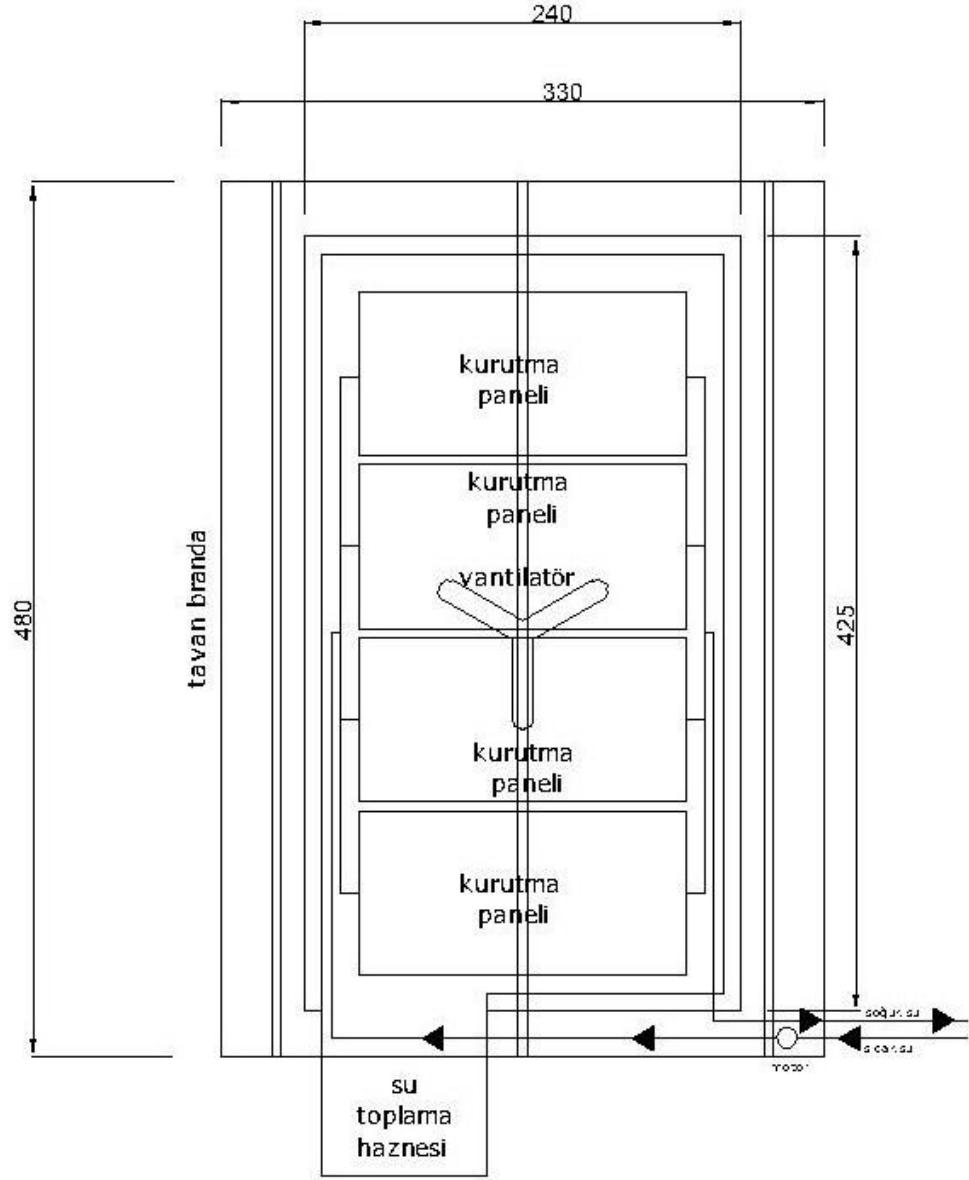


Açık Sistem Üst Görünüş

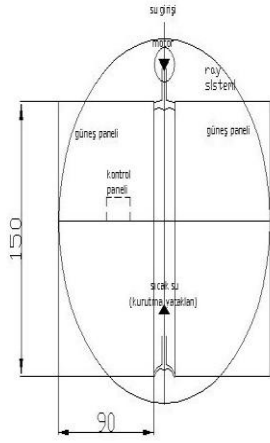


Kapalı Sistem Ön Görünüş

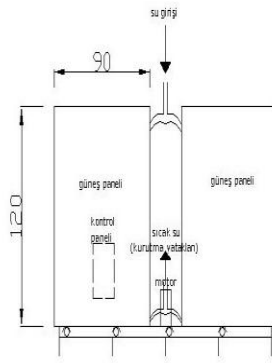




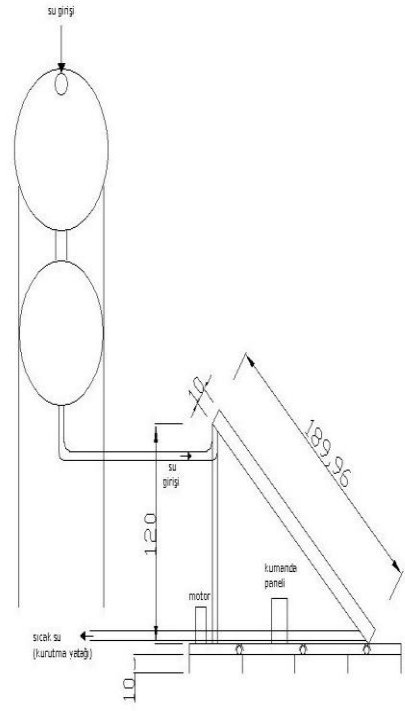
Kapalı Sistem Üst Görünüş



Enerji panel sistemi üst görünüş



Enerji panel sistemi ön görünüş



Enerji panel sistemi yan görünüş

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Erdem AKGÜL

Doğum Tarihi: 01/10/1985

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Lise/Üniversite	Yıl
Lise	Sayısal	Çankaya Seyranbağları Lisesi (Y.D.A)	1998-2002
Lisans	Çevre Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2003-2007
Yüksek Lisans	Çevre Mühendisliği A.B.D.	Mersin Üniversitesi	2007-2012

(Varsa) Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Çevre Mühendisi	Tarsus Belediyesi-Temizlik İşleri Müdürlüğü	2008-devam ediyor

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. -
2. -
3. -