



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ARITMA ÇAMURLARININ KURUTULMASI
İÇİN YOĞUNLAŞTIRMALI GÜNEŞ
KOLEKTÖRÜNÜN ÜRETİLMESİ

Mustafa İNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI


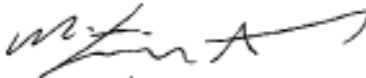
Mustafa İNAL tarafından hazırlanan "Arıtma Çamurlarının Kurutulması için Yoğunlaştırılmalı Güneş Kolektörünün Üretilmesi" adlı tez çalışması 05/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ~~ile~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Prof. Dr. Bilgehan NAS

Danışman
Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan GÖK

İmza




Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması S.Ö. BAP Koordinatörlüğü tarafından 18201041 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.



Mustafa İNAL

Tarih: 11.09.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARITMA ÇAMURLARININ KURUTULMASI İÇİN YOĞUNLAŞTIRMALI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN ÜRETİLMESİ

Mustafa İNAL

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

2019, 65 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN
Prof. Dr. Bilgehan NAS
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan GÖK

Aritma çamurları, su ile beraber organik ve inorganik katı maddeleri içeren konsantre atıklardır ve atıksu arıtma tesislerindeki ayırma işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Susuzlaştırma işlemlerinden sonra bile çamur içerisinde çok miktarda su bulunur. Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nde, santrifüj susuzlaştırma ünitesinden çıkan çamur kekinin su içeriği %78 ile %82 arasında değişmektedir. Çamurdaki bu yüksek su içeriği, nihai bertaraf veya faydalı kullanım alternatiflerinin uygulanmasında aşılması gereken bir sorundur. Yakmak, arazide depolamak veya gübre olarak kullanmak için çamurun katı madde içeriğini arttırmak gerekmektedir. Bu nedenle, kurutma bu faydalı kullanım veya bertaraf seçenekleri için gerekli bir işlemdir. Fosil yakıt ile çalışan termal kurutucular yüksek kurutma oranlarına ulaşabilir, ancak yüksek yatırım ve işletme maliyetleri bir dezavantajdır. Güneş enerjisinden faydalanmak için çamurun zemine ince bir tabaka halinde serildiği sera tipi kurutma tesisleri, nispeten düşük maliyetlidir ancak büyük alanlar gerektirir. Konsantre güneş enerjisi sistemleri bu sorunların üstesinden gelmek için umut vaat etmektedir. Parabolik oluk tipi kolektörler, yüksek sıcaklıklarda akışkanın ısıtılması, buhar gücü ile elektrik üretimi gibi endüstriyel uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yoğunlaşmış güneş enerjisi kullanılarak kurutmayı en az alanda yapabilmek amacıyla; parabolik kolektörün odak noktasında bulunan tüpten doğrudan çamur geçirilen bir düzenek kurulmuştur. Çamur metal boru içerisinde ısıtılırken, nem havalandırma yoluyla uzaklaştırılmıştır. Kurutma deneyleri sonbahar ve yaz aylarında Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nde yapılmıştır. Sonbahar mevsiminde, ortalama güneş ışınımının 882 W/m^2 ve çamur besleme hızının 33 g/dk olduğu bir günde; katı madde içeriği, %18'den %47'ye yükselmiştir. Radyasyon ve besleme hızının sırası ile 1047 W/m^2 ve 28.6 g/dk olduğu başka bir günde, katı madde içeriği %21'den %64'e yükselmiştir. Yaz mevsiminde ortalama güneş radyasyonunun 946 W/m^2 olduğu bir günde %20 KM içeren çamur, 5 saat sürede %96 KM içeriğine ulaşmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, güneş enerjisi, kurutma, parabolik oluk tipi güneş kolektörü

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCTION OF CONCENTRATED SOLAR COLLECTOR FOR DRYING TREATMENT SLUDES

Mustafa İNAL

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

2019, 65 Pages

Jury

Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

Prof. Dr. Bilgehan NAS

Asst. Prof. Dr. Oğuzhan GÖK

Treatment sludge are concentrated wastes including organic and inorganic solid matters with water and resulted from separation process of wastewater treatment plants. Although the sludge is separated from water by dewatering processes, it still contains a large amount of water. The water content of the sludge cake from the centrifugal dewatering unit varies between 82% and 78% in the Konya wastewater treatment plant. This high-water content in the sludge is a problem that needs to be overcome in the implementation of final disposal or reuse alternatives. It is necessary to increase the solid matter content of the sludge in order to burn, landfilling or to use as fertilizer. Therefore, drying is a mandatory process for these reuse or disposal options. Thermal dryers operated by fossil fuel could be achieve high drying rates, but its implementation and operational cost is disadvantage. Greenhouse type indoor or outdoor drying plants, where the sludge is laid on the floor in a thin layer to benefit from solar energy, have relatively low cost but requires large areas. Concentrated solar energy systems are promising alternative to overcome these problems. Parabolic trough types solar collectors where the heat generated at high temperatures is used for industrial application such as production of electricity by steam power. In this study, a mechanism of direct sludge passing through the tube located at the focal point of the parabolic collector was installed to concentrate solar energy on the lower area. The moisture was removed by means of ventilation while the sludge was heated in the metal tube. Drying experiment were carried out at Konya Wastewater Treatment Plant in autumn and summer season. The solid matter content increased from 18% to 47% on a day where the average solar radiation is 882 W/m² and the sludge flow rate of 33 g/min. On another day when the radiation and the flow rate were 1047 W/m² and 28.6 g/min, respectively, the solids content increased from 21% to 64%. In summer season, solid matter of raw sludge increased from 20% to 96% in 5 hours when the average solar radiation was 946 W/m².

Keywords: Drying, parabolic trough type solar collector, solar energy, treatment sludge

ÖNSÖZ

Tez projesi Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından maddi olarak desteklenmiş olup (Proje no:18201041), katkılarından dolayı BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Bana her zaman destek olan, bilimsel çalışmanın sabırla nasıl yürütüleceğini öğreten kıymetli hocam, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Mehmet Emin Argun'a şükranlarımı sunuyorum.

Tez projesi üzerine çalışmaları devam ettirirken, her zaman yanımda olarak bana yardımcı olan değerli dostum çevre mühendisi Zabit Özcan'a; hayatın yoğunluğu ve karmaşası arasında sabırla destek olan kıymetli eşim Hatice hanıma; kendisine ayırdığım zamandan feragat ettiğim kızım Zeynep Hicab'a teşekkür borçluyum.

Projenin hayata geçirilmesinde büyük katkısı olan, Biosan Kimya Elektronik Gıda San. Tic. Ltd. Şti. firma yetkilisi çevre mühendisi Abdurrahman Sezgin başta olmak üzere, tüm firma ortak ve çalışanlarına teşekkür ediyorum. Malzeme desteği vererek yardımcı olan, Solimpeks Solar Enerji firması çalışanı makine mühendisi Ahmet Azman beye ve firmaya teşekkürlerimi sunuyorum. Projenin denendiği Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nde numune almada, laboratuvar çalışmalarının yapılmasında destek olan tesis yetkili ve çalışanlarına; çevre mühendisi Dr. Serdar Koyuncu Bey'e, kimya mühendisi Sami Gazel Bey'e ve kimyager İsa Gül Bey'e şükranlarımı sunuyorum.

Çalıştığım firma olan İnbay Orm. Ür. San. Tic. Ltd. Şti firma ortağı babam Mehmet İnal Bey'e, yaşadığımız her türlü maddi ve manevi zorluklara rağmen tez projemi yapmamda bana imkân tanıdığı için minnettarım. Çalışmalarım esnasında, kanser hastalığı ortaya çıkarak uzun bir tedavi sürecinden sonra vefat eden annem Ayşe Hanım'a Allah'tan rahmet diliyorum.

Mustafa İNAL
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Arıtma Çamurları	1
1.1.1. Çamur oluşum ve arıtım süreçleri.....	1
1.1.2. Çamur susuzlaştırma ve bertaraf yöntemleri; kurutmanın önemi.....	2
1.1.3. Türkiye’de çamur yönetimi	3
1.2. Çamurların Kurutulması; Önemi, Yöntemleri ve Mevcut Durum.....	4
1.3. Kaynak Araştırması ve Önerilen Metot	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM	13
2.1. Kurutucu Deney Düzenegi Tasarım ve Üretim Aşaması.....	13
2.1.1. Parabolik reflektör yatağının tasarım ve üretimi	13
2.1.2. Parabolik reflektörün odağına yerleştirilen kurutucu tüpün üretimi.....	15
2.1.3. Parabolik reflektörün güneş takibi ve sistemin genel görünümü.....	18
2.2. Verilerin Toplanması ve Kurutucu Test Yöntemleri	20
2.2.1. Güneş radyasyonu, hava sıcaklık-nem, tüp cidar sıcaklığı ölçümleri.....	20
2.2.2. Çamur keki numunelerinin özellikleri ve çamur katı madde analizleri.....	21
2.2.3. Sistem test yöntemleri.....	22
2.2.4. Psikrometrik hesaplar, çamur debisi hesabı ve fekal koliform tayini	23
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	25
3.1. Çamur Beslemenin Yapılmadığı Çalışma.....	25
3.2. Hava Akımı ile Zıt Yönlü Çamur Kurutma Denemeleri	26
3.2.1. Güneş radyasyonu sıcaklık ilişkileri	29
3.2.2. Anlık radyasyonun kurutmaya etkisi	32
3.2.3. Bağlı nem, çiy noktası sıcaklığı ve ham çamur sıcaklığı ilişkisi	33
3.3. Hava Akımı ile Aynı Yönlü Çamur Kurutma Denemeleri	37
3.3.1. Güneş radyasyonu sıcaklık ilişkileri	40
3.3.2. Katı madde oranı, mutlak nem ve sıcaklık ilişkileri	43
3.3.3. Çiy noktası sıcaklığı ilişkileri	45
3.4. Tartışma	48
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	65

KISALTMALAR

Kısaltmalar

- AAT : Atıksu Arıtma Tesisi
AÇ : Arıtma Çamuru
CFU : Colony Forming Units (Koloni oluşma birimi)
FK : Fekal Koliform
KM : Katı Madde/Kuru Madde
KT : Kurutucu Tüp



1. GİRİŞ

1.1. Arıtma Çamurları

1.1.1. Çamur oluşum ve arıtım süreçleri

Su evlerde insanlar tarafından içme ve hayati faaliyetlerin devamı için kullanılır. Şehirlerde de insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak sanayide, hayvancılık ve zirai faaliyetlerde farklı şekillerde su kullanılmaktadır. İçme amaçlı ve ham madde olarak kullanım dışında suyun en fazla kullanım alanı, atıkların uzaklaştırılması ya da taşınmasıdır (Vesilind ve ark., 2011). Evde banyo ihtiyacı karşılanırken, kişisel temizlikler yapılırken, bulaşık yıkanırken; oto yıkamacıda otomobiller kirlerden arındırılırken suyun vazifesi, kirlilikleri ve uzaklaştırılmak istenen maddeleri bünyesine katarak taşımaktır. Bu şekilde atıklar ve suyun karışımı halinde; içerisinde hızlı-yavaş çökelebilen katıları, sıvı atıkları, çözünmüş maddeleri ihtiva eden atıksular, şehir kanalizasyon hatlarında ilerleyerek uzaklaştırılırlar. Uzaklaştırılan kentsel atıksular, atıksu arıtma tesislerine (AAT) gönderilirler. Arıtma tesislerinde; kullanım sonucu karışım haline gelmiş olan atıklar ve su çeşitli ayırma işlemlerine tabi tutularak yeniden ayrılmaya çalışılır.

Atıksuyun içerisindeki kendiliğinden çökebilen ve biyolojik veya kimyasal işlemler ile çökebilecek formlara dönüştürülen katı maddeler ön çöktürme ve son çöktürme ünitelerinde atıksudan ayrılır. Ön çöktürme ve son çöktürmeden alınan çamurlar, pompa ile iletilebilecek şekilde yüksek su içeriğine sahip çamurlardır. Ön çöktürme çamuru genellikle %5-9 katı madde (KM) içeriğine sahip iken, son çöktürme çamurları %0.8-1.2 aralığında KM içeriğine sahip olmaktadır (Tchobanoglous ve ark., 2003). Bu çamurlar kötü kokuludur ve muhtevalarında biyolojik aktivitenin devam etmesi nedeni ile çevre için zararlı olabilecek çamurlardır. Çöktürme çamurları aslına atıksuyun yoğunlaştırılmış halidir; su içeriği yüksek fakat atıkları ve mikroorganizmaları yoğun halde içeren bir durumdadır. Çamurdaki organik madde ve mikroorganizmalardan kaynaklanan koku ve çürümenin, çamur arıtma işlemleri ile azaltılarak; bertaraf için çevre ortamlarına zarar verme potansiyeli daha düşük bir atık elde edilmesi gerekir. Genel olarak aerobik veya anaerobik çürütme ya da kireçle şartlandırma işlemleri uygulanabilir. Anaerobik çürütmede patojen mikroorganizmalar azaltılır, organik içerik anaerobik bakterilerce çürütülerek azaltılır (Vesilind ve ark.,

2011). Konya AAT'nde arıtma çamurlarının kararlı hale getirilmesi işlemi için anaerobik çürütücü kullanılmaktadır.

1.1.2. Çamur susuzlaştırma ve bertaraf yöntemleri; kurutmanın önemi

Anaerobik çamur çürütme işlemi sonrasında çamurun su içeriği hala yüksektir ve %97 seviyesindedir (Tchobanoglous ve ark., 2003). Çamur hacmini azaltmak için su alma (susuzlaştırma) işlemleri uygulanır. Su alma için çamur kurutma yatakları, belt filtre, plakalı filtre pres ve santrifüj uygulanan yöntemlerdir. Suyu alınmış çamur kek olarak ifade edilir ve kek; kamyonlarla taşınması mümkün olan, akışkan olmayan bir hale gelmiş olur.

Kurutma yatakları, çoğunlukla arazi sorunu olmayan bölgelerde uygulanan en eski yöntemdir. Tabanda bir çakıl tabakası içerisine döşenen drenaj boruları üzerine kum tabakası teşkil edilmiştir. Kum tabakası üzerine genellikle 15 cm yüksekliğinde çamur serilerek bekletilir. Çamurun suyunun alınmasında hem tabana sızma hem de buharlaşma etkili olur. İklim şartlarına bağlı olmakla birlikte çamur kum yatak üzerinde yaklaşık iki veya üç ay süre ile bekletilir. Yağışların fazla ve güneşlenme sürelerinin kısa olduğu bölgelerde sera şeklinde örtü ile kum yatakların üzeri örtülebilmektedir (Öztürk ve ark., 2015).

Mekanik su alma yöntemlerinde ise, su fiziksel yöntemlerle alınır. Belt filtrede basınç ve kısmen yer çekiminden faydalanılarak çamur bantlar arasında sıkıştırılır ve suyu alınır. Plakalı filtre preste ise, plakalar arasında çamura basınç uygulanarak suyu alınır. Santrifüjde, örneğin döner tamburlu dekantörde, çamur çok yüksek devirde döndürülerek merkezkaç kuvvetinin etkisi ile suyu alınır.

Türkiye'de arıtma tesislerinde çoğunlukla santrifüjle su alma işlemi uygulanmaktadır. İkinci sırada ise, belt filtre ve üçüncü sırada plakalı filtre pres uygulanmaktadır. En az uygulanan yöntem ise kurutma yataklarıdır (Nas, 2017a). Çamurların KM içeriği, mekanik susuzlaştırma işlemleri ile %10-30 seviyelerine kadar azaltılabilir (Koyuncu ve ark., 2013). Ancak, çamur bu haliyle yararlı kullanım ve nihai bertaraf seçenekleri için uygun değildir ve kurutularak KM oranının artırılması gerekmektedir. Çamurlar kurutularak, hacmi büyük oranda azaltıldıktan sonra ek yakıt ve toprak iyileştirici olarak yararlı kullanımı veya nihai bertarafı mümkündür. Suyu alınmış olan çamur kekinin kuruluşu artırıldığında yanma verimi artacaktır (Öztürk ve ark., 2015).

Nihai bertaraf çamurların araziye düzenli depolanması şeklinde sağlanabilir. Günümüzde atıkların geri kazanımı ve geri dönüşümü ile çöp depolama sahalarına gönderilen atık miktarlarının azaltılması esas hedef olarak görülmektedir. Buna bağlı olarak, suyu alınmış fakat kurutulmamış, hala yüksek oranda su içeren, dolayısıyla büyük hacimler kaplama potansiyeli olan çamurların depolama sahalarına gönderilmesi çok istenilmese de; arazi kıtlığı olmayan yerlerde, kısmen kurumuş çamurlar depolanarak bertaraf edilmektedir. Çamurların su içeriği depolama sahalarında sızıntı suyu oluşumunu artırması yönünden de problem olarak karşımıza çıkar. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik hükümlerine göre, arıtma çamurları ağırlıkça en az %50 KM ihtiva etmelidir (Anonim, 2010a).

Çamurların faydalı kullanımı amacı ile zirai faaliyetlerde ya da toprak iyileştirici olarak kullanımı da söz konusu olabilir. Bunun için çamurun ağır metal analizlerine tabi tutularak sınır değerleri aşmaması gerekir. Aynı zamanda çamurun kuruluğu ne kadar fazla olursa, araziye nakli ve uygulaması daha cazip hale gelecektir. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik hükümlerine göre, toprağa uygulanacak arıtma çamurlarının %90 ve üzerinde KM oranına sahip olması tavsiye edilmektedir. Yönetmeliğin altıncı maddesinin birinci fıkrasının “o” bendine göre: *“Kapasitesi bir milyon eşdeğer nüfusun üzerinde olan tesislerde oluşan arıtma çamurlarının en az %90 kuru madde değerine kadar kurutulması esastır. Ancak arıtma çamuru üreticileri %90 kuru madde değerine ulaşmadan kullanımının teknik ve ekonomik açıdan uygun olduğunu belgelemesi durumunda Bakanlıkça %90 kuru madde değerine ulaşması şartı aranmaz.”* (Anonim, 2010b). Dolayısıyla kurutma arzu edilen bir işlemdir fakat teknik ve ekonomik açıdan mevcut yöntemler her zaman uygun olmadığından zorunlu tutulamamaktadır.

1.1.3. Türkiye’de çamur yönetimi

Türkiye’de nüfus artışı ile birlikte su kullanımı ve atıksu oluşumu artmaktadır. Belediyelerde 2001 yılında deşarj edilen atıksu 2.3 milyar m³’tür ve %52 oranında arıtmaya tabi tutulmuştur. 2016 yılında deşarj edilen atıksu ise 4.5 milyar m³’tür ve %86 oranında arıtılmıştır. Deşarj edilen atıksu, 2001 yılında kişi başı günlük 147 litre, 2016 yılında ise 183 litre olarak kaydedilmiştir. Atıksu oluşumu artmış ve bununla birlikte çevre yatırımları da artarak arıtma oranı yükselmiştir. Belediyelerde 2001 yılında 126 adet arıtma tesisi varken 2016 yılında bu sayı 881’e yükselmiştir (Anonim, 2016a).

Çevrenin korunması ve sürdürülebilir su kullanımı ile ilgili dünyada ve Türkiye’de yaşanan olumlu gelişmelerle birlikte; çevre politikaları geliştirilmekte ve mevzuatlar çevre yararına güncellenmektedir. İşletmeye alınan arıtma tesislerinin sayısında son yıllarda, geçmiş yıllara nazaran büyük bir artış söz konusudur. Ülke genelinde atıksuların tamamen arıtılması adına alınan kararlar doğrultusunda, arıtma tesisi ihtiyacı hızla giderilmektedir (Nas, 2017b). Arıtılan atıksuyun artması, doğal olarak bertaraf edilmesi gereken arıtma çamuru (AÇ) miktarını da artırmaktadır. 2016 yılında belediyelerde KM bazında 299,296 ton AÇ oluşmuştur (Anonim, 2016b). Ülke genelinde yapılan bir araştırmaya göre ise Türkiye’de 2016 yılında 2,300,105 ton farklı oranlarda su içeren çamur keki oluşmuştur (Nas, 2017a). Konya AAT 2017 yılında 35,000 ton stabilize olmuş çamur keki üretmiştir. Gerekli izinlerin alınması ile Konya ilinde 2.7 milyon m² alana arıtma çamurları zirai amaçlarla uygulanmıştır (KOSKİ, 2018). İstanbul ilinde 2017 yılında günde 1,055 ton çamur keki üretilmiştir. Termal kurutma ile %25’ten %90 ve üzerine kurutulduktan sonra ek yakıt olarak (3,000 kcal/kg) çimento fabrikalarına gönderilen çamur miktarı ise günlük 242 ton olarak gerçekleşmiştir (İSKİ, 2018).

Türkiye şartlarında arıtma çamurlarının çoğunlukla düzenli ya da düzensiz olarak araziye depolandığı bilinmektedir. Avrupa ülkelerinde ise, çamurlar ağırlıklı olarak tarımda gübre olarak kullanılmakta, kompost yapılarak faydalı ürüne dönüştürülmekte ve ek yakıt olarak kullanılarak değerlendirilmektedir. Avrupa’da çamurların depolanarak bertaraf edilme oranı daha düşüktür (İnsel ve ark., 2013). Türkiye’de 340 adet tesis çamurlarını depolayarak, 32 adet tesis ek yakıt olarak, 4 adet tesis yakarak, 5 adet tesis araziye uygulayarak bertaraf etmektedir (Nas, 2017a). İnsani faaliyetlerde, şehirleşmede ve ülke yönetiminde çevrenin korunmasına ve sürdürülebilirliğe verilen önem Türkiye ve dünyada giderek artmakta; buna bağlı olarak suların arıtılma oranı giderek arttığı gibi, çamurların da faydalı kullanımı ve geri kazanımı giderek daha yüksek sesle konuşulmaktadır. Türkiye’de ilerleyen süreçte gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, arıtma çamurlarının faydalı kullanım imkânlarının artması beklenmektedir.

1.2. Çamurların Kurutulması; Önemi, Yöntemleri ve Mevcut Durum

Kullanılan bertaraf yönteminden bağımsız olarak çamur keki olarak ifade edilen suyu azaltılmış fakat kurutulmamış ürün, en az %70 oranında su içermektedir. Çamur

kurutma işlemi, mekanik yöntemlerle suyu azaltılmış ve akışkanlık özelliği ortadan kaldırılmış; genellikle ağırlıkça en fazla %30 oranında katı madde (KM) içeren arıtma çamurlarının KM oranlarını daha fazla artırmak için uygulanan işlemdir (Filibeli, 2013).

Çamur KM oranını iki katına çıkarmak, çamur hacminin yarıya inmesini sağlamaktadır (Filibeli, 2013). Belloulid ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada verdikleri bilgiye göre; kurutma ile nakliye ve depolamada tahmini olarak en az 5 Euro/yıl/ton tasarruf edilebilir. Kurutulmuş çamurun, toprakta kullanımda ve atık depolama sahalarına gönderiminde, su içeriği sorun olmaktan çıkar. Kuru çamurda patojenik faaliyet azaldığı için, zirai amaçlı kullanım potansiyeli artar. Çöp depolama sahalarına gönderilen kuru çamur, sulu çamura göre daha az hacim kapladığı için, daha az arazi ihtiyacı gerektirecek ve ekonomik bir depolama sağlanabilecektir. Su içeriği kurutma ile giderilmemiş çamurun çöp depolama sahalarında ya da arazilerde oluşturduğu sızıntı suyu problemi de kurutmaya azaltılacaktır ve böylece bertaraf işlemlerinin doğal çevreye zararlı etkileri kısıtlanacaktır (Öztürk ve ark., 2015).

Arıtma çamurları özel olarak teşkil edilen ve kurutma için ayrılan alana serilerek, güneş ışınlarına maruz bırakılarak kurutulabilir. Bu, kurutmada yaygın olarak kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Kurutma alanı, üzeri açık bir alan olduğu için, mevsimsel şartlar kurutma verimini oldukça etkilemektedir. Çamur serilmek sureti ile kurutulduğu için ise, kurutulacak çamur miktarına bağlı olarak geniş bir arazi ihtiyacı doğar (Öztürk ve ark., 2015).

Çamur üzerinde bir sera etkisi oluşturmak için geleneksel kurutma yatağının üzeri şeffaf bir örtü ile kapatılarak sera tipi kurutma tesisleri geliştirilmiştir. Sera tipi kurutma yönteminde, geleneksel yöntemle göre mevsim şartları daha az etkili olmaktadır. Şeffaf örtü sayesinde güneş radyasyonu tutularak, tesis içerisinde ısı enerjisine dönüşmekte ve kapalı bir ortam olduğu için daha yüksek sıcaklıklarda kurutma yapılabilmektedir. Aynı zamanda tesis içerisinde; çamur karıştırılıp hava sirkülasyonu sağlanarak, nemli hava dışarı atılmakta ve daha etkin kurutma sağlanmaktadır. Sera tipi kurutma tesisleri de arazi üzerine serilerek kurutma yapıldığı için, kurutma yapılacak çamur miktarına bağlı olarak yüksek arazi ihtiyaçları doğurabilir (Öztürk ve ark., 2015). Sera tipinde ve açık sistem kurutma tesislerinin kıyaslanması için yapılan çalışmalarda, sera örtülü sistemin daha verimli olduğu görülmüştür (Salihoğlu ve Pınarlı, 2007). Sera tip kurutma tesislerinin, akışkan ısıtılarak çalışan güneş enerjisi kolektörleri ile desteklenmesi de söz konusu olabilir. Bu da kurutma için güneş kaynaklı ek ısı enerjisi sağlayacaktır (Akgül, 2012). Sera örtülü

kurutma yönteminin geliştirilerek veriminin artırılmasına yönelik olarak yapılan bir kurutma ünitesinde ise; kapalı bir alan içerisinde, çok katlı konveyör bantlı sistem kurulmuştur (Salihoğlu, 2018). Normalde zemin üzerine serilerek yapılan kurutma, çok katlı konveyör bant kullanılarak yapılmış; sisteme beslenen çamur bant üzerinde, alt kattaki banda aktarılarak devam etmiştir. Böylece birim alanda daha fazla miktarda çamur kurutmak mümkün olmuştur.

Kurutmanın en yüksek verimle yapıldığı yöntem fosil yakıt kullanımını gerekli kılan, yüksek yatırım ve enerji maliyetleri söz konusu olan termal yöntemdir. Yenilenemez enerji ile çalışan termal kurutma yöntemleri yüksek enerji maliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmamaktadır. Geleneksel kurutma yatakları ve sera tip kapalı kurutma yatakları en yaygın kullanılan kurutma yöntemi olmakla birlikte, çok fazla alana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden, birim alanda kurutma yataklarına göre daha fazla miktarda çamur kurutabilen ve güneş enerjisinden en yüksek düzeyde istifade edebilen, güneş kolektörü destekli kurutma ünitelerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Türkiye’de altı adet tesiste solar kurutma (geleneksel ve sera tipi), on bir adet tesiste ise termal kurutma yapılmaktadır (Nas, 2017a). Araziye vahşi ve düzenli depolamanın yaygın olduğu Türkiye’de çamurların kurutulmasına gereken önem verilmemektedir. Ancak iklim değişikliği ve çevre sorunlarının giderek artması, eğilimlerin ve alışkanlıkların hızla değişeceğini haber vermektedir.

Kurutma üzerine yapılan araştırmalarda, güneş enerjisinden en ileri derecede istifade edilmesi ile düşük maliyetli ve olabildiğince az alanda kurutma yapmak üzerine yoğunlaşmak gerekmektedir. Kaynak araştırması bölümünde, konu üzerine yapılan çalışmaların seyri ve özellikleri hakkında bir inceleme sunulmuştur.

1.3. Kaynak Araştırması ve Önerilen Metot

Luboschik (1999) Almanya’da gerçek ölçekte bir çamur kurutma tesisinin, ortalama $750 \text{ (kg su)/(m}^2 \times \text{yıl)}$ kurutma hızı olduğunu belirtmiştir. Yalnızca çamur karıştırma ve havalandırma için 25-30 kWh/(ton su buharı) elektrik enerjisi gerektiği; sera tip çamur kurutmanın oldukça düşük işletme maliyeti olduğu ancak termal kurutmaya göre daha fazla alan gerektirdiğinden bahsedilmiştir.

Luboschik (1999) incelemesinde en iyi kurutma performansı için havanın bağıl neminin düşük, çamurun sıcaklığının ise yüksek olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu nedenle bağıl nemi yüksek olan havanın en hızlı şekilde kurutma bölmesinden

uzaklaştırılmasına ve çamurun sıcaklığının yükseltilmesine önem verilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Salihoğlu ve Pınarlı (2007) iki adet aynı ölçülerde (2 m x 5 m) AÇ kurutma yatağı tasarlamışlar; yataklardan birinin üzerini şeffaf polikarbonat örtü ile sera şeklinde kapatmışlardır. Üzeri kapalı olan yatağın tabanına zemin ısıtma sistemi teşkil edilmiş, ısıtma sistemi iki adet düzlemsel güneş kolektörüne bağlanmıştır. Çalışmada çamur her iki yatak üzerine 25 cm yüksekliğinde serilmiş, iki sistemin kurutma performansı karşılaştırılmıştır. Kışın dış ortam hava sıcaklığı sıfırın altına indiği zaman, güneş kolektörleri çalışmasa bile, iç ortam hava sıcaklığı sera örtü sayesinde sıfırın üzerinde seyretmiştir. Yaz döneminde, %23 KM içeren AÇ 26 günlük süre içerisinde, açık yatakta %79; kapalı yatakta ise %91 KM oranına ulaşmıştır. Kış döneminde, %23 KM içeren çamur 26 günde, açık yatakta mevsim şartları nedeniyle %17 KM içeriğine düşerken; kapalı yatakta %37 KM oranına ulaşmıştır. Çalışmada %20 KM oranından %35 KM oranına ulaşmak için, ortalama 45 kW/m² güneş enerjisi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Çamur KM oranı %20'den %35 oranına çıkarıldığında, 1 m² alanda serili 250 litre çamurun hacminin, 143 litreye düştüğü hesaplanmıştır. Metodu verilen sisteme göre çamurdan 1 kg suyu buharlaştırmak için gerekli gücün ortalama 420 W olduğu belirtilmiştir. Sera örtülü kapalı ve güneş kolektörü destekli kurutma yatakları, açık yataklara göre yıl içerisinde güneş radyasyonundan daha uzun süre ve daha verimli faydalanabilir. Bu sistem 10 m² kurutma alanında, %20 KM içerikli çamuru, kışın 20 günde yazın ise 10 günde %35 KM oranına ulaştırabilir.

Öğütülmüş saman ilavesinin doğal güneşle çamur kurutma üzerine etkisini araştıran Shao ve ark. (2015), saman karıştırarak çamurun boşluk oranını, dolayısıyla hava ile temas eden yüzey alanını artırmışlardır. Çalışmada çamur keki ile öğütülmüş pirinç sapı (2-6 cm) ağırlıkça 15/1 oranında karıştırılmıştır. Karışım 23 gün boyunca, kapaksız kare ahşap bir kutu içerisinde kurutulmuştur. Ahşap kutu 80x80x80 cm ve çamur kalınlığı 30 cm olarak ayarlanmıştır. 23 gün sonra, ortalama 7.2 (kg su)/(m²gün) su buharlaşma oranı ile %25 KM oranından %55 KM oranına ulaşılmıştır. 2 m² alana serilen 1 m³ çamur, 1 m² alana serildiği takdirde, yani çamur kalınlığı arttıkça, 1 m² alanda buharlaşan su miktarı bir miktar artar fakat 1 m³ çamur hacminden buharlaşan su miktarı azalır. Bu da çamurun hava ile temas eden yüzey alanının artması ile ilgilidir ve çamur ne kadar ince serilirse buharlaşma hızı o kadar fazla olacaktır. Çamur tarafından absorbe edilen enerji çamurun sıcaklığını yeterince artırdığı zaman, çamur neminin buhar basıncı kendisini çevreleyen havanın buhar basıncını aşar ve yüzeyden

buharlaşma gerçekleşir (Velis ve ark., 2009; Shao ve ark., 2015). Buharlaşan su miktarı, alınan güneş enerjisi miktarı arttıka artmış, fakat havanın bağlı nemi arttıka azalmıştır. Buharlaşma için gerekli güneş enerjisi, 4209 kJ/(kg su) olarak kaydedilmiştir.

Belloulid ve ark. (2017) zeri yağışlardan etkilenmeyecek şekilde şeffaf bir örtü ile kaplanan bir pilot kurutma alanında, kurak iklim şartlarında, sıcak ve soğuk dönemlerin arıtma amurlarının kuruma davranışı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çamur numuneleri 30 cm³ hacminde silindirik olarak kalıplanmış, 5 cm çapında 1.5 cm yüksekliğinde silindirik çamur kekleri elde edilmiştir. Kurutma alanı yaklaşık 1 m²'dir. Sıcak mevsimlerde %20 KM içeriğine sahip çamur 72 saat sürede %92.5 KM içeriğine yükselirken; kış döneminde aynı sürede %83 KM içeriğine yükselmiştir. Sıcak mevsimlerde 0.2 (kg su)/(kg KM sa) kurutma hızına ulaşılırken, soğuk mevsimlerde 0.13 (kg su)/(kg KM sa) kurutma hızına ulaşılmıştır. 72 saat kurutma süresi sonunda %80-%90 KM oranına ulaşmış çamurun hacmi yaklaşık %80 oranında azalmıştır. Sıcak mevsim şartlarında, patojen bakteri içeriği kuruma ile büyük oranda azalırken, soğuk mevsim şartlarında bakteri içeriği çok fazla değişmemiştir. Koliform bakteri sıcak mevsim şartlarında kurutma ile 3 x 10⁴ CFU/ (g KM) seviyesine kadar inmiştir.

Laboratuvar lekli, dört tarafı ve üzeri kapalı tamamen camdan yapılmış, havalandırma delikleri bulunan, üzerinde 180 cm uzunluğunda bacası bulunan bir solar kurutma serasının taban alanı 1.5 m²'dir. Sera şangay'da farklı mevsim şartlarında denenmiştir. Çamur 792 cm² alana sahip bir kurutma tepsi içerisine 2.5 cm yüksekliğinde serilerek denemeler yapılmıştır. Yazın maksimum güneş ışınımı 1,002 W/m² iken kışın ışınım değerleri 910 W/m² seviyesine kadar inmektedir. Yazın yapılan çalışmalarda, %16 KM içeren çamur 125 saat sürede %56 KM oranına ulaşmıştır. Kışın ise aynı KM oranına 549 saatte ulaşılmıştır. şangay'da yazın güneşle çamur kurutma hızı, güneşli günlerde 0.3 (kg su)/(m² x sa) olarak kaydedilmiştir (Lei ve ark., 2009).

Mathioudakis ve ark. (2009) amur kurutma deneyleri yapmak üzere iki adet 2.5 m³ hacminde şeffaf örtülü solar kurutma pilot tesisi oluşturmuşlardır. Seralardan birinin zemini, ticari düzlemsel güneş kolektöründe ısıtılan su ile ısıtılmıştır. Yalnızca sera iç ortam sıcaklığı, güneş kolektöründe ısınan su sıcaklığından daha düşük olduğu zamanlarda zemin ısıtma sisteminde su sirkülasyonu sağlanmıştır. Sera içerisinde hava türbülansını sağlamak ve doymuş iç ortam havasını dışarıya tahliye etmek üzere fanlar kullanılmıştır. Yaklaşık 8 kg susuzlaştırılmış A 20-25 cm derinliğinde kasalara yerleştirilmış ve kurutma deneyleri yapılırken günde bir defa çamurlar manuel olarak

karıştırılmıştır. Yaz aylarında 7-12 gün içerisinde çamurun KM içeriği %15'ten %94 seviyesine; yağışlı sonbahar mevsiminde 9-33 gün içerisinde KM içeriği %90 seviyesine yükselmiştir. Çamur hacmi başlangıca göre %80-85 azalmıştır. Düzlemsel güneş kolektörünün sisteme entegre edilmesi ile kış koşullarında kurutma süresi 1-9 gün daha kısa olmaktadır. Fekal koliform (FK) yaz mevsimi koşullarında, 10^3 CFU/ (g KM) seviyesine inmiştir.

Sera tip bir solar çamur kurutma tesisinde, ilave bir enerjiden faydalanılmadan yalnızca güneş ışınımının sera içerisinde toplanması ile kurutma yapıldığında, ortalama 8.12 (kg su)/(m² gün) kurutma hızı elde edileceği belirtilmiştir (Krawczyk ve Badyda, 2011).

Yüksek yatırım maliyetleri, yüksek elektrik maliyetleri gibi nedenlerle küçük tesislerde atıksu arıtımının pahalı hale geldiğini dile getiren Bux ve ark. (2002); Hohenheim Üniversitesi ve Thermo-System şirketi işbirliği ile geliştirilen (Anonymous, 2019a); sürekli karıştırma ve havalandırma ile AÇ'nun daha kısa sürede stabilize olmasını, hacminin azalmasını sağlayan, tam otomatik çalışan, düşük sıcaklıklarda da kurutma yapan bir solar kurutma tesisinden bahsetmiş ve testlerini gerçekleştirmişlerdir. Sistem aerobik çamur stabilizasyonu yapılan bir belediye arıtma tesisinde test edilmiştir. Deneylerde kullanılan çamur %3 KM oranlı bir çamurdur ve arıtma tesisinde yıllık 500 ton arıtma çamuru oluşmaktadır. Thermo System çamur kurutma ünitesi temelde sera tipi bir kurutucudur. Zeminde drenaj hattı mevcuttur. Kurutma alanı güneş ışınlarını %83 oranında geçiren şeffaf malzeme ile sera şeklinde örtülüdür. Zemin üzerine 20-50 cm kalınlığında serilen atık çamurlar, tam otomatik bir karıştırıcı robot yardımı ile sürekli karıştırılmaktadır. Otomasyon ile sistemin sıcaklık ve nem verileri sürekli ölçülerek takip edilmektedir. Sistem testleri yapılırken, kurutma alanı iki eşit alana bölünmüş ve her bir bölüm 150 m² olmuştur. Her iki bölüme de aynı karıştırma uygulanmış, 0.425 m³/m² aerobik çürütülmüş çamur doldurulmuştur. Bölmelerden sadece birine bir kg kuru KM başına 4 g floklaştırıcı madde (poliakrilamid) ilave edilmiştir. Floklaştırıcı ilave edilmeyen bölmedeki çamur 83 gün sonra %3 KM içeriğinden %93 KM içeriğine ulaşmıştır. Floklaştırıcı ilave edilen çamur ise, aynı KM oranına 64 günde ulaşmıştır. Her iki durumda da, çamur hacmi 425 m³/m²'den 12 m³/m²'ye düşmüştür. Çamur hacmi %97 oranında azalmıştır ve yıllık olarak 500 m³ çamurun 15 m³'e düşürülmesi anlamını taşımaktadır. Uçucu KM başlangıçta %65, kurutmadan sonra ise %34'e düşmüştür. Uçucu KM'nin %48 oranında azalması aynı zamanda stabilizasyonda da etkili olmuştur. Floklaşmış çamur için, bir ton su

buharlaştırırken 573 kWh güneş kaynaklı ısı enerjisi harcanmış; floklaşmamış çamur için, bir ton su buharlaştırılırken 749 kWh ısı enerjisi harcanmıştır. Termal kurutucularda ise, 800-1000 kWh/(t su) ısı enerjisi tüketildiği ve bu enerjinin yenilenebilir enerji olmadığı belirtilmiştir (Melsa ve ark., 1999; Bux ve ark., 2002). Elektrik enerjisi tüketimi, floküle edilmemiş çamur için 28 kWh/(t su), floküle çamur için 22 kWh/(t su) olarak gerçekleşmiş; elektrik yalnızca fanlar ve karıştırma için harcanmıştır. Termal kurutma için gerekli elektrik enerjisi ise, bir ton su için 70-110 kWh olarak belirtilmiştir.

Akgül (2012) güneş takip sistemine sahip, ısı transfer akışkanı olarak su kullanan düzlemsel güneş kolektörü ile sera tipi pilot çamur kurutma tesisinin zemin ısıtmasını sağlamıştır. Çalışmada güneş izleme yapan kolektörle ısıtılan sera ile güneş izleme yapılmayan kolektörle ısıtılan sera ve sera örtülü olmayan açık tesis olmak üzere üç yöntem birbiri ile kıyaslanmış, yaz ve kış dönemi verileri yorumlanmıştır. Yaz döneminde güneş izleme sistemli kolektör ile ısıtılan 8 m² alanda zemin üzerine ortalama 25 cm yükseklikte serilen %20 KM içerikli 2 ton çamurun KM oranı 13 günde %99 oranına yükselmiştir. Çalışma Tarsus iklim şartlarında, ortalama 10 saat güneşlenme süresi ile yapılmıştır.

Güneş enerjisi ile çamur kurutma üzerine yapılan çalışmalar, yağışlı ve soğuk mevsimlerden olabildiğince az etkilenen, güneş enerjisinden en yüksek verimle istifade eden, olabildiğince az alanda kurutma yapan ve işletme için gerekli maliyetleri en düşük seviyede tutan sistemlerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Salihoğlu (2018) yaptığı diğer bir çalışmada, sera şeklinde tasarladığı sistemin içerisine beş katlı kurutma bandı eklemiştir. Bantlar üst üste katlar halindedir. En üst banda serilen çamur, otomasyon sistemine bağlı olarak önceden belirlenmiş olan sürelerde bekletilerek bir alt kattaki banda aktarılmaktadır. Sera kurutucu tabanı, düzlemsel güneş enerjisi kolektörüne bağlı, sıvı akışkan ile çalışan ısıtma boruları ile ısıtılmaktadır. İçerde oluşan nemli kurutma havası, bir güneş bacasına bağlı emme fanı ile emilerek, toprak altı yoğunlaştırucuya gönderilmekte, burada nemi yoğunlaştırulan hava biyofiltreden geçtikten sonra sisteme tekrar geri verilmektedir. Çamuru ilerleten bantların hızları, hava döngüsüne katkı sağlayan fanların çalışma süreleri; sistemde otomatik olarak sürekli ölçülen nem ve sıcaklık değerlerine göre otomasyon ile kontrol edilmektedir (Salihoğlu, 2016). Sitemin denemelerinde, dört gün boyunca her gün en üstteki bandın yüzey alanını kaplayacak şekilde 5 cm kalınlığında çamur serilmiş ve bir alt kattaki banda aktarılmıştır. %14-19 aralığında KM içeren 1.6 ton AÇ dört gün boyunca, her gün 400 kg olacak şekilde sisteme yüklenmiş, sitemde dört gün geçirdikten sonra çıkan çamur

%93-98 KM oranına ulaşmıştır. Siteme günlük 400 litre çamur verilmiş, dört gün sonra sistemden çıkan çamurun hacmi ise ortalama 70 litre olarak gerçekleşmiştir. Sistemden emilen nemli hava 28 °C sıcaklığa sahip olarak ısı pompasından geçirilmiştir. Isı pompasından çıktıktan sonra hava 40 °C olarak sisteme geri verilmiştir. Havanın neminin yoğunlaştırılması ile iç ortamdan kg kuru hava başına 7-10 gram su buharı tahliye edilmiştir.

Al-Otoom ve ark. (2015) kutu şeklinde bir güneş kolektörü içerisine; üzerinde alüminyum çubuklar dizilmiş bir bant yerleştirmiştir. Kolektör üzeri cam ile kaplıdır ve güneş ışınlarını en iyi şekilde alabilmesi için Güney'e bakacak şekilde 30° açı ile konumlandırılmıştır. Havalandırma ve hava tahliyesi için kolektör üzerinde değişken hızlarda çalışabilen fanlar mevcuttur. Dönüş hızı ayarlanabilen hareketli bant üzerinde bulunan alüminyum çubuklar, çamurları tabandan yukarı ve tekrar aşağı hareket ettirecek şekilde dönmektedir. Çalışmada; hava hızı, bant hızı gibi değişkenlerin çamurdaki suyun buharlaşma hızı üzerine etkileri incelenmiştir. Eylül ayı için 2.02 (kg su)/(m² sa) kurutma hızı gerçekleşmiştir.

Tütün kurutmak için yüksek sıcaklıklara (150 °C -300 °C) ihtiyaç duyulduğunu belirten Liu ve ark. (2014), düzlemsel güneş kolektörlerinin bu iş için uygun olmadığını belirtmiştir. Parabolik oluk güneş kolektörlerinde en önemli ve araştırmaların odaklandığı konunun odak noktasındaki alıcı olduğunu belirten Liu ve ark. "V" şeklinde farklı bir alıcı kullanarak kıyılmış tütün kurutma sistemi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada parabolik oluk kolektörde ısı transfer yağı ısıtılmış, ısınan yağın enerjisi kurutma havasına aktarılmış ve değişken çaplı bir kurutma borusu içerisinde kurutma yapılmıştır. Güneş ışınımındaki değişmelere karşı, ısı transfer akışkanının sıcaklığını sabit tutabilmek için, elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Böylece kurutma havası istenilen sıcaklıkta sabit tutulmaya çalışılmıştır. Kurutma için; 15 m/s giriş havası hızı ve 200 °C giriş havası sıcaklığı ile %26 olan nem içeriği %14'e düşürülmüş; ısı verim ise %66 olarak gerçekleşmiştir.

Güneş enerjisi kolektörlerinde, hava ya da başka bir akışkanın ısıtılması ve bu ısının ayrı bir kurutma bölgesinde kullanımı ile yapılan kurutma işlemleri gıda maddeleri üzerinde denendiği gibi (Hanif ve ark., 2013) arıtma çamurları için de uygulanabilir. Kurutma bölgesinin ya da kurutma serasının içeriği, nem ve sıcaklık gibi farklı parametrelerin sensörler ile ölçümü yoluyla otomasyona bağlı olarak kontrol edilebilmektedir (Salihoğlu, 2018).

Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri temel olarak, ikinci dereceden denkleme dayalı bir parabol kesitli yansıtıcıdan ve yansıtıcının matematiksel odak noktasındaki enerji alıcıdan oluşmaktadır. Yansıtıcı güneşi tek ekseninde takip ederek alıcı tüp üzerinde çizgisel olarak güneş ışınlarını odaklar. Bu kolektörler çoğunlukla akışkanları ısıtarak endüstriyel uygulamalarda kullanma ve elektrik üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Kalogirou, 2002). Odak noktasındaki alıcı boru içerisinde ısı transfer akışkanı geçirilerek yüksek sıcaklık ihtiyaçları karşılanmaktadır. Alıcı boru içerisinde hava geçirilerek, ısıtılan havanın kurutma odasındaki bitkilerin kurutulmasında kullanımı üzerine uygulamalar yapılmıştır (Karıukı, 2014).

Arıtma çamurları için tasarlanan bir kurutma odasında, parabolik yoğunlaştırıcı kolektörden elde edilen sıcak akışkanın, çamurun kuruması için ısı enerjisi sağlaması üzerine bir çalışmanın literatürde uygulaması olmasa da; farklı güneş kolektörleri ile benzer çalışmalar yapılmış ve araştırmalar çoğunlukla buna odaklanmıştır. Aynı bir kurutma bölümü, ek bir alan gereksinimi demektir. Bu çalışma ise, çamurun aynı bir kurutma bölümünde değil, doğrudan parabolik oluk kolektörün odağında bulunan tüp içerisinde geçirilmesini ve böylece aynı alanda hem ısıtılıp hem de havalandırılarak, kurutulması üzerine yoğunlaşmıştır. Böylece, güneş kolektörü doğrudan kurutucu olarak görev yapacaktır. Bunun için parabolik oluk tipi güneş kolektörü, odağında AÇ geçirilecek şekilde tasarlanmış, odakta bulunan enerji alıcı tüp aynı zamanda bir kurutucu olarak teşkil edilmiştir. Bu konuda literatürde çalışma yok denecek kadar azdır (Argun ve ark., 2015).

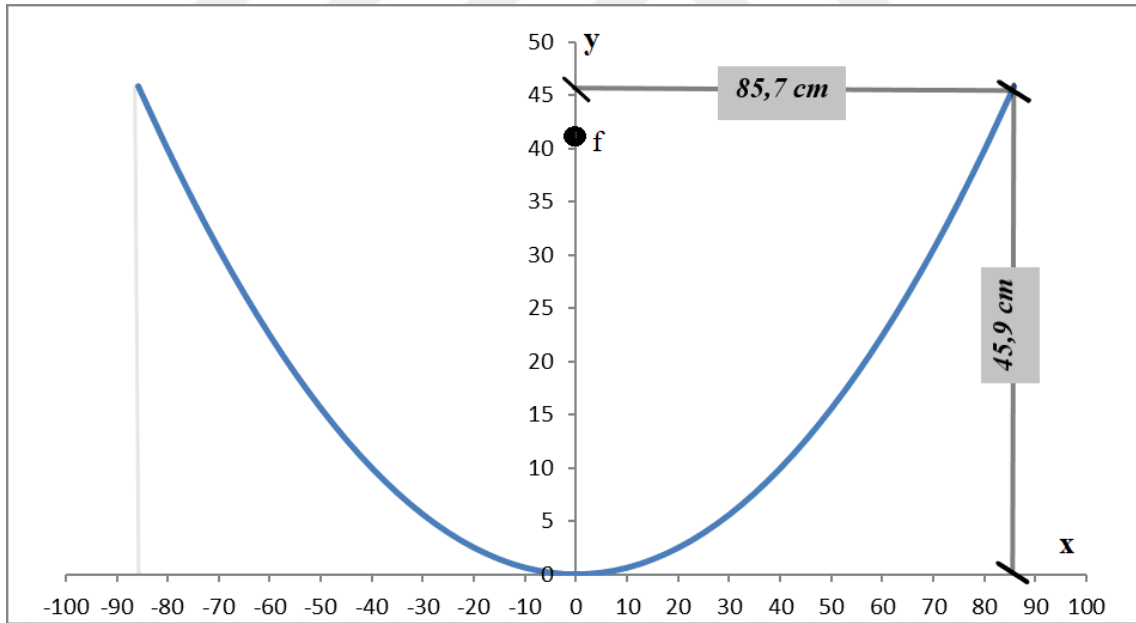
İmalatı yapılan prototipin, Konya AAT'de denemeleri yapılarak sistem incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kurutucu Deney Düzeneği Tasarım ve Üretim Aşaması

2.1.1. Parabolik reflektör yatağının tasarım ve üretimi

Kurutucu tüpe (KT) ısı enerjisi temin etmek için kullanılan; parabolik oluk şeklinde ve üzerine gelen güneş ışınlarını çizgisel olarak odaklama özelliğine sahip yansıtıcıyı teşkil etmek üzere öncelikli olarak parabol grafiği çizilmiştir (Şekil 2.1). Parabolün yay çizgi uzunluğu 200 cm olacak şekilde çizilen grafiğin denklemi $y=(x^2/160)$ 'tır ve x değeri -85.7 ile +85.7 aralığında değişmektedir (Anonymous, 2019b) Parabol odak noktasının denklemi ise, $f = x^2/4y$ olarak ifade edilir (Elmas, 2013). Parabolün geometrik odağı aynı zamanda y eksenine paralel gelen ışınların yansyarak odak noktasından geçmesini sağlar. Buna göre parabolün odak noktası (0 cm , 40 cm) noktasıdır.

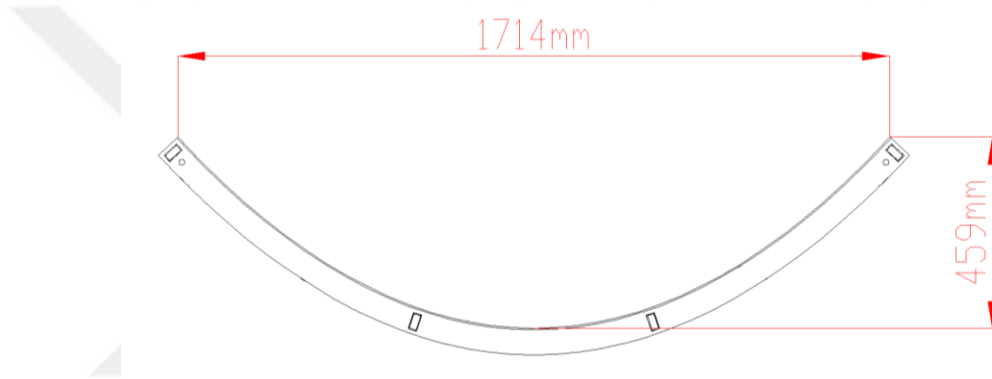


Şekil 2.1. Parabolik yansıtıcı yatağı teşkil etmek üzere çizilen parabol grafiği

Parabol eğrisi bilgisayar destekli tasarım (CAD) programı ile çizilmiş ve bu eğri yansıtıcı yatağının tasarımını teşkil etmek üzere kullanılmıştır (Şekil 2.2). Bilgisayar kontrollü (CNC) lazer tezgâhta, bilgisayar ortamında yapılan çizime uygun olarak metal

parçalar kesilmiştir. Bu sayede parabolik oluk şeklinde bir yansıtıcı yatağı elde edilmiştir (Şekil 2.3).

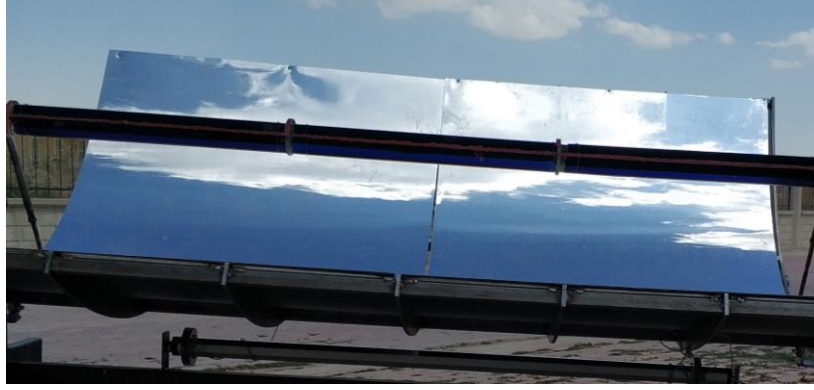
Reflektör olarak, güneş ışınlarını yüksek oranda yansıtan ve yutma oranı düşük bir malzeme olan parlatılmış alüminyum levha (Almeco Vega 95100) kullanılmış ve parabolik yatağa monta edilmiştir (Şekil 2.4). Reflektör levha 2 m boy, 1.25 m en, 0.4 mm kalınlık ölçülerine sahiptir ve iki adet kullanılmıştır. Levhanın parabol yansıtıcı yatağına montajı esnasında daha kolay işlem yapılabilmesi ve levhanın zarar görmemesi için, levha arkasına 3.70 mm PVC (poli vinil klorür) köpük lamine edilmiştir. Bu sayede 0.4 mm kalınlığındaki çok ince alüminyum levhanın montaj esnasında kırılabilirliği önlenerek esneklik kazandırılmış ve taşınması kolaylaştırılmıştır.



Şekil 2.2. Parabol grafiğinin bilgisayar destekli teknik resim programında çizilmesi



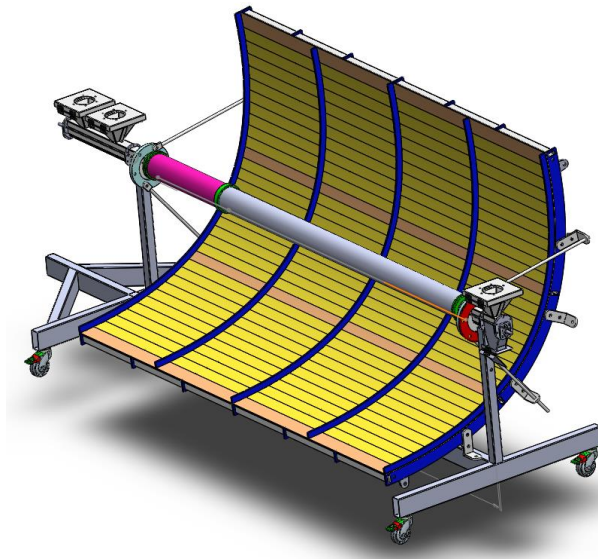
Şekil 2.3. Yansıtıcı yatağının teşkil edilmesi



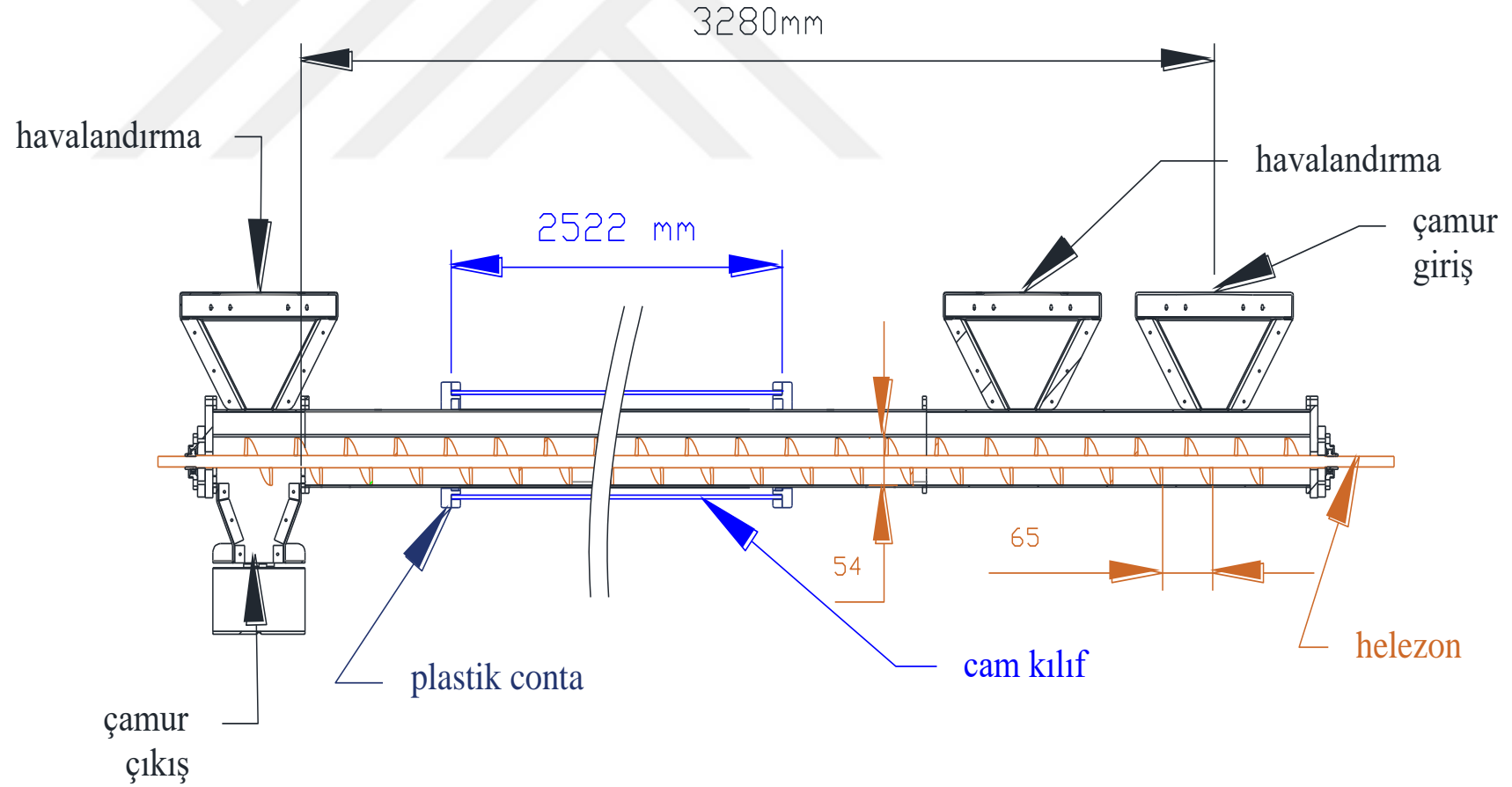
Şekil 2.4. Parabolik yatağa yerleştirilmiş yansıtıcı levhalar

2.1.2. Parabolik reflektörün odağına yerleştirilen kurutucu tüpün üretimi

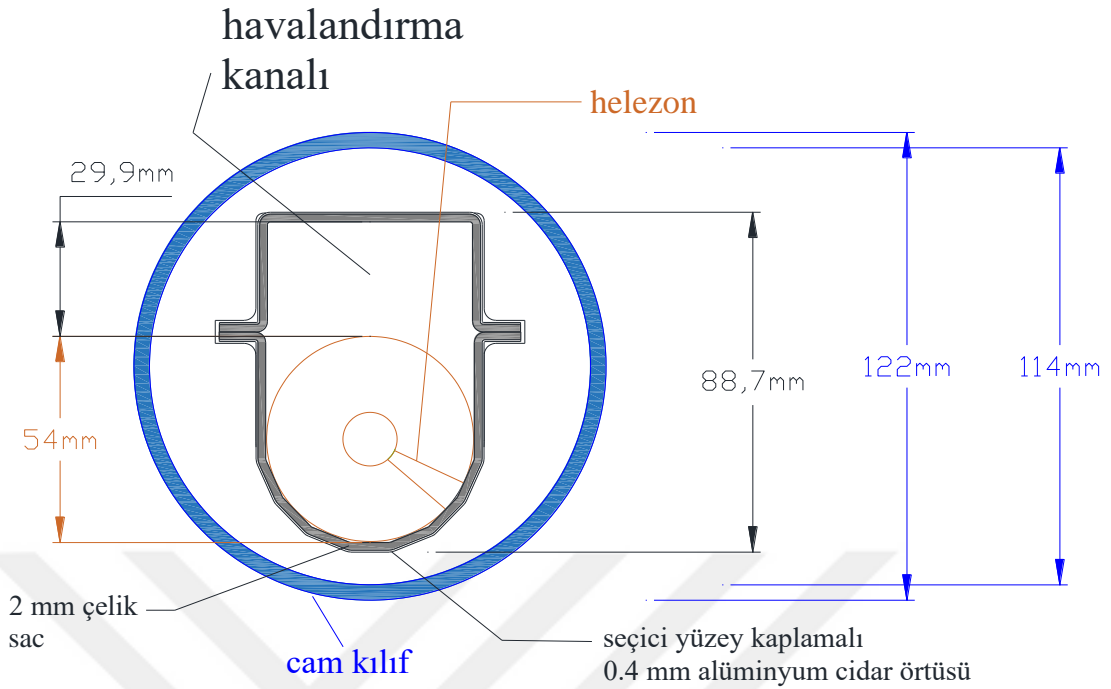
Parabolik reflektörün odağına yerleştirilen KT'ün cidarına güneş ışınlarının yoğunlaştırılarak ısı enerjisine dönüşümü sağlanmıştır. Sistemin bilgisayar ortamında tasarımına ait genel bir görüntüsü Şekil 2.5'te verilmiştir. KT, içerisinde çamuru iletmek ve karıştırmak üzere helezon bulunan, üzerinde çamur ve hava giriş çıkışı için kapaklı bacalar teşkil edilmiş, dışı cam bir kılıfla ısı kaybına karşı yalıtılmış ve dış cidarına seçici yüzey (Almeco tinox) kaplanmış bir düzenek olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.6 - Şekil 2.8). KT düzeneği 2 mm (St-37) çelik sactan imal edilmiştir. KT; helezonun üzerinde boşluk bırakılarak daha etkin bir hava sirkülasyonu sağlamak için "U" şeklinde özel bir geometrik kesitte tasarlanmıştır (Şekil 2.7 ve Şekil 2.8).



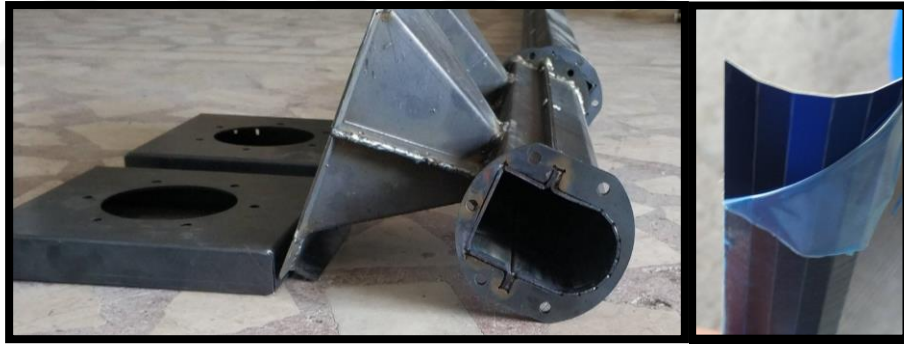
Şekil 2.5. Parabolik reflektör ve kurutucu tüpün tasarımına ait CAD çizimi



Şekil 2.6. KT boy kesit detayı



Şekil 2.7. KT en kesit detayı



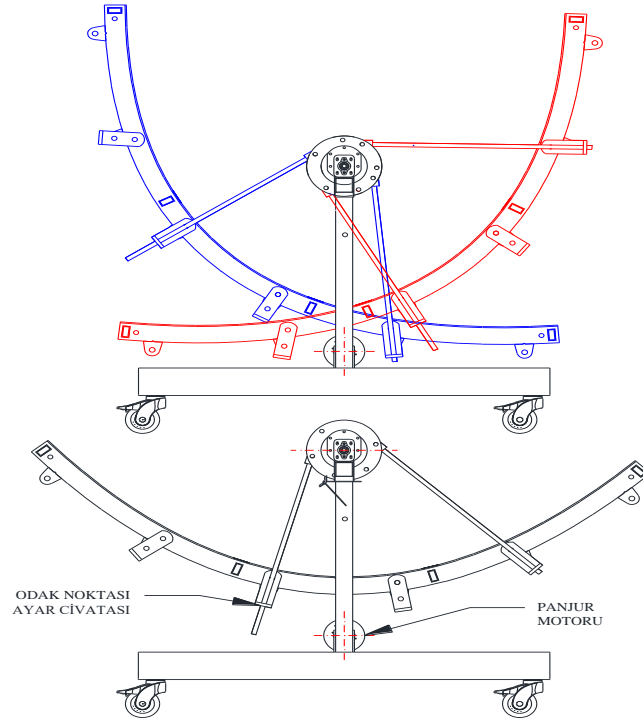
Şekil 2.8. KT'ün 2 mm saçtan imalatı ve 0,4 mm seçici yüzey kaplamalı alüminyumun görüntüsü

Helezon, 53 mm çapında ve 65 mm hatveye sahip sağ yönlü çelik helezon yaprağı kullanılarak teşkil edilmiştir. KT içerisinde 2.5 devir/dk dönerek, sisteme beslenen çamuru ilerletmenin yanında karıştırarak çamura ısı aktarımını ve buharın uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. KT'ün dışına, güneş ışınlarının geçişine izin verirken, metal yüzeyde oluşan ısının atmosfere kaybını önlemek üzere daire kesitli cam bir kılıf yerleştirilmiştir. Cam kılıf ile metal KT arasını desteklemek ve cam kılıfın uç noktalarından hava girişini önlemek için polioksimetilen plastik malzeme, conta işlevi ile kullanılmıştır (Şekil 2.6).

KT üzerinde hava girişi ve çıkışını sağlayan bacalar ile çamur giriş ve çıkışını sağlayan bacalar bulunmaktadır (Şekil 2.6). Çamur ilerleme yönü sabit kalmak kaydı ile havalandırma yönleri değiştirilerek farklı çalışmalar yapılmıştır. Çamur giriş bacasının yanında bulunan havalandırma bacasından önce hava çekilerek çalışmalar yapılmış; daha sonra aynı bacadan hava verilerek çalışmalar yapılmıştır. Hava çekilerek yapılan çalışmalarda; havalandırma yönü, KT içerisinden ısınarak gelen havanın, yeni beslenen çamuru ısıtması maksadı ile tercih edilmiştir. Daha sonra havalandırma yönü değiştirilerek, etkileri incelenmiştir. Uygulanan havalandırma ile KT içerisinden minimum 240 L/dk, maksimum 480 L/dk olmak üzere ortalama 360 L/dk hava tahliye edilmektedir.

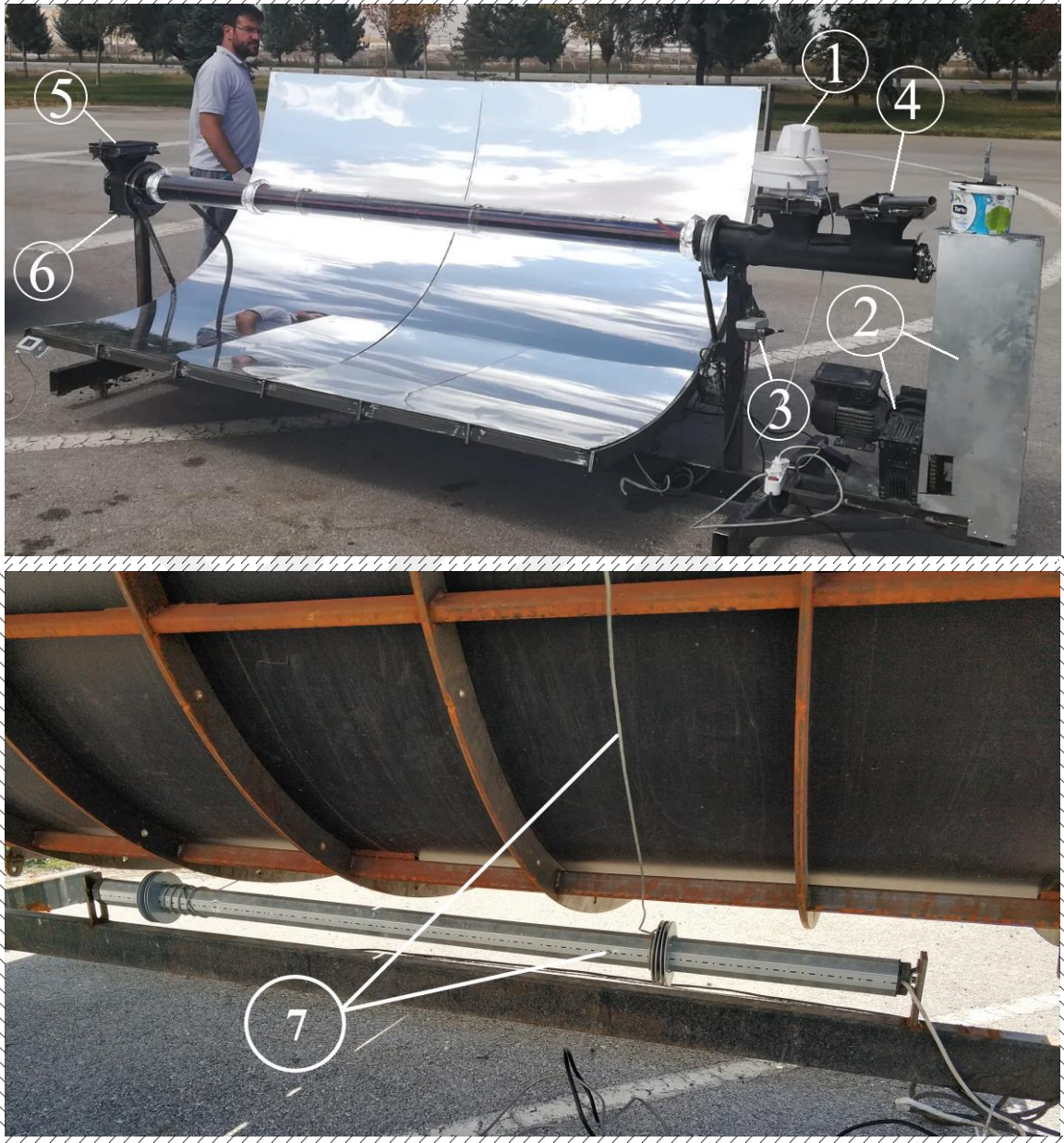
2.1.3. Parabolik reflektörün güneş takibi ve sistemin genel görünümü

Parabolik yansıtıcının güneş takibi elektrik motoru (tüp motor) kullanılarak sağlanmıştır. Motor, yansıtıcı yatağının alt kısmında bulunan sabit ayak profiline sabitlenmiştir. Motor ve yansıtıcı yatağına bağlanan çelik halatlar yardımı ile güç aktarımı sağlanarak, manuel kumanda ile güneş takibi için dönme sağlanmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Güneş takibi detay çizimleri

Parabolik oluk reflektörün açıklık alanı 4.3 m^2 olacak şekilde üretilen, KT ve diğer bileşenleri içeren sistemin fotoğrafı Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Sistemin genel görüntüsü: 1) Salyangoz fan, 2) Helezon tahrik sistemi, 3) Güneş takip kumandası, 4) Çamur giriş bacası, 5) Havalandırma bacası, 6) Çamur çıkış bacası, 7) Güneş takibi motoru ve çelik halat

2.2. Verilerin Toplanması ve Kurutucu Test Yöntemleri

2.2.1. Güneş radyasyonu, hava sıcaklık-nem, tüp cidar sıcaklığı ölçümleri

Güneş radyasyonu ölçülmek üzere parabolik yansıtıcı yatağının bir kenarına ışınım ölçüm sensörü yerleştirilmiştir (Şekil 2.11). Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH firmasına ait SiS-01TC-DMM kodlu sensör; Victor marka 86C kodlu dijital multimetreye (Şekil 2.12) bağlanarak, güneş ışınımı anlık olarak W/m^2 cinsinden okunmaktadır.



Şekil 2.11. Radyasyon ölçüm sensörü



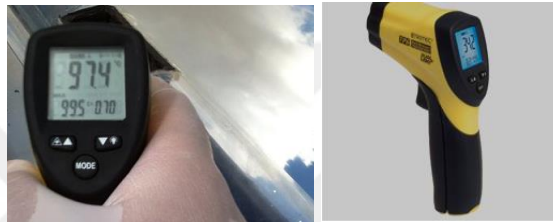
Şekil 2.12. Dijital multimetre

Her deneme çalışması başladığı andan sonlandığı ana kadar, belirli aralıklarla güneş ışınımı verileri multimetre cihazından okunarak kayıt altına alınmıştır. Aynı zaman aralıkları ile giriş hava sıcaklığı ve nemi, çıkış hava sıcaklığı ve nemi, KT cidar sıcaklığı verileri kayıt altına alınmıştır. Hava sıcaklık ve nemi, Emko esm-3723 cihazına bağlı Emko Pronem Mini pm1-p elektronik prob yardımı ile ölçülmüştür (Şekil 2.13). Cihaz ekranından hava sıcaklığı ve bağıl nem değeri okunarak kaydedilmiştir. KT dış

cidarından sıcaklık ölçümü, Trotec marka tp6 lazer termometre ile yapılmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.13 Hava sıcaklık ve nem ölçüm cihaz ve sensörü



Şekil 2.14. Lazer termometre

2.2.2. Çamur keki numunelerinin özellikleri ve çamur katı madde analizleri

Her deneme çalışması için ham çamur Konya AAT'nin santrifüj dekantör çıkışından çamur keki vaziyetinde %18-22 KM oranına sahip olarak temin edilmiştir. Susuzlaştırma prosesinin bakımında olduğu bazı zamanlarda, tesis içerisinde yeni depolanmış olan çamur kekinden numune alınmıştır (Şekil 2.15). Numune alım işlemleri sonrasında, toplam çamur ağırlığı tartılarak kayıt altına alınmıştır. Aynı zamanda alınan çamur numunesinin sıcaklığı kaydedilmiştir. Çamur keki sıcaklıkları 28 ile 36 °C arasında değişmiştir.



Şekil 2.15. Geçici çamur depolama alanından numune alma

Ham çamur numuneleri kurutma denemelerine tabi tutulmadan önce ve sonra Ohaus mb45 cihazı ile KM oranları analiz edilmiştir (Şekil 2.16). KM oranı analizi için ilk önce taze çamurdan daha sonra ise belirli aralıklarla kurutucu çıkışına dökülen kurumuş çamurlardan numune alınarak, numune kaplarına konulmuş ve analize tabi tutulmuştur.



Şekil 2.16. KM oranı analiz cihazı

2.2.3. Sistem test yöntemleri

Denemelerde üç farklı yöntem uygulanmıştır. Birinci yöntem olarak çamur beslemeden, sadece havalandırma yapılarak; sistemin hava ısıtma performansı incelenmiştir.

İkinci yöntemde, farklı çalışma günleri için beslenen çamur miktarı değiştirilerek, hangi çamur miktarı ile ne kadar kuruluğun elde edildiği tespit edilmiştir. Bunun için belirli ölçülerde bir kap ile 5 dk'da 85 g, 2.5 dk'da 85 g ve 4 dk'da 85 gram gibi değişken kütleli debilerde çamur beslemeleri yapılmıştır. Bu beslemeler matematiksel olarak; deney boyunca toplam beslenen çamur ağırlığının, toplam besleme süresine bölünmesi ile g/dk cinsinden kaydedilmiştir.

Üçüncü yöntemde ise; belirli bir miktar çamur, belirli bir hızda sisteme beslenmiş; daha sonra yeni çamur beslemesi durdurularak sadece sistemden çıkan çamur geri beslenmiştir. Böylece, belirli bir miktar çamurun maksimum kuruluğa ulaşması için sistemde geçirmesi gereken süre incelenmiştir.

Ayrıca ışınlam, sıcaklık ve nem ölçümlerinin yapıldığı saatler ve bu saatlerdeki havanın görsel olarak bulutluluk durumu da kayıt altına alınmıştır.

Deneme başlangıç saati ve çamur besleme başlangıç saati aynı iken; deneme bitiş saati ile besleme bitiş saati farklı saatler olabilmektedir. Sistem içerisine verilen katı bir taneciğin KT içerisinde geçirdiği zaman 30 dk olarak tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, besleme işlemi sona erdiği andan itibaren en az 30 dk beklenerek, teorik yaklaşımla sisteme verilen son çamurun da dışarı çıkması sağlanmıştır. Çamur yapışkan ve hamur kıvamında olduğu için sistemi terk etmesi teorik süreden farklı olabilmektedir. Çamur besleme başlangıç saati ile son beslenen çamurun içeriden çıktığı teorik saat arası süre teorik operasyon süresi olarak kaydedilmiştir. Güneşin takip edilebildiği ve kısa süreli ışınlam azalmaları haricinde takibin devam ettiği süre ise güneş izleme süresi olarak kaydedilmiştir.

2.2.4. Psikrometrik hesaplar, çamur debisi hesabı ve fekal koliform tayini

Mutlak nem verileri ve çiy noktası sıcaklığı verileri, havada ölçülen kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinden hareketle “Aircalc for android” psikrometrik hesap uygulaması yardımı ile hesap edilmiştir (Minami ve ark., 2018). Bağıl nem, havanın belirli bir sıcaklıkta taşıdığı su buharı miktarının, o sıcaklıkta taşıyabileceği en yüksek su buharı miktarına oranıdır. Havanın taşıyabileceği maksimumu su buharı miktarı sıcaklık ile değişmektedir. Mutlak nem, birim hacim ya da birim kütle hava içerisinde bulunan gerçek su buharının gram cinsinden değeridir. Çiy noktası sıcaklığı ise, hava sabit basınçta soğutulurken yoğunlaşmanın başladığı sıcaklıktır. Hava, kendisinin çiy noktası sıcaklığına veya çiy noktası sıcaklığının altında bir sıcaklığa sahip yüzeye karşılaştığında, yüzey üzerinde çiylenme olur ve su buharı yüzey üzerinde yoğunlaşır. Çiy noktası sıcaklığı da kuru termometre sıcaklığı ve bağıl neme bağlı olarak değişmektedir.

Kütlesel çamur debisi birim zamanda KT içerisine kurutulmak üzere beslenen çamur miktarını ifade etmektedir. Dakikada sisteme giren gram cinsinden çamur miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ancak her dakika sisteme belirlenmiş miktarda çamur besleyen bir düzenek söz konusu değildir. Toplam ağırlığı tartılmış bir miktar çamur, belirlenmiş zaman aralığında (örneğin 5 dk), belirli bir ölçü kabı ile sisteme dozlanmıştır. Bu şekilde toplam çamur miktarı (gram), toplam besleme süresine (dakika) bölünerek kütlesel çamur debisi elde edilmiştir. Sistemin kurutma

performansını yorumlarken kütlesel çamur debisi kullanılmıştır. Çamurun sürekli geri beslendiği çalışmalarda, kütlesel çamur debisi hesaplanırken, çamurun KT içerisinde geçirdiği zaman dikkate alınmış ve toplam çamur miktarı, çamurun sistemde kaldığı süre olan operasyon süresine bölünmüştür.

Bazı çalışma günleri için çamur keki ve kurutulan çamurda FK değişimini incelemek amacıyla, membran filtrasyon yöntemi (standart metot) kullanılarak mikroorganizma analizi yapılmıştır (Rice ve ark., 2012). Analizlerde hazır besi yeri ve selüloz nitrat filtre kâğıdı kullanılmıştır.

Üretilen solar çamur kurutucunun deneme çalışmaları 2018 yılı Ekim ve Kasım aylarında; 2019 yılı Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında Konya ili iklim şartlarında yapılmıştır.

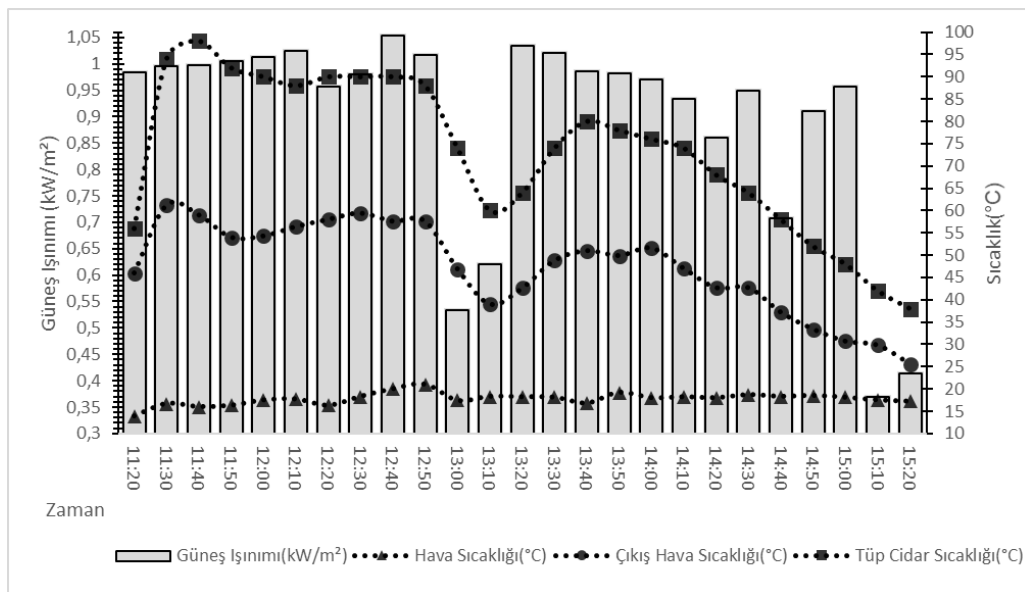


3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Çamur Beslemenin Yapılmadığı Çalışma

Çamur besleme yapılmadan sadece havalandırmanın yapıldığı 4 Kasım tarihli çalışmada; saat 11:20-14:20 arasında güneş izlemesi yapılarak çamura ısı transferinin etkisi olmadan ulaşılabilecek sıcaklık değerleri gözlenmiştir (Şekil 3.1; Çizelge 3.1).

Deneme boyunca güneşten 11.4 kWh enerji toplandığı hesaplanmıştır. KT'e beslenen hava sıcaklığı ortalama 18 °C iken 52 °C olarak deşarj edilmiştir. Güneş izlemenin devam etmediği 14:20–15:20 saatleri arasında KT'teki sıcaklığın kademeli olarak düştüğü görülmüştür. Bu aşama konsantre edilmiş radyasyonun etkisi olmadan, KT'e doğrudan gelen güneş ışınlarının etkisi ve sistemin soğuma davranışı hakkında bilgi vermektedir. Güneş takibinin sonlandığı saat 14:20'den sonra bile bir saat boyunca çıkan hava ortalama 35 °C'ye kadar ısınmıştır. Saat 15:20'de tüp içinden geçen havanın sıcaklığının hala 8.4 °C arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum kurutucu metal tüpü çevreleyen radyasyon seçici alüminyum yüzeyin, doğrudan/dolaylı radyasyondan bir miktar yararlanması ve ısı yalıtımı amaçlı kullanılan cam kılıf sayesinde sistemin ısı enerjisini bir miktar depolaması ile açıklanabilir. Güneş ışınımının 533 W/m^2 'ye kadar düştüğü 13:00-13:10 saatlerinde KT sıcaklığının ve çıkış hava sıcaklığının aniden düşmesi; radyasyonun azaldığı zamanlarda, sistemin direkt etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 3.1. Çamur beslemesinin yapılmadığı durumda radyasyon-sıcaklık değişimi (04.11.2018)

Çizelge 3.1. Çamur beslemesinin yapılmadığı deneme çalışmasında elde edilen veriler (04.11.2018)

Saat	GİRİŞ HAVA				Hava Durumu	ÇIKIŞ HAVA				Odak Tüpü Sıcaklığı (°C)		Işınım (W/m ²)	
	Sıcaklık (°C)		Bağıl Nem (%)			Sıcaklık (°C)		Bağıl Nem (%)		Ölç	Ort	Ölç	Ort
	Ölç	Ort	Ölç	Ort		Ölç	Ort	Ölç	Ort				
11:20	14		53		açık	46		14		56		984	
11:30	17		44		açık	61		8		94		995	
11:40	16		44		açık	59		9		98		998	
11:50	16		44		açık	54		10		92		1005	
12:00	18		39		açık	54		9		90		1012	
12:10	18		37		açık	56		8		88		1025	
12:20	16		40		açık	58		8		90		957	
12:30	18		37		açık	59		8		90		981	
12:40	20		32		açık	58	52	8	10	90	81	1054	
12:50	21		30		açık	58		8		88		1016	
13:00	17		37		pb	47		11		74		533	
13:10	18		37		pb	39		15		60		620	
13:20	18	18	38	39	açık	43		13		64		1035	891
13:30	18		38		açık	49		11		74		1021	
13:40	17		42		açık	51		10		80		986	
13:50	19		35		açık	50		10		78		982	
14:00	18		37		açık	52		10		76		970	
14:10	18		37		açık	47		11		74		934	
14:20	18		39		pb	43		13		68		860	
14:30	19		36		açık	43		13		64		950	
14:40	18		39		pb	37		16		58		708	
14:50	19		37		açık	33	35	19	19	52	53	910	
15:00	18		38		açık	31		22		48		956	
15:10	18		41		pb	30		23		42		370	
15:20	17		41		pb	26		29		38		413	

Ölç: Ölçülen veriler, Ort: Ortalama değerler, açık: bulutsuz hava şartları, pb: parçalı bulutlu hava şartları

3.2. Hava Akımı ile Zıt Yönlü Çamur Kurutma Denemeleri

Çalışma şartları ve elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla, farklı günlerdeki ölçümlerin ortalaması alınarak Çizelge 3.2’de verilmiştir. Farklı günlerde yapılan deneme çalışmalarına ait detaylı ölçüm verileri Ek-1, Ek-2, Ek-3, Ek-4 ve Ek-5’te görülmektedir.

Güneş radyasyonunun diğer günlere nazaran daha düşük olduğu 16 Ekim tarihinde yapılan denemede, %47 oranında KM oranına ulaşılmıştır. Bu durum, ısı enerjisi azalsa bile havalandırmanın kurutma işleminde etkin bir rol oynadığını göstermektedir. Hava şartlarının genellikle parçalı bulutlu olduğu 9 Ekim tarihinde; güneş radyasyonu ve sıcaklıklar da düşük seyretmiştir. Çalışmanın son elli dakikasında hava tamamen bulutlu hale geldiği için, son elli dakikalık sürede güneş izleme yapılmamış odaklama tamamen bitmiştir (Ek-3). Buna rağmen, güneş enerjisi

miktarının dalgalı olduğu böyle bir günde ortalama KM oranı ham çamura göre iki katına çıkmıştır. Güneş radyasyonunun yüksek olduğu 1 Kasım günü; 28 g/dk çamur beslemesi ile %60'ın üzerinde KM oranına ulaşılmıştır (Çizelge 3.2).

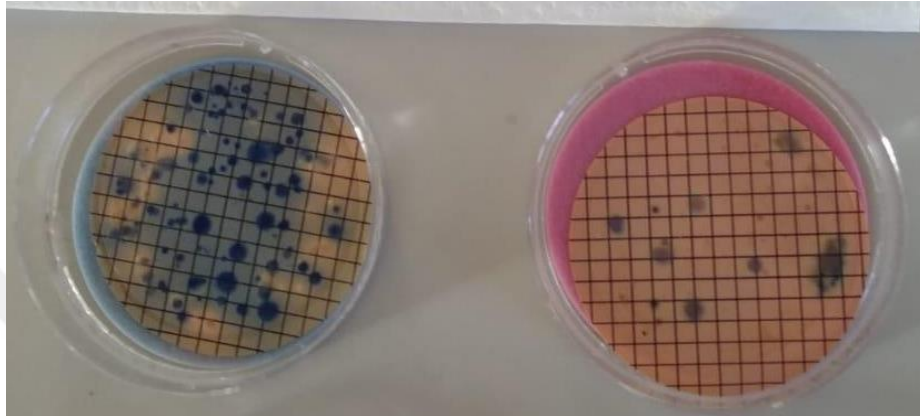
6 Ekim tarihli çalışma Çizelge 3.2'de görüldüğü üzere en fazla çamur beslenen çalışma olmuştur. Buna bağılı olarak atılan su buharı da diğer çalışmalara göre fazlalaşmış fakat yine de kurutma oranı düşük kalmıştır. Oluşan ısı enerjisi, çamurdaki suyu buharlaştırma konusunda etkin olmakla birlikte kurutucu içerisindeki nemin yeterince uzaklaştırılmadığı ve tüp içerisinde çiy oluşum sıcaklığının yakalanması ile tekrar yoğuşabildiği anlaşılmaktadır. Çizelge 3.2'de bulunan çıkış havası ortalama sıcaklık verileri göstermektedir ki; 6 Ekim tarihli çalışma için, sistem içerisinde geçen hava yaklaşık olarak diğer günlerde olduğu kadar ısınmıştır. En fazla çamurun beslendiği bu çalışmada; çamurun yüksek ısı çekerek, tahliye havası sıcaklığını diğer günlerden daha düşük hale getirmesi beklenirken, tahliye havası sıcak çıkmıştır. Hava sıcaklığının yüksek olması kurutma için yeterli değildir. Çünkü sıcak havanın yüksek mutlak nem içeriği, yoğuşma probleminin de önüne geçilmesini gerekli kılar. Yüksek sıcaklık ve neme sahip havanın çiy noktası sıcaklığı yükseldiği için, su buharı daha yüksek sıcaklıklarda yoğuşarak kurutmayı zorlaştırmıştır.

9 Ekim'de Saat 15:10'dan sonra hava durumu bulutlu duruma geçerek güneş ışınımı azalmıştır. Bu saatten sonrası ve öncesi için bir karşılaştırma yapıldığında; hava bulutlu hale geçmeden önce m³ hava başına atılan ortalama su buharı 28 gram iken, sonrasında 18 gram olmuştur (Ek-3). Sistem kısa süreli ışınım dalgalanmalarından görünür düzeyde etkilenmese de, uzun süreli güneş ışınım azalmaları kurutma için olumsuz etki oluşturmaktadır. Güneş enerjisi doğrudan buharlaştırmada kullanılmaktadır. Güneş enerjisindeki anlık değişiklikler, buharlaştırmayı da kısa sürede etkileyebilmektedir. Bu nedenle sabit kütleli debide çamur beslemek, sistemin mevcut hali için çok uygun olmayacaktır. Güneş radyasyonu, hava sıcaklığı ve neminin otomasyona bağılı takibi ile çamur beslemenin duruma göre değişken hızlarda yapılması daha yararlı olabilir.

Çizelge 3.2. Çamur beslemesinin yapıldığı farklı denemelere ait kurutma verileri (2018)

		3 Ekim		6 Ekim		9 Ekim		16 Ekim		1 Kasım	
Çamur Miktarı (g)		8,000		14,000		9,000		8,000		4,000	
Besleme Süresi (dk)		285		280		240		242		140	
Teorik operasyon süresi (dk)		315		310		270		272		170	
Kütlesel çamur debisi (g/dk)		28.07		50		37.5		33.1		28.6	
Güneş izleme süresi (dk)		285		280		220		242		140	
Genel meteorolojik durum		Açık		Açık		Bulutlu		Açık		Açık	
Güneş radyasyonu (W/m ²)	Min.	987		960		550		469		1,032	
	Ort.	1,060		1,046		904		882		1,047	
	Maks.	1,130		1,079		1,086		963		1,058	
Giriş hava sıcaklığı (°C) ve bağıl nem (%)		°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%
	Min	22.8	27	14.8	29	23	27	22	37	16	30
	Ort.	25	32	18.5	37	25	31	24	41	20	36
Çıkış hava sıcaklığı (°C) ve bağıl nem (%)	Maks.	26.6	37	21.3	45	26	35	26	47	21	51
	Min.	30.5	5	26.7	16	29	35	30	10	31	31
	Ort.	39	53	37.5	71	33	69	35	62	34	55
Odaklama tüpü sıcaklığı (°C)	Maks.	73	88	56	89	37	86	60	88	42	75
	Min.	65		60		40		40		50	
	Ort.	77		82		68		72		68	
Ham çamur KM oranı (%)	Maks.	88		109		78		110		80	
	Ort.	22.5		19		19		18		21	
	Min.	52.3		32.7		43		47		64	
Ortalama kurutulmuş çamur KM oranı (%)		52.3		32.7		43		47		64	
Giriş hava ortalama mutlak nem (g/m ³)		7.32		5.81		7.12		9.05		6.13	
Çıkış hava ortalama mutlak nem (g/m ³)		24.32		34.05		25.15		23.5		20.86	
Çıkış-giriş hava ortalama mutlak nem farkı (g/m ³)		17		28.25		18.03		14.5		14.73	
Elektrik tüketimi (kWh)		2.5		2.4		1.9		1.9		1.3	
Toplanan güneş enerjisi (kWh)		21.7		21		14.3		15.3		10.5	

Deneme çalışmalarından bir tanesi için koliform analizi yapılmıştır (01.11.2018). Yapılan analizin sonucu Şekil 3.2’de görülmektedir. KM oranı %21’den %72’ye yükselmiş çamurda FK yaklaşık %96 azalmıştır. Başlangıçta çamur kekinde 39 milyon FK/(g KM) bakteri bulunmaktayken, kurutulan çamurda 1.5 milyon FK/(g KM) bakteri bulunmaktadır. Çamurun ısı enerjisine maruz bırakılarak kurutulması, patojen giderimi için de etkili olmaktadır.

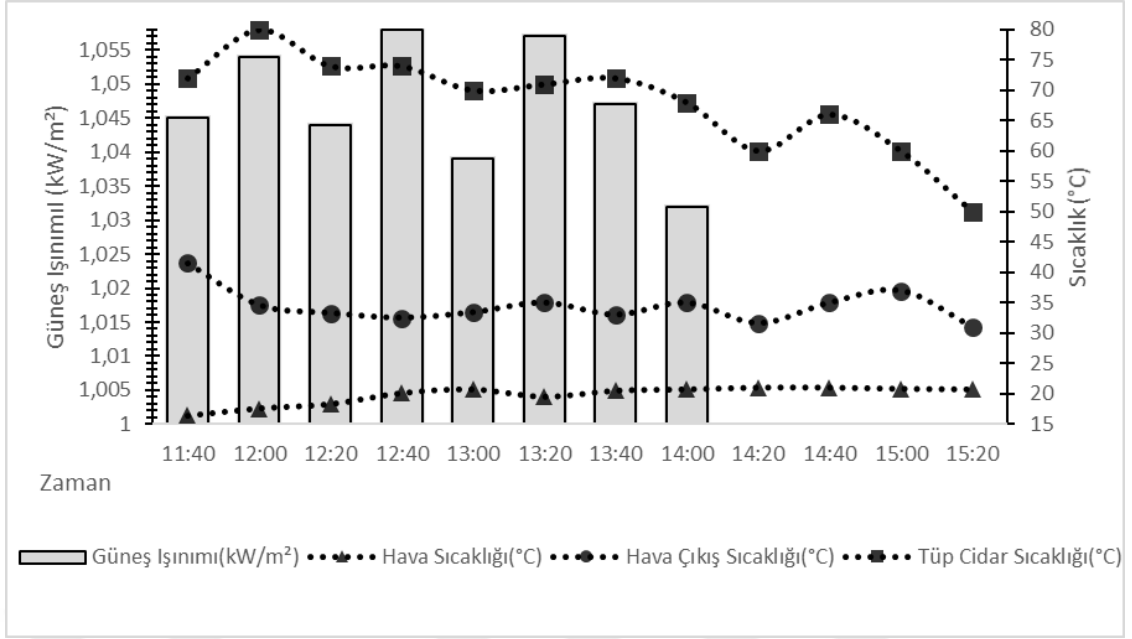


Şekil 3.2. Islak çamur ve kurutulmuş çamurdaki koliform bakterilerinin azalması (01.11.2018)

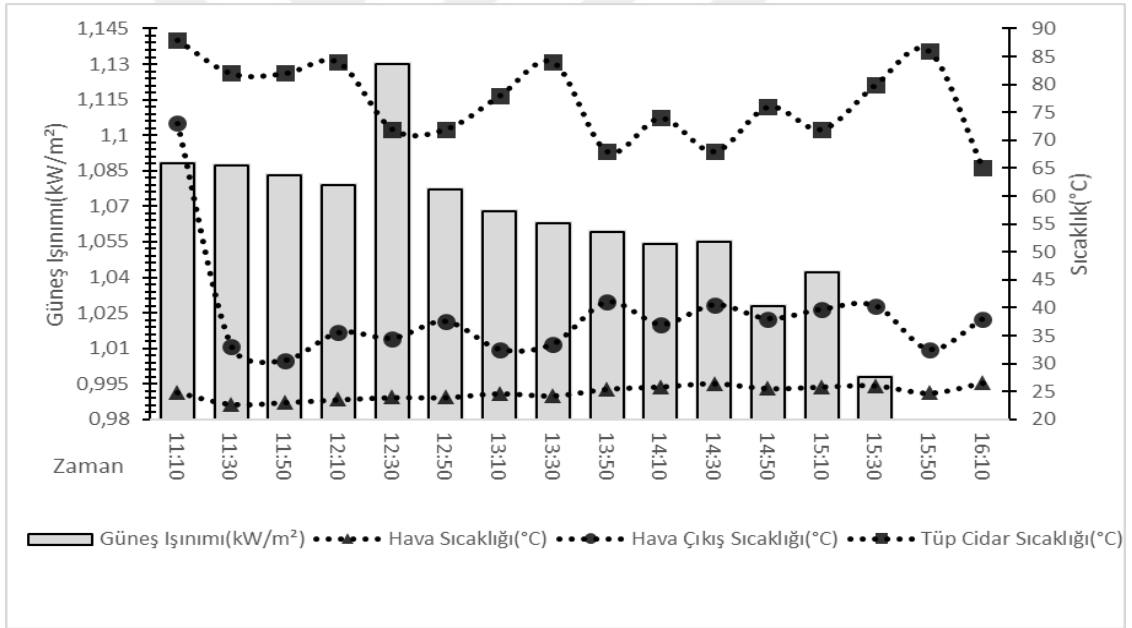
3.2.1. Güneş radyasyonu sıcaklık ilişkileri

Kasım ayı birinci günü yapılan çalışmada (Şekil 3.3), çıkış hava sıcaklığı başlangıçta 41.5 °C iken, güneş ışınımının artmasına rağmen düşmeye başlamış ve saat 12:00’de 34.6 °C olarak ölçülmüştür. Çalışma başlangıcında sistemdeki mevcut ısının, çamur besleme ile birlikte, önemli bir kısmının beslenen çamurun suyunu buharlaştırmak üzere harcadığı ve hava ile tahliye edilen ısı miktarının azaldığı anlaşılmaktadır. Saat 14:00’de çamur besleme ve saat 14:20’de güneş izleme sona ermiştir. Güneş izleme sona erdikten sonra tahliye edilen hava sıcaklığında artma gözlenmiştir. Çamur besleme işlemi bittikten sonra, sistemde artakalan çamurların dışarıya atılması sonucu çamura olan ısı aktarımının zamanla azalması ve ısının havaya aktarılması bunun nedeni olarak belirtilebilir. Diğer çalışma günlerinde de buna benzer durumlar görülmektedir (Şekil 3.4 - Şekil 3.7)

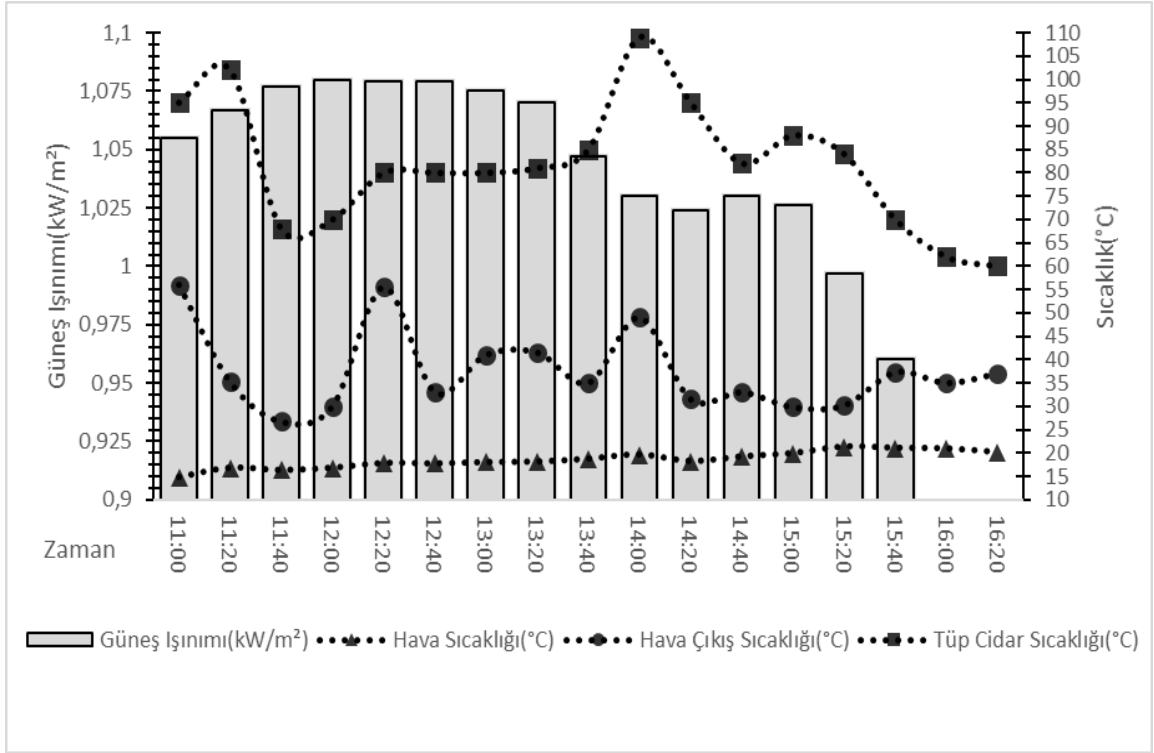
Sisteme çamur besleme işlemi (Şekil 3.3) sadece hava beslemeye göre (Şekil 3.1) çıkış hava sıcaklığının ortalama 18 °C, tüp sıcaklığının 13 °C düşmesine sebep olmuştur.



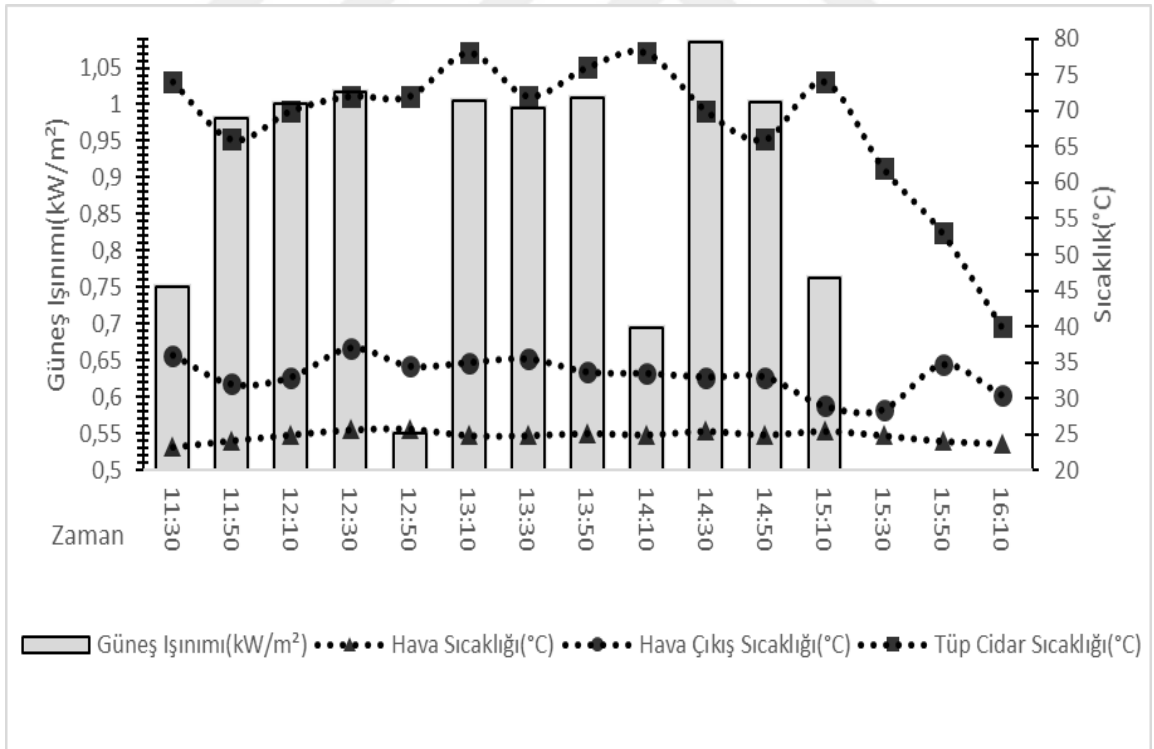
Şekil 3.3. 01 Kasım 2018 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi



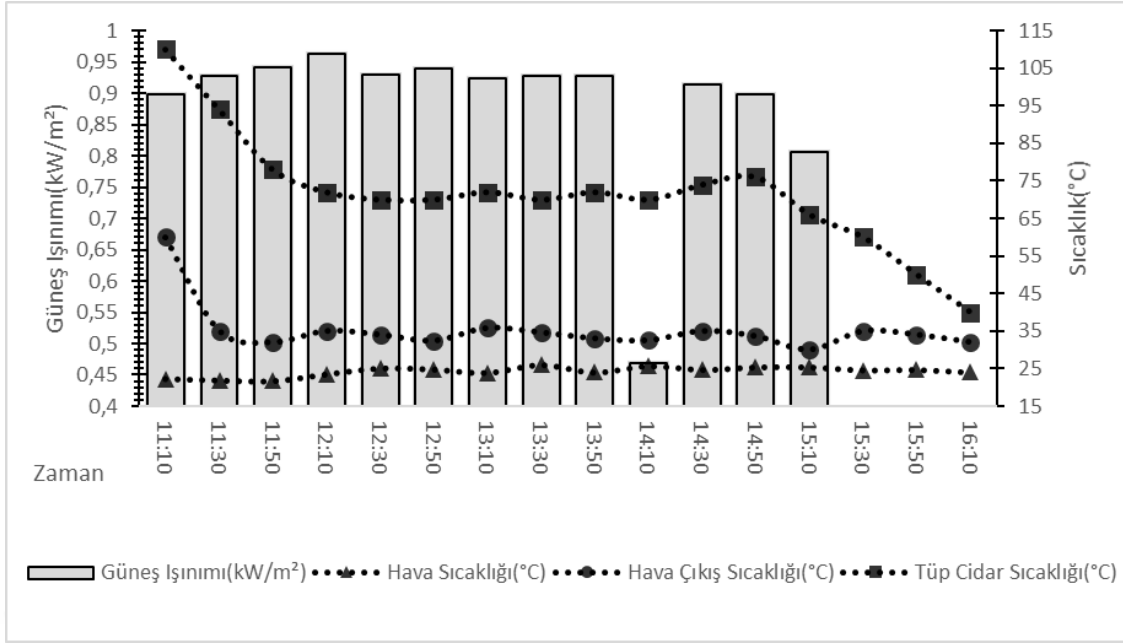
Şekil 3.4. 03 Ekim 2018 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi



Şekil 3.5. 06 Ekim 2018 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi



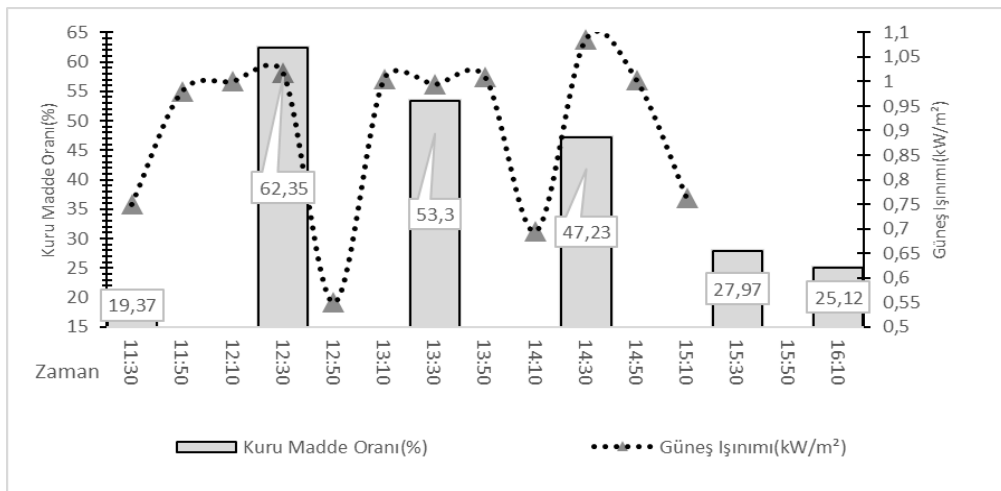
Şekil 3.6. 09 Ekim 2018 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi



Şekil 3.7. 16 Ekim 2018 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi

3.2.2. Anlık radyasyonun kurutmaya etkisi

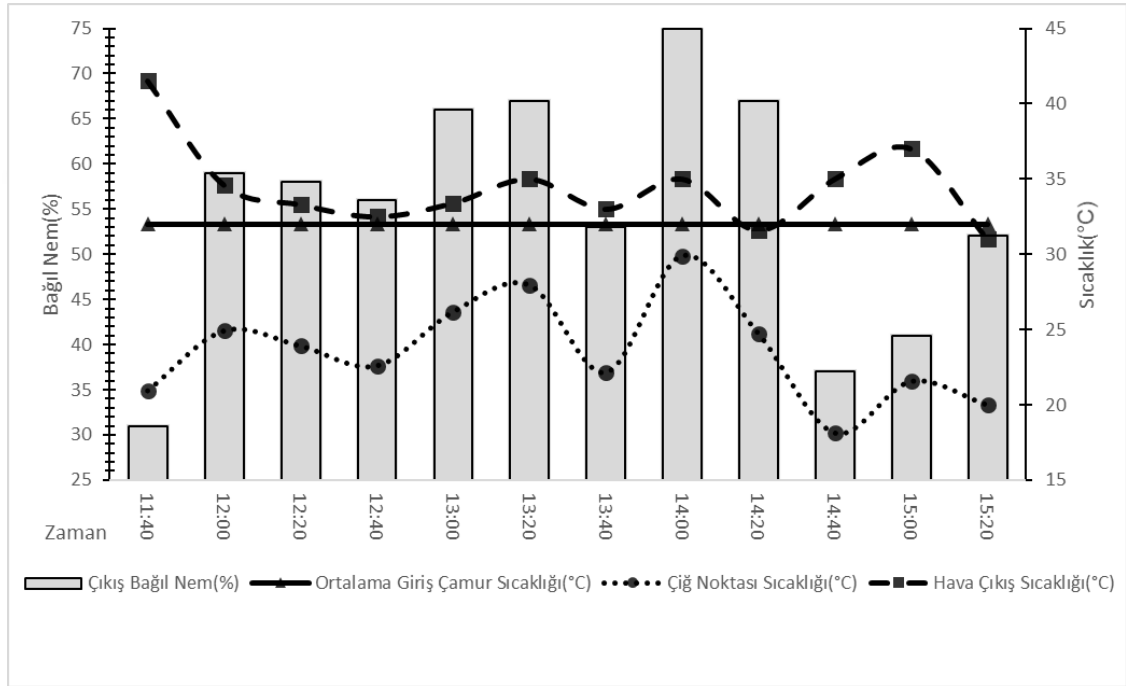
Güneş radyasyonu bulutlanma nedeni ile kesildiği zamanlarda, kurutma performansı doğrudan etkilenmektedir. Radyasyonun düştüğü durumlarda, aynı kütleli debide çamur beslemeye devam etmek, kurutmayı olumsuz etkilemektedir. 09 Ekim 2018 tarihinde gerçekleştirilen deneylerde çamur KM oranının hava bulutlandıktan sonra, 15:10 itibariyle ciddi oranda azalması gözlenmiştir (Şekil 3.8). Hava durumu kapalı hale gelmeden önce ortalama kuruluk %54,3 iken, daha sonrasında yapılan KM ölçümlerinin ortalaması %26,5 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.8. Güneş radyasyonu- KM oranı ilişkisi (9.10.2018)

3.2.3. Bağıl nem, çiy noktası sıcaklığı ve ham çamur sıcaklığı ilişkisi

Çamur ortalama KM oranı en yüksek olan çalışmanın yapıldığı 1 Kasım tarihinde, psikrometrik hesap programından (Minami ve ark., 2018) elde edilen çiy noktası sıcaklıkları Şekil 3.9'de gösterilmektedir. Ham çamur kekinin ortalama sıcaklığı 32 °C olarak kaydedilmiştir. Çiy noktası sıcaklıkları Şekil 3.9'da görüldüğü üzere bağıl nem ile benzer şekilde artma ve azalma eğilimi göstermektedir.

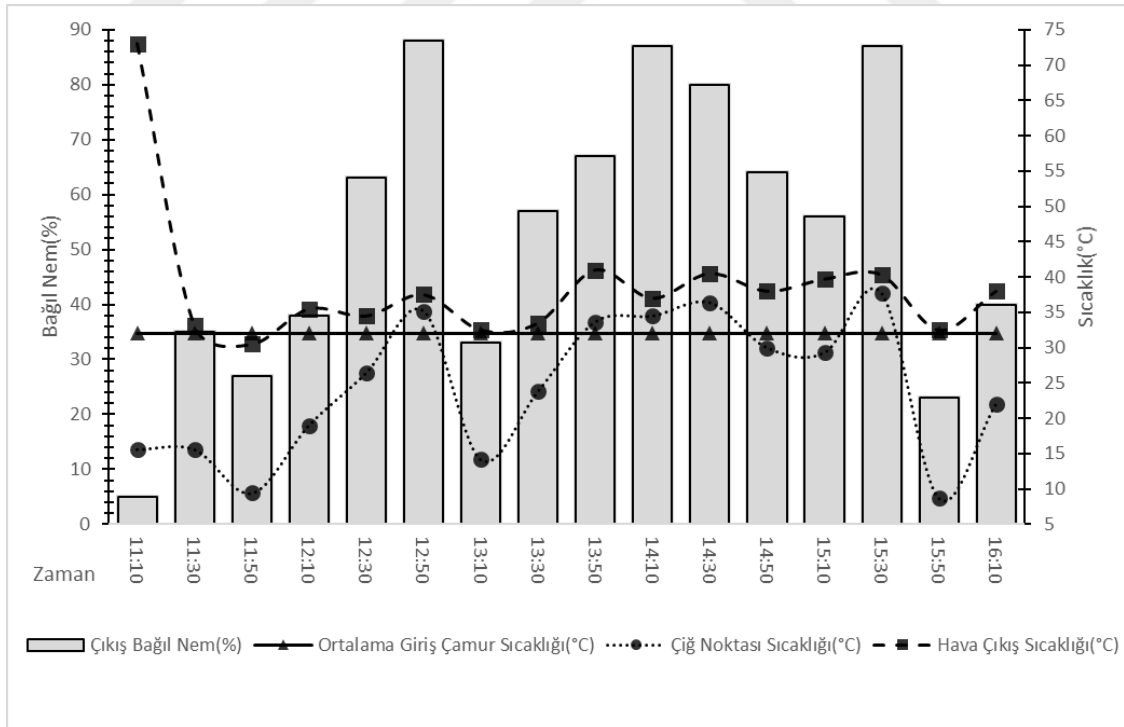


Şekil 3.9. Bağıl nem, sıcaklık ve çiy noktası arasındaki ilişki (1.11.2018)

KT içerisinde yeni beslenen giriş çamuru ile tüp içerisinde ısınan ve mutlak nemi artan hava birbirine zıt istikamette hareket etmektedir. Çamurun yeni beslendiği yerde, doymun ve sıcak kurutma havası tahliye edilmektedir. Hava akım yönünün bu şekilde seçilmesi, ısınan havanın taze çamuru ısıtması bakımından iyi bir tercih olabilir. Ancak çiy noktası sıcaklığının çamur sıcaklığını aştığı durumlarda, sıcak ve nemli hava bir miktar su buharını çamur yüzeyinde yoğunlaştırdıktan sonra tahliye edildiği tespit edilmiştir. Bu da çamurun sulanmasına ve nem oranının tekrar artmasına neden olmuştur. Bu yüzden seçilen hava yönünün kuruluşu arttırmak için olumsuz etki yapabildiği belirlenmiştir. Ekim Ayı'nın üçüncü günü yapılan deneme çalışmasında; çiy noktası sıcaklığının bazı zaman aralıklarında ortalama giriş çamur sıcaklığının üzerine çıktığı görülmektedir (Şekil 3.10). Bu durum sisteme beslenen taze çamurun yüzeyinde

yoğuşma olmasına ve buharlaştırılıp çamurdan uzaklaştırılmak istenen su buharının tekrar suya dönerek çamuru sulandırmasına sebep olabilmektedir. Ancak 1 Kasım tarihli çalışmada, böyle bir duruma rastlanmamıştır (Şekil 3.9).

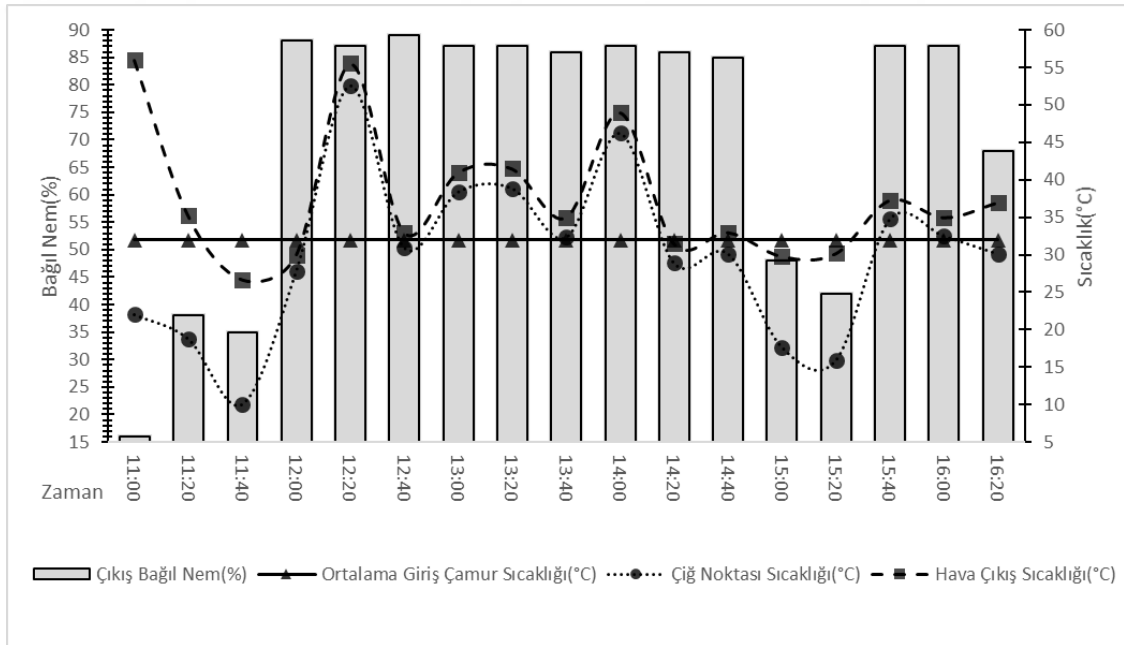
Kasım 1 ve Ekim 3 tarihli çalışmalar Çizelge 3.2’de de görüldüğü üzere çamur besleme debisi başta olmak üzere bütün özellikler bakımından birbirine benzemektedir. Ancak ortalama KM oranları bakımından 3 Ekim tarihli deneme daha az kuruluk oranına ulaşmıştır. Bunun sebebi büyük oranda, burada sözünü ettiğimiz çiy noktası sıcaklığının çamur sıcaklığını aşmasına bağlı olarak çamur sulanması olabilir. Bağıl nem verileri de bu değerlendirmeyi doğrulamaktadır. Şekil 3.9’da bağıl nem verilerinin en fazla %75 seviyesine çıktığı, Şekil 3.10’da ise bağıl nemin %88 seviyelerine kadar ulaştığı görülmektedir. Bağıl nem verileri ile birlikte çiy noktası sıcaklıkları da artıp azalmaktadır. Bağıl nem değerleri, havanın su buharını taşıyabilme kapasitesini gösterdiğine göre; %88 bağıl neme sahip havanın kapasitesi neredeyse dolmuş demektir. Dolayısıyla bağıl nem ne kadar artıyorsa, nemin yoğuşarak suya dönme ihtimali o kadar artmaktadır. Bu durum hava akım yönü tersine çevrilerek çalışmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır.



Şekil 3.10. Bağıl nem, sıcaklık ilişkisi (3.10.2018)

Çiy noktası sıcaklıklarındaki değişim, havanın bağıl nemi ile sıcaklığına bağlıdır ve çiy noktası sıcaklıklarının yükseldiği durumlarda nem daha yüksek sıcaklıklarda yoğunlaşarak suya dönmektedir. Bu durum oluşan ısıнын yeteri kadar suyu buharlaştırabildiği halde, nemli havanın bir miktarının tekrar yoğunlaşmaya uğrayarak çamur su oranını artırdığı kanısını güçlendirmektedir.

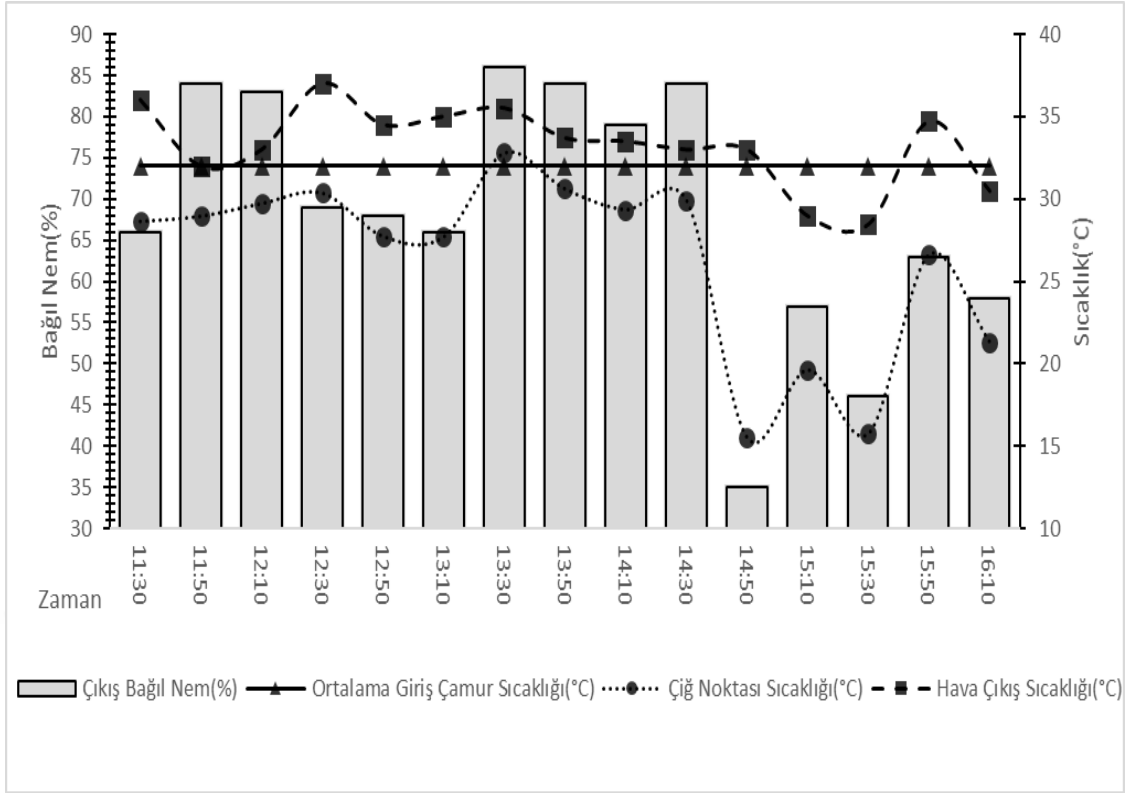
Şekil 3.11’de Şekil 3.10 için anlatılanlara benzer bir görünüş oluşmakla birlikte daha fazla çamur beslenmesi sebebi ile bağıl nem değerleri yapılan ölçümlerin 2/3’ünde %85’den daha büyük çıkmıştır. En yüksek bağıl nem değeri ise %89 olarak ölçülmüştür. Sıcak ve doygun hava, yüksek çiy noktası sıcaklığının altında kalan sıcaklıktaki yüzeylerde ve özellikle yeni beslenen çamur yüzeyinde yoğunlaşabilmektedir.



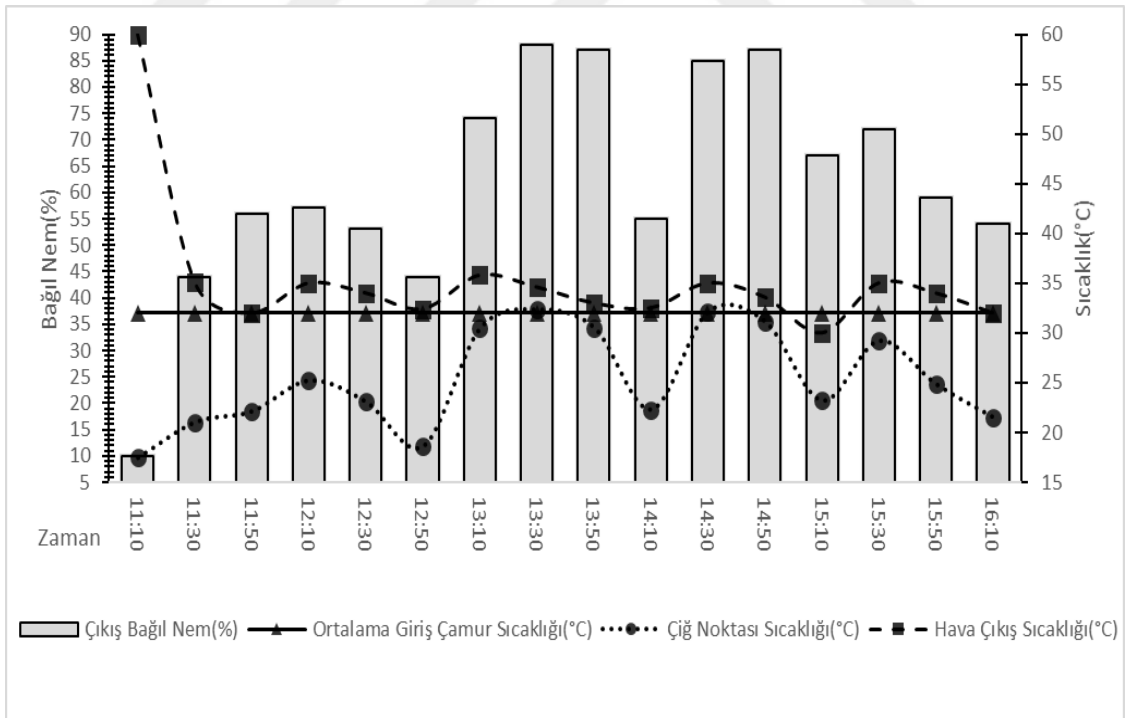
Şekil 3.11. Bağıl nem, sıcaklık ilişkisi (6.10.2018)

Şekil 3.12’de çiy noktası sıcaklıklarının ortalama ham çamur sıcaklığını çoğunlukla aşmadığı görülmektedir. Çamur KM oranları ile birlikte yorumlanırsa (Şekil 3.8), nemin çok fazla yoğunlaşma olmadan atıldığı fakat saat 15:10 sonrasında havanın kapanması ile kurutma veriminin düştüğü görülmektedir. Ortalama KM oranının %43 seviyesinde olması (Çizelge 3.2), son saatlerdeki enerji yetersizliği sebebiyledir.

Ortalama güneş radyasyonu en düşük olan günde, çiy noktası sıcaklıkları ve bağıl nem değişimi ise Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.12. Bağlı nem, sıcaklık ilişkisi (9.10.2018)



Şekil 3.13. Bağlı nem, sıcaklık ilişkisi (16.10.2018)

3.3. Hava Akımı ile Aynı Yönlü Çamur Kurutma Denemeleri

Çalışmalar 2019 yılı yaz aylarında yapılmıştır. Denemelere ait detaylı sonuçlar; Ek-5, 6, 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir. Havalandırma yönü ile çamurun ilerleme yönü aynı yönde yapılarak, yeni beslenen çamurun yüzeyinde yoğunlaşma potansiyelinin azaltılması amaçlanmıştır.

Yaz aylarında güneş radyasyonu daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yeteri kadar çamur yüklemesi yapılmadığı zaman, KT sıcaklığı çok fazla yükselmekte, hatta çıkış havasının sıcaklığı 80 °C'nin üzerine çıktığı için sensör sıcaklık değerini okuyamayarak hata vermektedir (Çizelge 3.3., 30 Mayıs denemesi). Başka bir deneme gününde, sistem başlangıçta aşırı ısınmış ve oluşan ısı KT içerisinde önceden kalmış olan kuru çamur tanelerinin tamamen yanmasına sebep olmuştur (Şekil 3.14). Güneşlenme durumu normal seyrederken, bir anda bulutlu hava şartlarının hâkim olduğu zamanlarda ise sistem sabit hızda beslenen çamuru istenilen düzeyde kurutamamaktadır. Bu durum, büyük ölçekli bir çalışma yapıldığı zaman; KT içerisinde sürekli nem ve sıcaklık takibi yaparak, koşullara göre havalandırmayı, güneş takibini ve çamur ilerleme hızını otomatik kontrol edecek bir otomasyon sistemini gerekli kılmaktadır. Otomasyon aynı zamanda, yetersiz kurutma şartları oluştuğunda, havalandırma hızını, çamur ilerleme hızını düşürecek, böylece daha kararlı bir sistem elde edilebilecektir. Salihoğlu (2018) denemesini yaptığı patentli bantlı kurutma sisteminde (Salihoğlu, 2016) bu şekilde otomasyon ile kontrol sağlayarak, daha verimli kurutma sağlandığını belirtmiştir.

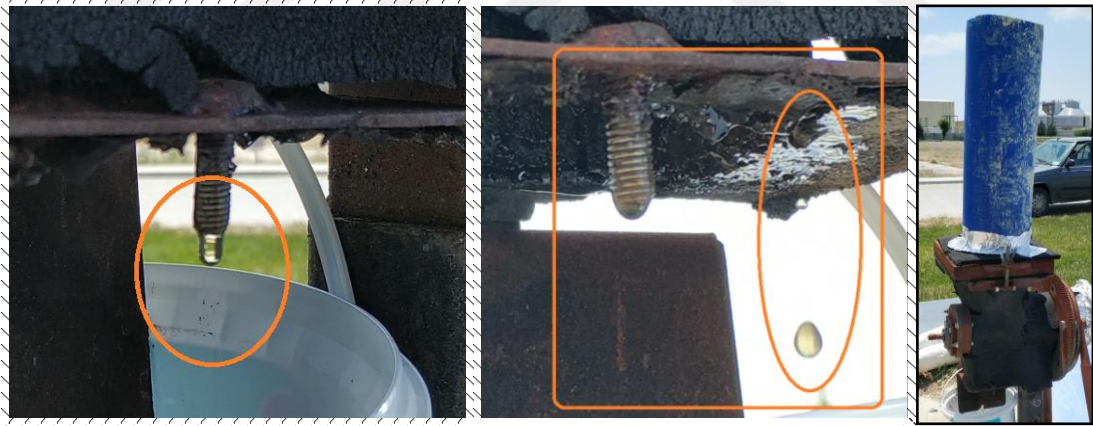


Şekil 3.14. Tüp içerisinde kalmış olan kuru çamurların yanması.

Çizelge 3.3. Çamur ve hava beslemesinin aynı yönde yapıldığı bahar-yaz dönemine ait kurutma verileri (2019)

		13 Mayıs		30 Mayıs		16 Temmuz		6 Ağustos		29 Ağustos			
Çamur Miktarı (g)		6,000		10,500		5,500		9,500		5,500			
Besleme Süresi (dk)		105		200		60		300		330			
Teorik operasyon süresi (dk)		135		240		360		360		360			
Kütlesel çamur debisi (g/dk)		57.14		52.5		15.28		31.67		16.67			
Güneş izleme süresi (dk)		135		140		360		360		360			
Genel meteorolojik durum		Açık		Bulutlu		Açık		Parçalı bulutlu		Açık			
Güneş radyasyonu (W/m ²)		Min.		1,015		328		275		450			
		Ort.		1,041		872		946		913			
		Maks.		1,060		1,014		1,065		1,415			
Giriş hava sıcaklığı (°C) ve bağıl nem (%)		°C		%		°C		%		°C			
		Min		23		24		29.3		18		23.6	
		Ort.		24.9		25.9		33		22.7		27.6	
Çıkış hava sıcaklığı (°C) ve bağıl nem (%)		Min.		60		7		40		5		35	
		Ort.		74.3		18.1		58		55.2		45.5	
		Maks.		79		35		>80		89		65	
Odaklama tüpü sıcaklığı (°C)		Min.		74		60		39.5		33		48	
		Ort.		90.4		80.4		64.3		60		80.6	
		Maks.		98		100		75		75.5		94	
Ham çamur KM oranı (%)		20		26		19.8		20.9		27			
Ortalama kurutulmuş çamur KM oranı (%)		38.05		45		90		51.7		56.3			
Giriş hava ortalama mutlak nem (g/m ³)		5.9		8		10		8.8		9.5			
Çıkış hava ortalama mutlak nem (g/m ³)		46.1		58.6		52.3		48.9		33.6			
Çıkış-giriş hava ortalama mutlak nem farkı (g/m ³)		40.2		50.6		42.3		40.1		24.1			
Ham Çamur sıcaklığı(°C)		35		33		29		28		38			
Elektrik tüketimi (kWh)		1.13		2		3		3		3			
Toplanan güneş enerjisi (kWh)		10.13		8.75		24.4		23.56		26.13			

Kurutma işleminde, su buharının, havanın çiy noktası sıcaklığının altında olduğu bir yüzeyde yoğunlaşarak tekrar su olarak sisteme girişim yapması en önemli sorunlardan birisi olarak görülebilir. Hava yönünün değiştirilmesi, su buharının başka bir yüzeyde yoğunlaşmayacağı anlamına gelmemektedir. Çizelge 3.3'te 13 Mayıs tarihli deneme çalışmasında oluşan sıcaklıklar ve tahliye havasının mutlak nemi yüksektir; fakat KM oranları çok yükselmemiştir. Bunun nedeni ise çamur çıkışında ve hava çıkışında bulunan yüzeylerde, yoğunlaşmaların olması; yoğunlaşan suların tekrar kuru çamurlara karışarak girişimde bulunması olabilir. Bu durum, 16 Temmuz tarihli denemede (Çizelge 3.3) detaylı olarak incelenmiştir. Çamur çıkışında metal yüzeylerde yoğunlaşma gözlemlenmiş, su damlaları numune kabı içerisine damlayarak kuru çamurlara girişim yapmıştır (Şekil 3.15). Rüzgârın kuvvetli estiği anlarda, rüzgâr kuvveti havalandırmanın etkinliğini zayıflatabilmektedir. Hava tahliye bacasında, rüzgâr kuvveti ile oluşan baskılar, nemli havanın dışarı atılmasını zaman zaman engelleyerek, çıkışta yoğunlaşmayı artırmaktadır. Bunun için çözüm olarak hava tahliye bacası üzerine 45 cm boyunda plastik boru yerleştirilerek, nemli havanın daha etkin bir şekilde tahliyesi hedeflenmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Su buharının çamur tahliye noktasında bulunan metal yüzeylerde yoğunlaşarak, kurumuş çamurların döküldüğü numune kabına girişim yapması ve havalandırma bacasının uzatılması (16.07.2019)

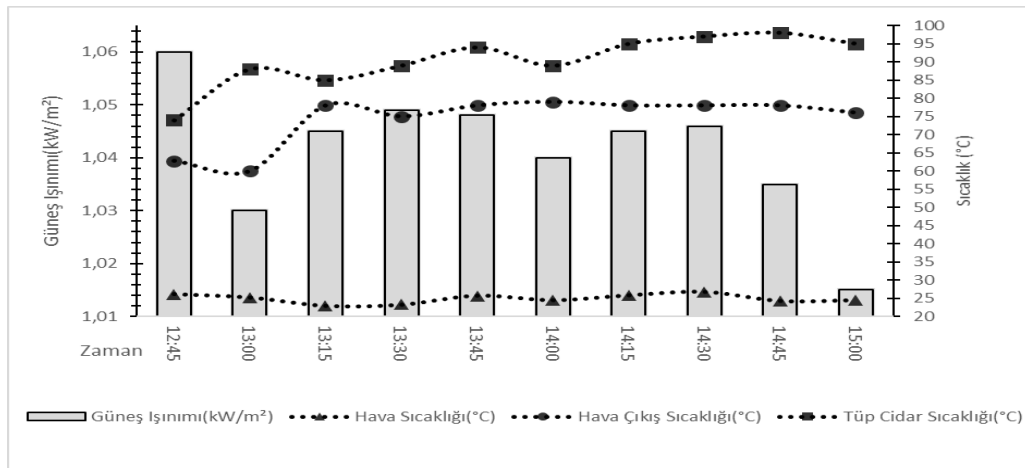
Temmuz ayının 16. gününde yapılan denemede (Çizelge 3.3), ilk 60 dakika boyunca ham çamur beslenmiştir. Daha sonra besleme durdurulmuş, içerden çıkan çamur geri sisteme beslenmiştir. Bu şekilde maksimum kuruluğa ulaşılan kadar sistem çalıştırılmıştır. Sistemde 300 dk kalan 5.5 kg AÇ %90 ve üzerinde kuruluğa ulaşmıştır (Ek-8). Bu durumda, 92 g/dk çamur besleme yapılarak altı adet seri bağlı kurutucu ile

veya 15 g/dk besleme yapılarak bir adet kurutucu ile %60-%90 aralığında KM oranına ulaşmak mümkün görünmektedir.

Ağustosun 6'sında yapılan koliform analizinde, KM oranı %21'den %55 oranına çıkarılan çamur numunesinde FK yaklaşık %95 oranında azalmıştır. %21 oranında KM'ye sahip giriş çamurunda bulunan 6.7 milyon FK/(g KM); %55 KM oranına ulaşmış çamurda 0.35 milyon FK/(g KM) civarına düşmüştür.

3.3.1. Güneş radyasyonu sıcaklık ilişkileri

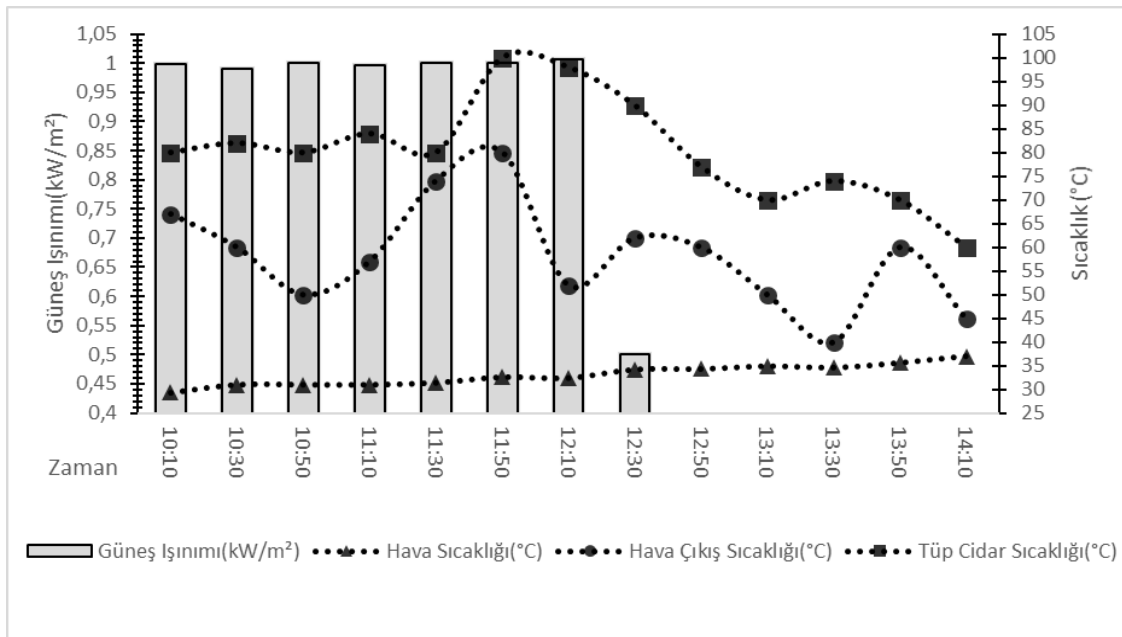
13 Mayıs tarihinde yapılan çalışmada, hava ortalama 25 °C olarak seyretmiştir. Sistemden geçerek ısınan hava ise, ortalama 74 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.16). Havanın sıcaklığı ortalama 50 °C artmıştır. KT içerisinden aynı zamanda arıtma çamuru da geçerken tahliye edilen havanın sıcaklığının bu kadar yükselmiş olması buharlaştırma performansı açısından olumlu bir durumdur. Çıkış hava sıcaklığının ölçülen maksimum değeri 79 °C'dir ve daha yüksek sıcaklıklara ulaşabilecektir. Fakat hava sıcaklığını ölçen cihaz maksimum 80 °C'ye kadar ölçüm yaptığından, bu seviyeye gelmeden ölçümler sonlandırılmıştır. KT içerisine giren havanın mutlak nemi ortalama 40 (g su)/(m³ hava) artmıştır. Buna rağmen, %20 KM içeriğinden ortalama %38 KM içeriğine ulaşılabilmiş, daha yüksek KM oranı seviyelerine ulaşılmamıştır (Çizelge 3.3). Bu durum, oluşan su buharının, tekrar sıvı hale geçmeden önce sistemden hava ile birlikte tahliye edilebilmesi ile ilgilidir. Otomatik kontrol edilen bir sistem ile KT iç ortam şartlarına göre değişen havalandırma hızlarına olan ihtiyaç burada da ön plana çıkmaktadır.



Şekil 3.16. 13 Mayıs 2019 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi

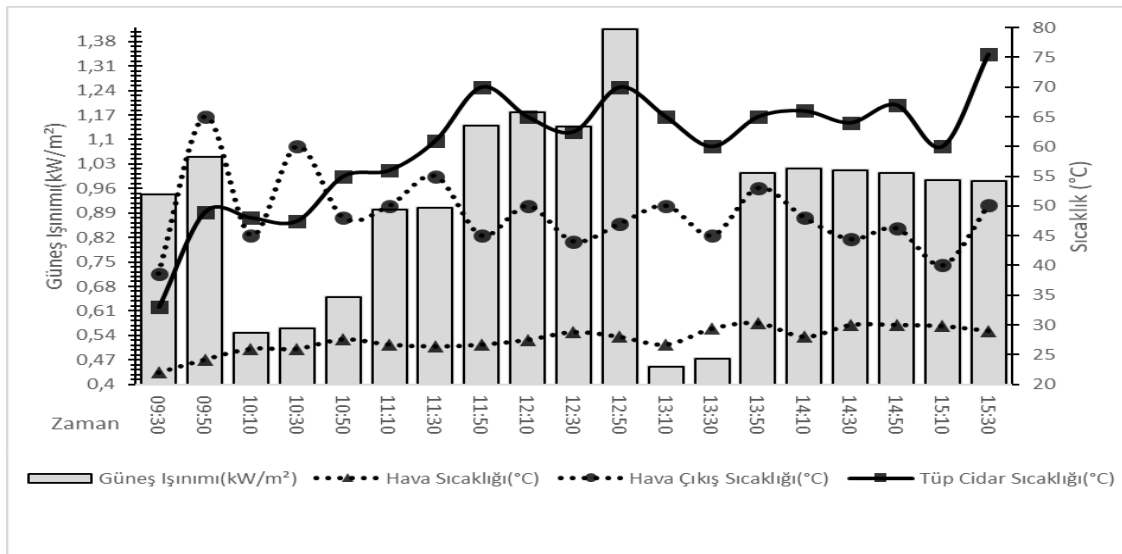
30 Mayıs tarihinde yapılan çalışmada saat 12:30'dan sonra hava bulutlanmış ve güneş takibi sona ermiştir. Güneş takibi sona ermeden önce hava KT içerisine ortalama 32 °C girmiş ve 63 °C olarak çıkmış; sıcaklığı 31 °C artmıştır. Güneş takibi sona erdikten sonra ise, hava KT içerisine ortalama 35 °C olarak girmiş ve 51 °C olarak çıkmış; sıcaklığı 16 °C artmıştır (Ek-7). Güneş takibi bittikten sonra KT içerisinden tahliye edilen havanın en düşük sıcaklık seviyesine ulaşması; içeride hala çamur bulunmasına rağmen yaklaşık bir saat sürmektedir (Şekil 3.17). Güneş takibi bitmeden önce ve sonra, çamur KM oranı %26'dan ortalama %49 ve %41'e ulaşmıştır (Ek-7). Kısa süreli radyasyon azalmaları için, daha az çamur beslenmek üzere helezon hızının otomatik olarak düşmesini sağlamak, değişken debilerde fakat sabit KM oranında kuru çamur elde edilmesini mümkün kılacaktır.

Sabit bir kuru çamur debisi elde etmek ve bulutlanmalardan etkilenmemek için ek ısı kaynağı kullanımı fayda sağlayacaktır. Ek ısı atık ısı kaynaklarından sağlanabileceği gibi, fosil yakıt kullanımı ile de sağlanabilir. Bu durumda güneş enerjisi ile çalışan sistem ihtiyaca göre başka kaynaklarla desteklenerek hibrit ve çevre dostu kurutma teknolojileri geliştirilebilecektir. Güneş enerjisinden elde edilen ısıyı akışkanlara depolayan kolektörlerin sisteme dâhil edilmesi de mümkün olabilir. Bu ise kısa süreli güneş radyasyonu düşüşlerine karşı sistemi daha istikrarlı hale getirebilecektir.



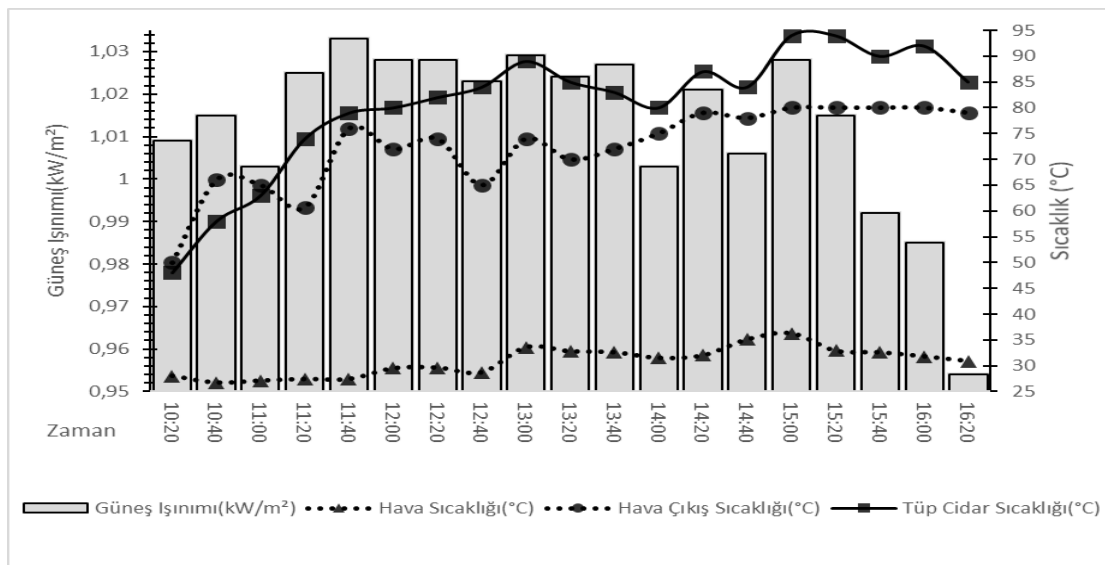
Şekil 3.17. 30 Mayıs 2019 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi

Ağustos ayının 6'sında yapılan çalışmaya ait radyasyon ve sıcaklık değişimi Şekil 3.18'de görülmektedir.



Şekil 3.18. 6 Ağustos 2019 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi

Ağustos ayının 29'unda yapılan çalışmada, ortalama güneş radyasyonu 1 kW/m^2 olarak gerçekleşmiştir. Hava sıcaklığı ortalama $30,9 \text{ }^\circ\text{C}$ iken, KT içerisinde geçerek ısınan hava sıcaklığı ortalaması $72,4 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükselmiştir (Çizelge 3.3). Hava sıcaklığının $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıktığı görülmüştür. Cam kılıfın hemen bitiminde, havanın tahliye edildiği tarafta KT metal sıcaklığı en yüksek $94 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ulaşmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. 29 Ağustos 2019 tarihine ait güneş radyasyonu-sıcaklık değişimi

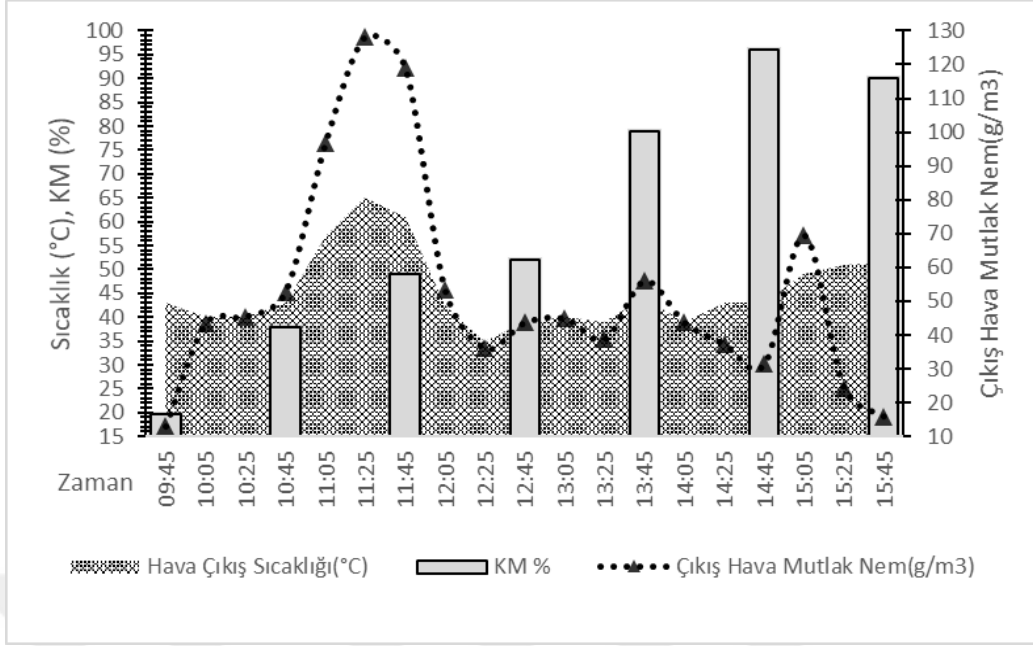
Parçalı bulutlu hava şartlarının etkili olduğu 6 Ağustos tarihinde ortalama güneş radyasyonu, açık hava şartlarının etkili olduğu 29 Ağustos tarihindeki güneş radyasyonundan 100 W/m^2 daha düşük gerçekleşmiştir. Aynı zamanda çamur besleme debisi de 6 ağustos tarihinde, 29 ağustos denemesinde beslenen çamurun yaklaşık iki katıdır. Buna bağlı olarak KT içerisinde geçen havanın ortalama sıcaklık artışındaki fark, 29 ve 6 Ağustos tarihleri için yaklaşık $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. KT metal cidar ortalama sıcaklıkları da iki tarih arasında yaklaşık $20 \text{ }^\circ\text{C}$ farklıdır (Çizelge 3.3; Şekil 3.18; Şekil 3.19).

3.3.2. Katı madde oranı, mutlak nem ve sıcaklık ilişkileri

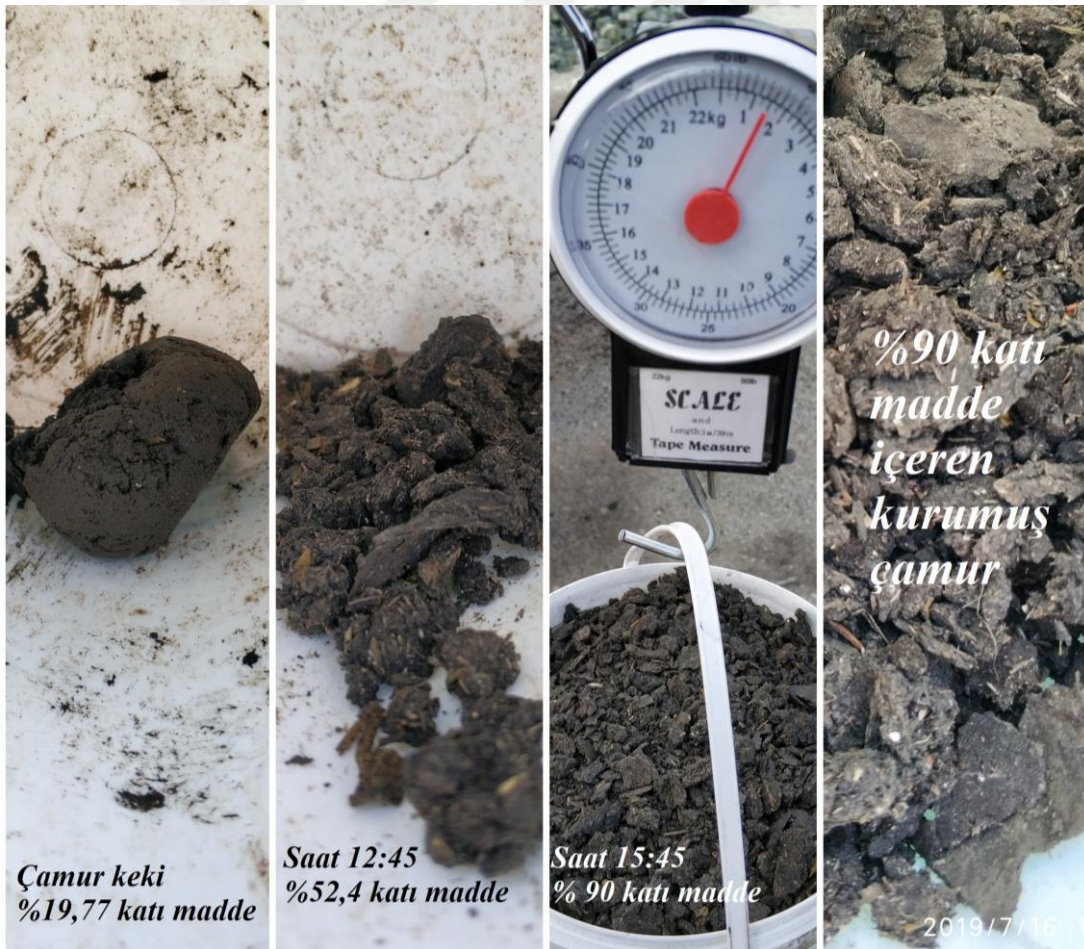
Temmuz ayının 16'sında, çalışmanın ilk bir saati boyunca sisteme çamur beslemesi yapılmıştır. Beslenen çamurun ağırlığı 5.5 kg 'dır. Bu durumda dakikada yaklaşık 90 g çamurun %20 KM içeriğinden %38 KM içeriğine ulaştığı sonucuna varılmaktadır. Çalışma başlangıcından bir saat sonra, çamur keki besleme işlemi durdurulmuş, bu andan itibaren KT içerisinde çıkan kurumuş çamur KT içerisine geri beslenmiştir. Bu şekilde maksimum kuruluğa ulaşılan kadar geri beslemeye devam edilmiştir. Sisteme giren 5.5 kg AÇ 300 dk KT içerisinde kaldığında KM içeriği %90 ve üzerine çıkmıştır (Ek-8). Mevcut kurutucu için, %20 KM içeriğine sahip çamur kekinden 15 g/dk besleme yapılırsa %90 KM içeriğine ulaşacağı teorik olarak tahmin edilebilir.

Başlangıçta su içeriği yüksek çamur keki sisteme verilmeye başlanmış (16.07.2019), KT içerisinde tahliye edilen havanın taşıdığı su buharı miktarı $120 \text{ (g su)/(m}^3 \text{ hava)}$ seviyelerine kadar ulaşmıştır. Çamur kurudukça ve suyu azaldıkça doğal olarak tahliye edilen havanın taşıdığı su buharı da giderek azalma eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte, çamurun ihtiva ettiği su da giderek azalmaktadır. Çamur kuruluğu zamanla artarken, tahliye edilen havanın sıcaklığı da saat 12:25 itibari ile giderek artmaktadır. Bunun sebebi; çamur su içeriği azaldıkça, buharlaştırma için harcanan ısı enerjisinin artık yalnızca havayı ısıtmaya başlamasıdır. Tüm bu ilişkileri Şekil 3.20 özetlemektedir.

Yapılan denemede (16.07.2019) 5.5 kg çamur keki %20 KM içeriğinden %90 KM içeriğine ulaştığında ağırlığı yaklaşık 1.5 kg seviyesine inmiştir. Kurutma ile çamurdaki değişimi göstermek amacı ile çamur numuneleri fotoğraflanmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.20. KM oranı, mutlak nem ve tahliye havası sıcaklığı ilişkisi (16.07.2019)



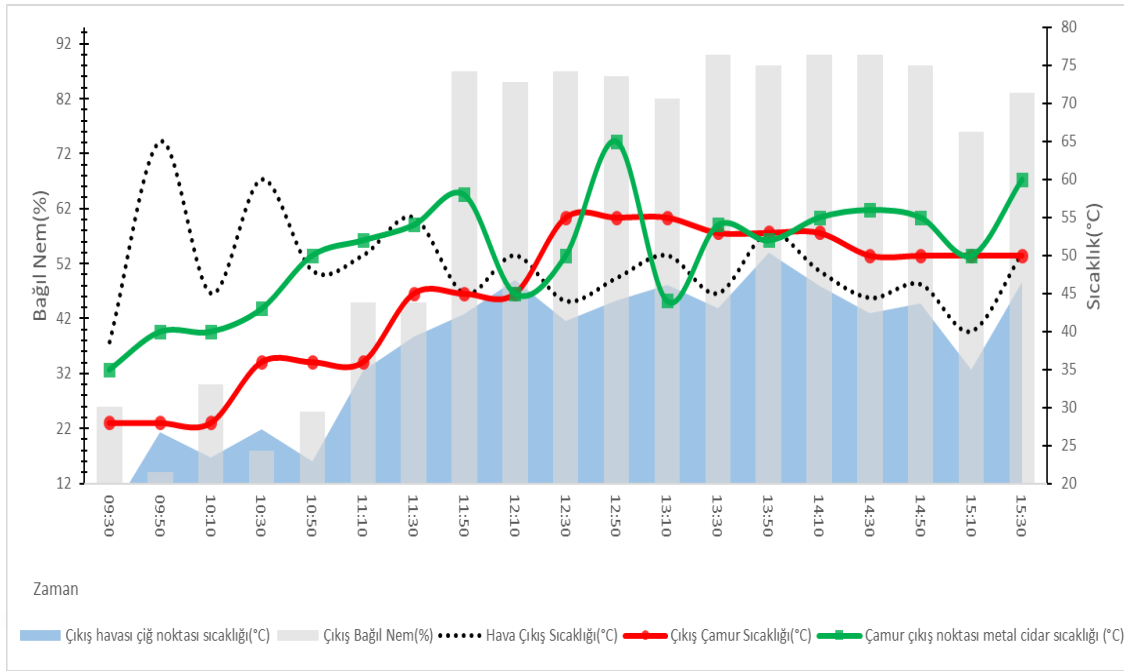
Şekil 3.21. Çamurun kuruma sürecine ait görüntüler (16.07.2019)

3.3.3. Çiy noktası sıcaklığı ilişkileri

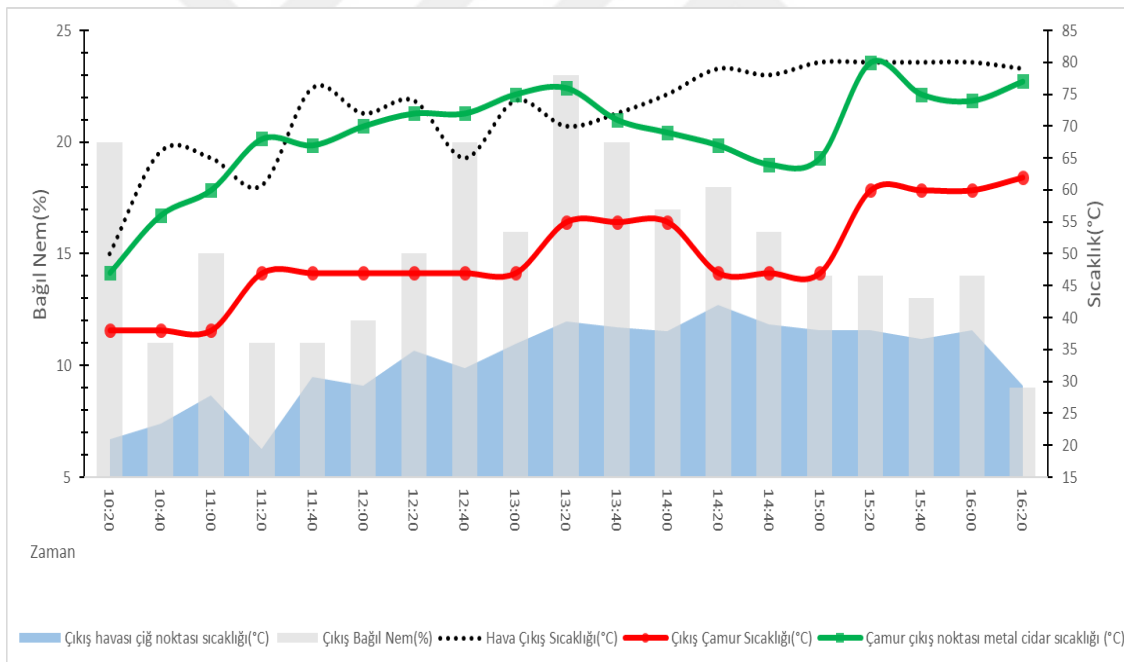
Ağustos ayının 6. ve 29. günlerinde yapılan çalışmalarda; kuruyan çamurda ve KT metal yüzeylerinde yoğuşmayı incelemek amacıyla, sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. KT içerisinden çıkan çamurun sıcaklıkları ve kuru çamur numunelerinin alındığı haznenin metal sıcaklıkları ölçülerek kaydedilmiştir (Ek 9; Ek 10).

Şekil 3.22'de görüldüğü üzere; çıkış havasının bağıl nemi, güneş radyasyonunun artmaya başladığı saat 10:50 itibarıyla (Şekil 3.18) artmaya başlamış, saat 11:50 itibarıyla ortalama %86 olarak gerçekleşmiştir. Bu çıkış havasının su buharına doymun olduğunu göstermektedir. Ortalama çıkış havası çiy noktası sıcaklığı 37.7 °C, çıkış çamur sıcaklığı ortalama 48.2 °C, çamur alma haznesi metal sıcaklıkları ortalama 50.4 °C olarak gerçekleşmiştir (Ek-9). Çiy noktası sıcaklıkları, ölçülen diğer sıcaklıkların altında kalmıştır. Bu nedenle havadaki su buharının çamur ya da başka yüzeylerde yoğuşarak tekrar sulanmaya sebep olmadığı düşünülmektedir. KM oranının ortalama %52'den daha yüksek seviyelere ulaşmaması 6 Ağustos tarihi için büyük oranda parçalı bulutlu hava şartları ile ilgili olabilir (Şekil 3.22).

Ağustos ayının 29'unda yapılan çalışmada, sistemin ölçülen sıcaklıkları gayet yüksek ve beslenen çamur miktarı gayet düşüktür (Şekil 3.19; Çizelge 3.3). 16 Temmuz tarihinde; 5.5 kg çamurun sistemde 300 dk kalacak kadar sürekli geri beslenmesi ile elde edilen, dakikada 15.28 gram çamurun %90 ve üzeri KM oranına ulaşması ile sonuçlanan çalışmada olduğu gibi (Şekil 3.20), düşük debide çamur beslemesi yapılmış ve %90'a yakın KM oranı hedeflenmiştir. Tahliye edilen havanın bağıl nemi en yüksek %23 değerine kadar ulaşabilmiş, hava su buharı yönünden doymun hale gelmeden tahliye edilmiştir. Ortalama çiy noktası sıcaklığı 33.2 °C olarak seyretmiş; çiy noktası sıcaklığı kurumuş olan çamurun ve kuru çamurun atıldığı haznenin metal yüzey sıcaklıklarına ulaşamamıştır. Bu durum, hava içerisindeki su buharının, çamurda ve çamur tahliye bölgesi metal yüzeylerde yoğuşmadığını göstermektedir (Şekil 3.23). Kurutma şartlarının uygunluğuna rağmen, hedeflenen %90 KM oranına ulaşamamış, 16.67 g/dk çamur beslemesi ile %27 KM oranından en yüksek %65 ve ortalama %56 KM oranına ulaşılmıştır (Çizelge 3.3).



Şekil 3.22. Çiy noktası, çamur sıcaklık ilişkileri (06.08.2019)

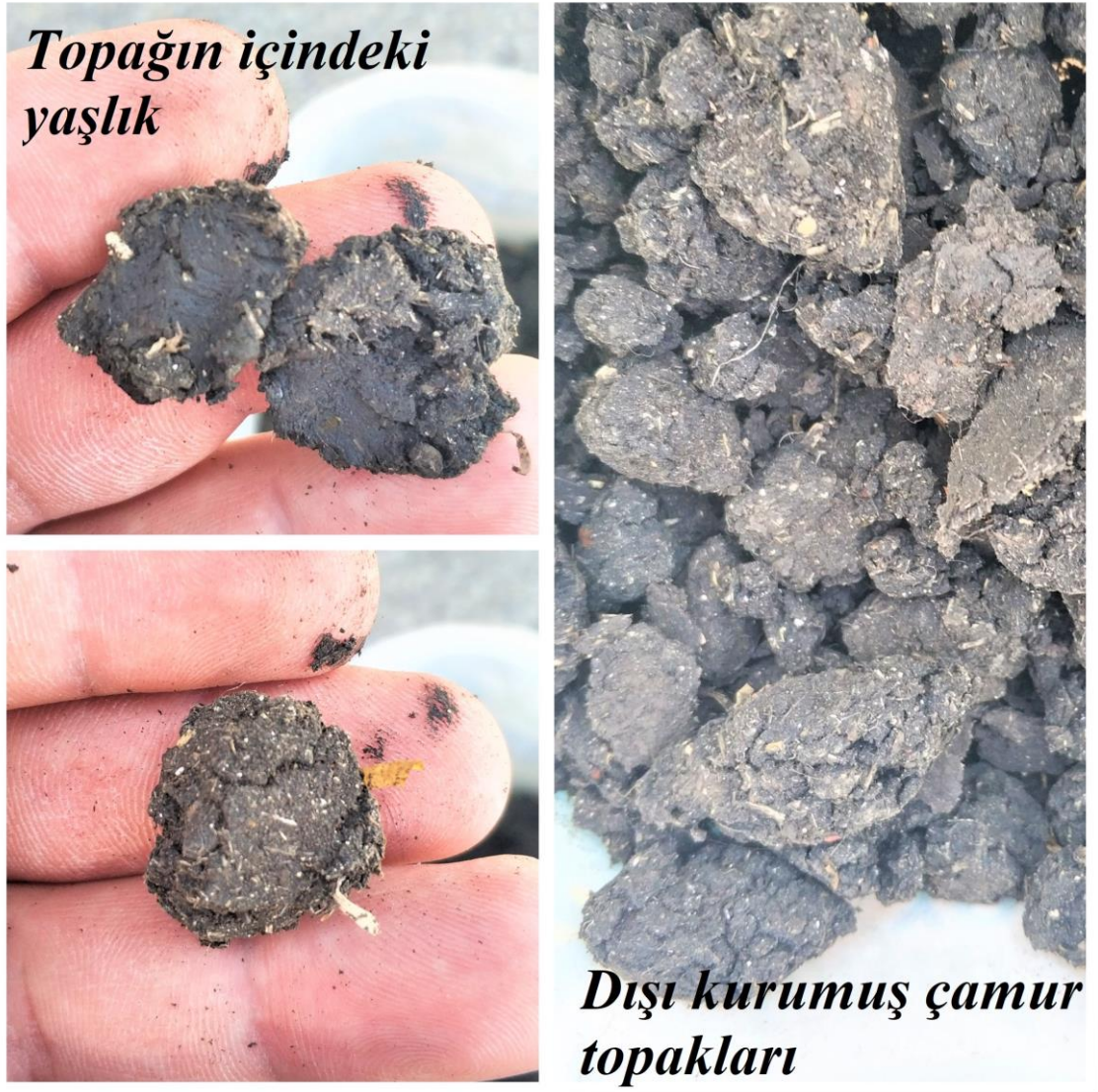


Şekil 3.23. Çiy noktası, çamur sıcaklık ilişkileri (29.08.2019)

Kurumuş olan çamurlar incelendiğinde, çamurların helezon tarafından ilerletilmesi esnasında yuvarlak topaklar oluşturduğu görülmektedir (29.08.2019). Dışı kuruyan çamur topağının içi, dışı kadar kuru olmamaktadır. Helezon tarafından bu topakların kırılmadan sadece ilerletilmesi nedeniyle iç kısımları henüz kurumamış vaziyette çamur topakları dışarı atılmaktadır. Çamurun topak halinde olması nedeniyle;

ısı enerjisi yüksek olsa da, oluşan topağın iç kısmındaki suyun buharlaşmasının zorluğu muhtemeldir (Şekil 3.24). 16 Temmuz tarihli çalışmada, 29 Ağustos denemesinde kullanılan debi ile yaklaşık aynı debi hesaplanmasına rağmen, KM oranının %90 seviyesine ulaşmasına; çamurun çıkıştan alınarak geri sisteme beslenmesi esnasında, toprakların ezilerek yaş kısımların suyunun buharlaşmasının kolaylaşması sebep olarak gösterilebilir. Temmuz 16'da çamur KT içerisinde çıktığında, ezilip karıştırılarak tekrar sisteme beslenmekte; Ağustos 29'da ise dakikada 16.67 gram çamur tekabül edecek şekilde çamur beslenerek çıkıştan alınmış ve tekrar geri besleme yapılmamıştır.

Çamurun homojen olarak ve daha hızlı kuruyabilmesine, ilerleme esnasında oluşan topraklanmaları ezip dağıtmak ve karıştırmanın etkisinin büyük olduğu söylenebilir.



Şekil 3.24. Çamurun topraklanması ve dışı kuru içi yaş çamur topağı (29.08.2019)

3.4. Tartışma

Temmuz ayında (Ek-8) yapılan çalışmada, 5.5 kg çamur 5 saat KT içerisinde kurutmaya tabi tutulduğunda %20 KM içeriğinden %96 KM içeriğine ulaşmıştır. Saatte 1.1 kg çamurun kurutulduğu söylenebilir. Konya’da Temmuz ayı ortalama güneşlenme süresi 11 sa’tir (Anonim, 2018). Sistem günde 11 saat kurutma yaparsa, yaklaşık 12 kg çamuru %90 KM oranının üzerinde kurutulabilir. Daha düşük KM oranı hedefi için, sistemin daha fazla çamur kurutabileceği ve geliştirilmesi ile arıtma çamurları için uygun bir kurutucu olabileceği söylenebilir. Yapılan çalışmada 90 g/dk çamur beslenmesi ile KM oranı yaklaşık iki katına çıkarılmıştır. Sistemin yansıtıcı açıklık alanı büyütüldüğünde daha fazla çamur kurutma kapasitelerine ulaşılabilir ve bu, büyük ölçekli çalışmaların yapılması için teşvik edicidir (Çizelge 3.4).

Luboschik (1999) en iyi kurutma performansı için, çamurun ısınması gerektiğini vurgulamıştır. Isıtılmış hava; öncelikli olarak çamurun ısınabildiği oranda buharlaştırma hızını yükseltebilecektir. Kurutma havasının bağıl nemi çok fazla yükselmeden ortamdaki uzaklaştırılıp, bağıl nemi düşük hava ile yer değiştirmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada (İnal ve Argun, 2019), parabolik yansıtıcı ile KT dış cidarına odaklanan güneş ışınlarının oluşturduğu ısı, doğrudan çamura ve çamurla birlikte kurutma havasına aktarılmıştır. Bu yönüyle çamurun yüksek sıcaklıklara ulaştırılması hedefi literatürle uyumlu bir hedeftir. En önemli ve çalışılması gereken konu ise, ince uzun bir tüp şeklinde olan KT içerisinde, bağıl nemi yükselmiş hatta bazı zamanlarda %80’in üzerine çıkarılmış havayı hızlıca tahliye edebilmektir.

Çamurun ince katmanlar haline getirilerek kurutulması literatürde üzerinde durulan önemli konulardan biridir. Hızlı kurutma yapmak için çamurun sürekli karıştırılarak, ısının homojen dağıtılması ve su buharını uzaklaştırmak üzere hava ile temas eden yüzey alanının artırılması gerekir (Bux ve ark., 2002). Al-Otoom ve ark. (2015) yaptığı çalışmada çamurun ince katmanlar halinde güneş enerjisi ve havaya maruz bırakılması üzerine yoğunlaşmıştır. Salihoğlu (2018) çamuru olabildiğince ince (5 cm) sererek kurutmak üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada (İnal ve Argun, 2019) çamur helezon iletici ile küçük parçalar halinde iletilirken yüksek ısıya maruz bırakmak üzerine çalışılmıştır ve literatürün yöneldiği hedeflere uygunluk vardır. Çalışmada karşılaşılan, dışı kuruyan fakat içi yaş kalan çamur toprakları sorununa; çamur topraklarını iletirirken bir yandan da kırmak ve ezmek üzerine çözüm üretilmesi, daha hızlı buharlaştırmaya katkı sağlayabilir.

Çizelge 3.4. Literatür karşılaştırma tablosu

Kaynak	Ölçek	Çalışma Şekli	Ebatlar	Kurutma Süreleri	Buharlaştırma Hızı	Güneş Enerjisi Gereksinimi	İşletme için Elektrik Sarfıyatı	Diğer Özellikler
Luboschik (1999)	Gerçek kurutma tesisi	Karıştırma ve havalandırma yapılan sera tip tesisi incelenmiştir.			750 (kg su)/(m ² yıl)		25-30 kWh/(ton su)	
Salihoğlu ve Pınarlı (2007)	Laboratuvar-pilot	Sera tipi ve açık tip kurutma yatağının karşılaştırılması yapılmıştır.	Çamur kalınlığı: 25 cm. Kurutma alanı: 10 m ² .	Yazın (sera örtülü tesisi); %23 KM'den %91 KM'ye 26 gün sürede ulaşılmıştır. %20 KM'den %35 KM'ye 10 gün sürede ulaşılmıştır.		420 W/(kg su)		Sera tipi üzeri örtülü tesisin zemini düzlemsel güneş kolektöründen elde edilen enerji ile ısıtılmıştır.
Shao ve ark. (2015)	Laboratuvar	Sera örtüsüz doğrudan güneşle kurutma yapılmıştır.	Çamur kalınlığı: 30 cm. Ahşap kutu: 80x80x80 cm	%25 KM'den %55 KM'ye 23 gün sürede ulaşılmıştır.	Ortalama 7,2 (kg su)/(m ² gün)	4209 kJ/(kg su)		Çalışmada çamur keki ile öğütülmüş pirinç sapı (2-6 cm) ağırlıkça 15/1 oranında karıştırılmıştır.
Belloulid ve ark. (2017)	Laboratuvar	Sera tipi tesiste; kurak iklimde, sıcak ve soğuk mevsim şartlarında kurutma yapılmıştır.	Silindirik kalıplanmış çamur kekleri: 30 cm ³ Çamur kalınlığı: 1.5 cm Kurutma alanı: 1 m ² .	Sıcak mevsim şartlarında; %20 KM'den %92 KM'ye 72 saat sürede ulaşılmıştır.	Sıcak mevsim şartlarında; 0,2 (kg su)/(kg KM sa)			
Lei ve ark. (2009)	Laboratuvar	Sera tip, doğal havalandırmalı kurutma yapılmıştır.	Kurutucu taban alanı: 1.5 m ² . Kurutma tepsi: 792 cm ² . Çamur kalınlığı: 2.5 cm.	Yazın; %16 KM'den %56 KM'ye 125 saat sürede ulaşılmıştır.	Yazın; güneşli günlerde, 0,3 (kg su)/(m ² sa)			
Mathioudakis ve ark. (2009)	Laboratuvar	Sera tip, havalandırmalı kurutma yapılmıştır. (Seralardan biri, kolektör destekli.)	2,5 m ³ hacminde iki ayrı kurutma serası;	Çamur miktarı: 8 kg. Çamur kalınlığı: 20-25 cm. Yazın; %15 KM'den %94'e 7-14 günde ulaşılmıştır (güneş kolektörü desteği ile).				Düzlemsel güneş kolektörünün sisteme entegre edilmesi ile kış koşullarında kurutma süresi 1-9 gün daha kısa olmaktadır.

Çizelge 3.4. Literatür karşılaştırma tablosu (Devamı)

Kaynak	Ölçek	Çalışma Şekli	Ebatlar	Kurutma Süreleri	Buharlaştırma Hızı	Güneş Enerjisi Gereksinimi	İşletme İçin Elektrik Sarfıyatı	Diğer Özellikler
Krawczyk ve Badyda (2011)	Pilot	Sera tip, karıştırma ve havalandırılmalı kurutma yapılmıştır.			8,12 (kg su)/(m ² gün)			
Bux ve ark. (2002)	Gerçek kurutma tesisi (500 t/yıl %3 KM oranlı çamur kurutma kapasitesi)	Sera tip, karıştırma ve havalandırılmalı kurutma yapılmıştır.	Kurutma alanı: 150 m ² . Çamur kalınlığı: 20-50 cm. Çamur yükleme: 0.425 m ³ /m ² .	%3 KM'den %93'e 64 gün sürede ulaşılmıştır. Çamur hacmi 425 L/m ² 'den 12 L/m ² 'ye düşmüştür (flokulan ilavesi ile).		573 kWh/(t su) (Isı enerjisi)	22 kWh/(t su)	Susuzlaştırılmamış %3 KM oranlı çamur kurutulurken, foloklastırıcı olarak poliakrilamid ilavesinin kurutmaya etkisi araştırılmıştır.
Akgül (2012)	Pilot	Sera tip, karıştırma ve havalandırılmalı güneş kolektörü destekli kurutma yapılmıştır.	Çamur kalınlığı: 25 cm. Kurutma alanı: 8 m ² .	2 ton susuzlaştırılmış çamur. Yazın; %20 KM'den %99 KM oranına 13 gün sürede ulaşılmıştır. (güneş takipli).		Yazın güneşlenme süresi: Ortalama 10 saat		Güneş takipli düzlemsel kolektör ve sabit düzlemsel kolektör ile yaz ve kış şartlarında kurutma deneyleri yapılmıştır.
Salihoğlu (2018)	Pilot	Sera tip, güneş kolektörü destekli, çok katlı bantlı kurutucu denenmiştir.	Çamur kalınlığı: 5 cm. Kurutma alanı: >8m ² (yalnızca bant yüzey alanı 8 m ²)	400 kg/gün çamur keki sisteme beslenmiştir. Sera içerisinde kalma süresi: 4 gün %14-19 KM'den %93-98 KM'ye ulaşılmıştır.	400 L çamurun hacmi 4 günde 70 L'ye düşürülmüştür. 82,5 (L su)/gün. 7-10 (g su)/(kg kuru hava) tahliye edilmiştir.			Sisteme günde 400 kg çamur verilmiştir. Toplam 1600 kg çamur, 8 gün içerisinde kurutulmuştur.
Al-Otoom ve ark. (2015)	Laboratuvar	Sera tip, havalandırılmalı ve döner bantlı kurutma yapılmıştır.			Eylül ayı için; 2,02 (kg su)/(m ² sa)			Çalışmada; hava hızı, bant hızı gibi değişkenlerin çamurdaki suyun buharlaşma hızı üzerine etkileri incelenmiştir.
İnal ve Argun (2019)	Laboratuvar	Yoğunlaştırılmış güneş enerjili kurutma yapılmıştır.	4,3 m ² parabol açıklık alanı	Yazın; Çamur: 5.5 kg İşlem süresi: 5 saat %20 KM'den %96'ya ulaşılmıştır. 90 g/dk çamur %20'den %38 KM'ye ulaştırılmıştır.				

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kullanılarak AÇ'nun kurutulmasının amaçlandığı bu çalışmada; Sonbahar'da %21 KM oranına sahip 4 kg çamur 2.8 saat sürede, ortalama %64 KM oranına ulaşmıştır. Yaz mevsiminde %20 KM içeren 5.5 kg çamur, 5 saat sürede %96 KM içeriğine ulaşmıştır. Dakikada yaklaşık 90 g çamur %20 KM içeriğinden %38 KM içeriğine ulaştırılmıştır.

Sistem güneş radyasyonuna doğrudan bağlı olduğu için, güneş radyasyonundaki değişimlerden hızlı bir şekilde etkilenebilmektedir. Çünkü ısının bir akışkanda depolanarak kullanımı söz konusu değildir. KT içerisinde hava sıcaklığı ve nemi; dışarıda ise güneş radyasyonu ölçümlerinin otomasyona bağlı olması; çamur ilerlemesini sağlayan helezon iletici hareketinin ve havalandırma hızının, yapılan ölçümlere istinaden değişen hızlarda olması verimi artırabilecektir. Böylece güneş radyasyonu azaldığında, sistem içerisindeki hava sıcaklığı düştüğünde, çamur daha yavaş ilerleyerek, daha kararlı kurutma oranları elde edilebilir. Ayrıca, sadece güneş enerjisi ile çalışan bir sistem için, akışkanda ısı depolamaya dayalı kolektör seçeneklerinin sisteme entegre edilmesi ile radyasyon değişimlerinden daha yavaş etkilenen tasarımlar geliştirilebilir. Tahliye edilen havanın genellikle yüksek sıcaklıklara ulaştığı görülmüştür. Tahliye havasının ısı enerjisi bir ısı değiştirici vasıtasıyla giriş havasına aktararak kurutma hızı artırılabilir. Bu yönden de üzerinde çalışılmaya değerdir.

Yeni beslenen ıslak çamur keki, helezon yapraklarına yapışarak bir süre ilerlemeyebilmektedir. Helezon üzerinde çıkan çamurlar, KT üst kısmında bulunan havalandırma kanalı yüzeyine yapışarak sıkışmakta, bir süre helezon tarafından ilerletilemeyerek orada kalabilmektedir. KT üzerinde havalandırma için bırakılan boşluk 30 mm'dir. Helezon hatvesi ise 65 mm'dir. Helezon üzerinde bırakılan boşluk, hatveden küçük olduğu için, hatve arasına giren çamur yükseldiğinde boşluğu tıkaşabilmektedir. Bu nedenle helezon üzerinde havalandırma için bırakılan boşluk en az helezon hatve uzunluğu kadar olmalıdır.

Sistemin çamur beslemesi manuel olarak yapılmıştır. Fakat ticari bir kurutucu için, otomatik çamur besleme sisteminin de geliştirilmesi gerekmektedir. Çamurun beslenirken küçük taneler haline getirilerek beslenmesi, sabit KM oranlarında kurutma yapılmasına imkân sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Akgül, E., 2012, Tarsus Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Güneş İzleme Sistemi İle Kurutulmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 1-111.
- Al-Otoom, A., Abu Al-Rub, F., Mousa, H. ve Shadeed, M., 2015, Semicontinuous Solar Drying Of Sludge From A Waste Water Treatment Plant, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7 (4).
- Anonim, 2010a, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete. 27533.
- Anonim, 2010b, Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete. 27661.
- Anonim, 2016a, TÜİK Belediye Atıksu İstatistikleri 1994-2016 [online], Türkiye İstatistik Kurumu, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019: [30.06.2019].
- Anonim, 2016b, TÜİK Belediye Atıksu İstatistikleri 2016 [online], Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24875>: [30.06.2019].
- Anonim, 2018, İllere Ait Mevsim Normalleri [online], Ankara, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KONYA>: [09.09.2019].
- Anonymous, 2019a, Thermo-System Industrie- & Trocknungstechnik GmbH [online], Germany, <https://www.thermo-system.com/en>: [18.08.2019].
- Anonymous, 2019b, www.wolframalpha.com, input: "arclength $y=x^2/160$ x from -85.7 to +85.7" [online], Wolfram Alpha LLC, www.wolframalpha.com/input/?i=arclength+y%3Dx%5E2%2F160+x+from+-85.7+to+%2B85.7: [20.06.2019].
- Argun, M. E., İnal, M., Özcan, Z. ve Koyuncu, S., 2015, Drying Of Dewatered Sludge By Using A New Parabolic Through Type Solar Concentrator, *International Conference on Environmental Science and Technology*, Sarajevo, 51-55.
- Belloulid, M. O., Hamdi, H., Mandi, L. ve Ouazzani, N., 2017, Solar Greenhouse Drying of Wastewater Sludges Under Arid Climate, *Waste and Biomass Valorization*, 8 (1), 193-202.
- Bux, M., Baumann, R., Quadt, S., Pinnekamp, J. ve Muhlbauer, W., 2002, Volume reduction and biological stabilization of sludge in small sewage plants by solar drying, *Drying Technology*, 20 (4-5), 829-837.
- Elmas, A., 2013, Parabol [online], İzmir, <https://ahmetelmas.files.wordpress.com/2010/04/parabol.pdf>: [27.06.2019].

- Filibeli, A., 2013, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, *İzmir*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, p. 1-289.
- Hanif, M., Rahman, M., Khan, M., Aamir, M., Ramzan, M., Amin, M. ve Mari, I., 2013, Impact of drying temperatures and air mass flow rates on the drying performance of a Parabolic Trough Solar Collector (PTSC) used for dehydration of apricots, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25 (6), 418-425.
- İnal, M. ve Argun, M. E., 2019, The Effect Of Concentrated Solar Energy On Drying Of Treatment, *International Symposium For Environmental Science And Engineering Research (Iseser2019)*, Konya, Turkey, 470-473.
- İnsel, H. G., Arıkan, O. ve Ayol, A., 2013, Tübitak Eysel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi [online], İstanbul Teknik Üniversitesi, <http://www.camur.itu.edu.tr/>: [25.06.2019].
- İSKİ, 2018, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi 2017 Faaliyet Raporu, *İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, İstanbul*, 1-318.
- Kalogirou, S. A., 2002, Parabolic trough collectors for industrial process heat in Cyprus, *Energy*, 27 (9), 813-830.
- Karukı, W. K., 2014, Performance Of A Parabolic Trough Collector Air Heater, master thesis, *University Of Nairobi Master Of Science In Energy Management*, Nairobi, 1-99.
- KOSKİ, 2018, Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi 2017 Faaliyet Raporu, *Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi, Konya*, 1-466.
- Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Aydın, A. F., Alp, K., Arıkan, A. O., İnsel, H. G., Altınbaş, M., Özüdoğru, A., Karaaslan, Y. ve Oğuz, T. C., 2013, Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi, *Ankara, Orman Ve Su İşleri Bakanlığı*, p. 1-427.
- Krawczyk, P. ve Badyda, K., 2011, Modelling of thermal and flow processes in a solar waste-water sludge dryer with supplementary heat supply from external sources, *Journal of Power Technologies*, 91 (1), 37-40.
- Lei, Z., Dezhen, C. ve Jinlong, X., 2009, Sewage sludge solar drying practise and characteristics study, *2009 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, Wuhan, China, 1-5.
- Liu, J. T., Li, M., Yu, Q. F. ve Ling, D. L., 2014, A Novel Parabolic Trough Concentrating Solar Heating for Cut Tobacco Drying System, *International Journal of Photoenergy*, 2014, 1-10.
- Luboschik, U., 1999, Solar sludge drying - Based on the IST process, *Renewable Energy*, 16 (1-4), 785-788.

- Mathioudakis, V. L., Kapagiannidis, A. G., Athanasoulia, E., Diamantis, V. I., Melidis, P. ve Aivasidis, A., 2009, Extended Dewatering of Sewage Sludge in Solar Drying Plants, *Desalination*, 248 (1-3), 733-739.
- Melsa, A., Bäckler, G., Hanssen, H., Husmann, M., Wessel, M. ve Witte, A., 1999, Drying of municipal sewage sludge in Germany, *Correspondence Waste Water*, 46 (9), 1445-1456.
- Minami, M., Sakai, K. ve Osaka, s., 2018, AirCalc for Android. Japan, AirDesign Inc.
- Nas, B., 2017a, TURAAT [online], Selçuk Üniversitesi, <https://infograph.venngage.com/p/181502/turaat-turkey-2>: [30.06.2019].
- Nas, B., 2017b, Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Sorunları ve Çözümleri, *Ankara, Selçuk Üniversitesi Basım Evi*, p. 1-9.
- Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O. ve Altınbaş, M., 2015, Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı, *Ankara, Korza Yayıncılık*, p. 1-218.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. ve Clesceri, L. S., 2012, Standard methods for the examination of water and wastewater, *Washington, DC, American Public Health Association* p. 81-97.
- Salihoğlu, N. K. ve Pınarlı, V., 2007, Atıksu arıtma çamurlarının kapalı yataklarda güneş enerjisiyle kurutulması, *İTÜDERGİSİ/e*, 17 (1), 3-14.
- Salihoğlu, N. K., 2016, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanıldığı Kurutma Sistemi. Türkpatent. Türkiye. 2013/11364 Y.
- Salihoğlu, N. K., 2018, Yenilenebilir Enerji İle Arıtma Çamurlarını Kurutma Sistemi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23 (1), 41-50.
- Shao, L. M., Wang, T. F., Zhao, L., Wang, G. Z., Lu, F. ve He, P. J., 2015, The Effect of Adding Straw on Natural Solar Sludge Drying, *Drying Technology*, 33 (4), 414-419.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. ve Stensel, H. D., 2003, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, McGraw-Hill, p. 1-1819.
- Velis, C. A., Longhurst, P. J., Drew, G. H., Smith, R. ve Pollard, S. J., 2009, Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: a review of process science and engineering, *Bioresour Technol*, 100 (11), 2747-2761.
- Vesilind, P. A., Morgan, S. M. ve Heine, L. G., 2011, Introduction to Environmental Engineering, *Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık*, p. 1-606.

EKLER

EK-1 Çamur kurutma ölçüm verileri (3.10.2018)

Tarih	3.10.2018		Giriş hava		Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tüp cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası çiy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)	
	No	1	Saat	Sıcaklık (°C)		Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)							Bağıl nem (%)
Beslenen çamur ağırlığı (g)	8000		11:10	24,9	32	a	73	5	88	1088	7,33	11,1	15,61	3,77
Deneme başlangıç saati	11:00		11:30	22,8	37	a	33,1	35	82	1087	7,52	12,54	15,6	5,02
Günün hava durumu	Açık		11:50	23,1	36	a	30,5	27	82	1083	7,45	8,42	9,41	0,97
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	24,9		12:10	23,6	37	a	35,5	38	84	1079	7,87	15,44	19,01	7,57
Besleme bitiş saati	15:45		12:30	24	34	pb	34,5	63	72	1130	7,4	24,29	26,43	16,89
Besleme süresi (dk)	285		12:50	24	31	a	37,5	88	72	1077	6,75	39,62	35,17	32,87
Çamur debisi (gram/dk)	28,07		13:10	24,7	36	a	32,5	33	78	1068	8,15	11,45	14,16	3,3
Deneme bitiş saati	16:30		13:30	24,3	32	a	33,5	57	84	1063	7,09	20,86	23,81	13,77
Ham çamur % KM	22,5		13:50	25,5	31	a	41	67	68	1059	7,34	35,99	33,64	28,65
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	14:10	25,9	34	a	37	87	74	1054	8,24	38,18	34,47	29,94
			14:30	26,5	31	a	40,5	80	68	1055	7,77	41,92	36,36	34,15
Numune 1	12:30	46,31	14:50	25,6	29	a	38	64	76	1028	6,91	29,56	29,99	22,65
Numune 2	14:14	64,84	15:10	25,9	28	a	39,7	56	72	1042	6,78	28,19	29,26	21,41
Numune 3	15:34	55,03	15:30	26,1	28	a	40,3	87	80	998	6,86	45,13	37,71	38,27
Numune 4	16:10	42,91	15:50	24,8	30	a	32,5	23	86	987	6,83	7,98	8,71	1,15
			16:10	26,6	27	a	38	40	65	918	6,8	18,48	22,05	11,68

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-2 Çamur kurutma ölçüm verileri (6.10.2018)

Tarih	6.10.2019		Giriş hava		Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tüp cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası ıy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)	
	No	2	Saat	Sıcaklık (°C)		Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)							Bağıl nem (%)
Beslenen çamur ağırlığı (g)	14000		11:00	14,8	44	a	56	16	95	1055	5,58	17,41	22	11,83
Deneme başlangıç saati	11:00		11:20	16,8	38	a	35,2	38	102	1067	5,43	15,2	18,74	9,77
Günün hava durumu	Açık		11:40	16,3	39	a	26,7	35	68	1077	5,41	8,87	9,99	3,46
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	17,5		12:00	16,8	38	a	30	88	70	1080	5,43	26,71	27,79	21,28
Besleme bitiş saati	15:40		12:20	17,8	45	a	55,5	87	80	1079	6,83	92,6	52,61	85,77
Besleme süresi (dk)	280		12:40	17,7	38	a	33	89	80	1079	5,74	31,72	30,94	25,98
Çamur debisi (gram/dk)	50		13:00	18	38	a	41	87	80	1075	5,84	46,73	38,39	40,89
Deneme bitiş saati	16:10		13:20	18,1	45	a	41,5	87	81	1070	6,96	47,91	38,88	40,95
Ham çamur % KM	19		13:40	18,7	38	a	35	86	85	1047	6,09	34,04	32,3	27,95
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	14:00	19,6	34	a	49	87	109	1030	5,74	68,77	46,24	63,03
			14:20	18,2	38	a	31,5	86	95	1024	5,91	28,3	28,87	22,39
Numune 1	12:00	35,3	14:40	19,2	36	a	33	85	82	1030	5,94	30,29	30,14	24,35
Numune 2	13:00	32	15:00	19,9	34	a	29,8	48	88	1026	5,84	14,41	17,62	8,57
Numune 3	14:00	27	15:20	21,3	33	a	30,2	42	84	997	6,15	12,89	15,88	6,74
Numune 4	15:00	24	15:40	21	29	a	37,3	87	70	960	5,32	38,78	34,76	33,46
Numune 5	16:00	45	16:00	20,9	29	a	35	87	62	959	5,28	34,44	32,51	29,16
			16:20	20,1	30	a	37	68	60	920	5,22	29,85	30,1	24,63
Enerji tüketimi (Wh)	2584													
Elektrik tüketim süresi	05:40													

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-3 Çamur kurutma ölçüm verileri (9.10.2018)

Tarih	9.10.2019		Giriş hava		Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tüp cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası çiy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)	
	No	3	Saat	Sıcaklık (°C)		Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)							Bağıl nem (%)
Beslenen çamur ağırlığı (g)	9000		11:30	23,3	35	pb	36	66	74	750	7,32	27,51	28,64	20,19
Deneme başlangıç saati	11:30		11:50	24,2	35	pb	32	84	66	980	7,71	28,39	28,95	20,68
Günün hava durumu	Parçalı bulutlu		12:10	25	35	a	33	83	70	1000	8,06	29,58	29,72	21,52
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	23,7		12:30	25,7	31	a	37	69	72	1017	7,43	30,28	30,36	22,85
Besleme bitiş saati	15:30		12:50	25,8	31	a	34,5	68	72	550	7,47	26,22	27,73	18,75
Besleme süresi (dk)	240		13:10	24,9	31	a	35	66	78	1005	7,1	26,12	27,69	19,02
Çamur debisi (gram/dk)	37,5		13:30	24,9	32	a	35,5	86	72	994	7,33	34,94	32,79	27,61
Deneme bitiş saati	16:10		13:50	25,2	31	a	33,7	84	76	1009	7,22	31,06	30,61	23,84
Ham çamur % KM	19,37		14:10	25	29	a	33,5	79	78	695	6,68	28,91	29,35	22,23
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	14:30	25,5	29	pb	33	84	70	1086	6,87	29,94	29,93	23,07
			14:50	25	30	a	33	35	66	1003	6,91	12,47	15,51	5,56
Numune 1	12:30	62,35	15:10	25,5	27	pb	29	57	74	762	6,4	16,39	19,62	9,99
Numune 2	13:30	53,3	15:30	24,9	30	b	28,5	46	62	162	6,87	12,87	15,76	6
Numune 3	14:30	47,23	15:50	24,1	32	b	34,7	63	53	130	7,01	24,55	26,61	17,54
Numune 4	15:30	27,97	16:10	23,8	30	b	30,5	58	40	120	6,46	18,09	21,3	11,63
Numune 5	16:00	25,12												
Enerji tüketimi (Wh)	2340													
Elektrik tüketim süresi	05:28													

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-4 Çamur kurutma ölçüm verileri (16.10.2018)

Tarih	16.10.2018		Giriş hava		Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tüp cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası çiy noktası Sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)	
			Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)		Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)							
No	4		Saat											
Beslenen çamur ağırlığı (g)	8000		11:10	22,3	47	a	60	10	110	899	9,29	12,97	17,45	3,68
Deneme başlangıç saati	11:10		11:30	21,9	45	a	35,1	44	94	928	8,69	17,51	21,02	8,82
Günün hava durumu	Açık		11:50	21,7	46	a	32	56	78	942	8,78	18,93	22,12	10,15
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	22,4		12:10	23,5	42	a	35	57	72	963	8,89	22,56	25,2	13,67
Besleme bitiş saati	15:12		12:30	25,1	40	a	34	53	70	930	9,27	19,91	23,07	10,64
Besleme süresi (dk)	242		12:50	24,8	41	a	32,4	44	70	939	9,34	15,19	18,59	5,85
Çamur debisi (gram/dk)	33,06		13:10	23,9	41	a	35,8	74	72	924	8,88	30,53	30,43	21,65
Deneme bitiş saati	15:42		13:30	26	37	a	34,6	88	70	927	9,01	34,11	32,32	25,1
Ham çamur % KM	18,02		13:50	24	41	a	33	87	72	928	8,93	31,01	30,54	22,08
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	14:10	25,7	37	pb	32,5	55	70	469	8,86	19,09	22,29	10,23
			14:30	24,7	39	a	35	85	74	914	8,83	33,64	32,09	24,81
Numune 1	12:10	36,78	14:50	25,4	38	a	33,6	87	76	899	8,95	32	31,13	23,05
Numune 2	13:10	44,33	15:10	25,4	40	a	30	67	66	807	9,42	20,34	23,2	10,92
Numune 3	14:10	52,47	15:30	24,6	41	a	35	72	60	737	9,23	28,5	29,19	19,27
Numune 4	15:10	47,82	15:50	24,7	41	a	34	59	50	669	9,29	22,16	24,85	12,87
Numune 5	15:40	55,56	16:10	24	42	pb	32	54	40	568	9,14	18,25	21,53	9,11
Enerji tüketimi (Wh)	2325													
Elektrik tüketim süresi	05:35													

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-5 Çamur kurutma ölçüm verileri (1.11.2018)

Tarih	1.11.2018		Giriş hava		Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tüp cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası çiy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)	
	No	5	Saat	Sıcaklık (°C)		Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)							Bağıl nem (%)
Beslenen çamur ağırlığı (g)	4		11:40	16,4	51	a	41,5	31	72	1045	7,12	17,07	20,94	9,95
Deneme başlangıç saati	11:40		12:00	17,6	47	a	34,6	59	80	1054	7,05	22,23	24,91	15,18
Günün hava durumu	Açık		12:20	18,3	41	a	33,3	58	74	1044	6,41	21	23,91	14,59
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	19		12:40	20,1	36	a	32,5	56	74	1058	6,26	19,44	22,59	13,18
Besleme bitiş saati	14:00		13:00	20,7	37	a	33,4	66	70	1039	6,66	24,02	26,17	17,36
Besleme süresi (dk)	140		13:20	19,5	33	a	35	67	71	1057	5,54	26,52	27,95	20,98
Çamur debisi (gram/dk)	28,57		13:40	20,5	34	a	33	53	72	1047	6,05	18,89	22,15	12,84
Deneme bitiş saati	14:40		14:00	20,7	32	a	35	75	68	1032	5,76	29,69	29,9	23,93
Ham çamur % KM	21,3		14:20	21	33	a	31,6	67	60	1028	6,05	22,17	24,72	16,12
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	14:40	21	31	a	35	37	66	985	5,68	14,65	18,14	8,97
			15:00	20,8	30	a	37	41	60	948	5,43	18	21,56	12,57
Numune 1	12:40	72,34	15:20	20,7	31	a	31	52	50	962	5,58	16,66	19,99	11,08
Numune 2	13:40	58,62												
Numune 3	14:40	61,27												
Enerji tüketimi (Wh)	2054													
Elektrik tüketim süresi	04:21													

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-6 Çamur kurutma ölçüm verileri (13.05.2019)

Tarih	13.05.2019		Giriş hava		Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tüp cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası çiy noktası Sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)	
			Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)		Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)							
No	6		Saat											
Beslenen çamur ağırlığı (g)	6000		12:45	26,1	24	a	62,8	7	74	1060	5,88	10,24	13,89	4,36
Deneme başlangıç saati	12:45		13:00	25,2	27	a	60	7	88	1030	6,29	9,08	11,93	2,79
Günün hava durumu	Açık		13:15	23	30	a	78	7	85	1045	6,17	18,88	24,41	12,71
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	24,9		13:30	23,3	27	a	75	12	89	1049	5,65	28,83	31,52	23,18
Besleme bitiş saati	14:30		13:45	25,7	21	a	78	12	94	1048	5,03	32,36	33,73	27,33
Besleme süresi (dk)	105		14:00	24,5	26	a	>79	15	89	1040	5,82	42,02	38,54	36,2
Çamur debisi (gram/dk)	57,14		14:15	25,8	25	a	>78	25	95	1045	6,02	67,42	47,55	61,4
Deneme bitiş saati	15:00		14:30	26,7	24	a	>78	29	97	1046	6,08	78,21	50,52	72,13
Ham çamur % KM	20		14:45	24,3	28	a	>78	35	98	1035	6,2	94,39	54,37	88,19
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	15:00	24,5	27	a	76	32	95	1015	6,05	79,91	50,84	73,86
Numune 1	13:45	35,2												
Numune 2	14:45	40,9												
Enerji tüketimi (Wh)	1130													
Elektrik tüketim süresi	02:15													

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-7 Çamur kurutma ölçüm verileri (30.05.2019)

Tarih	30.05.2019		Giriş hava		Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tüp cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası çiy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)	
	No	7	Saat	Sıcaklık (°C)		Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)							Bağıl nem (%)
Beslenen çamur ağırlığı (g)	10.500		10:10	29,3	26	a	67	7	80	998	7,6	12,2	16,82	4,6
Deneme başlangıç saati	10:10		10:30	31	22	a	60	22	82	990	7,05	28,54	30,57	21,49
Günün hava durumu	Parçalı Bulutlu		10:50	31	22	a	50	50	80	1000	7,05	41,41	36,69	34,36
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	33		11:10	31	24	a	57	60	84	997	7,69	68,27	46,58	60,58
Besleme bitiş saati	13:30		11:30	31,4	25	a	74	28	80	1000	8,18	64,68	46,5	56,5
Besleme süresi (dk)	200		11:50	32,6	23	a	>80	5	100	1000	8,03	14,55	20,22	6,52
Çamur debisi (gram/dk)	52,5		12:10	32,4	24	a	52	89	98	1007	8,29	80,85	49,64	72,56
Deneme bitiş saati	14:10		12:30	34,2	28	pb	62	82	90	500	10,63	115,93	57,72	105,3
Ham çamur % KM	26		12:50	34,3	23	pb	60	88	77	1014	8,78	114,17	57,26	105,39
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	13:10	34,9	20	pb	50	88	70	978	7,88	72,89	47,45	65,01
			13:30	34,6	20	pb	40	77	74	675	7,75	39,35	35,18	31,6
Numune 1	11:10	57	13:50	35,6	20	pb	60	46	70	850	8,17	59,68	44,13	51,51
Numune 2	12:10	41	14:10	37	18	pb	45	76	60	328	7,9	49,67	39,76	41,77
Numune 3	13:10	52												
Numune 4	14:10	30												
Enerji tüketimi (Wh)	2000													
Elektrik tüketim süresi	04:00													

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-8 Çamur kurutma ölçüm verileri (16.07.2019)

Tarih	16.07.2019		Giriş hava	Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tüp cidar sıcaklığı (°C)	Radasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası ıy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)		
	No	8			Saat	Sıcaklık (°C)							Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)
Beslenen çamur ağırlığı (g)	5500		09:45	23,6	46	a	43	22	39,5	978	9,79	13,04	16,71	3,25
Deneme başlangıç saati	09:45		10:05	24,9	39	a	40	85	56,1	996	8,93	43,44	36,99	34,51
Günün hava durumu	Açık		10:25	28	38	a	40	89	60	1006	10,34	45,48	37,83	35,14
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	27,6		10:45	25,7	40	a	43	89	72	1014	9,58	52,77	40,78	43,19
Besleme bitiş saati	10:45		11:05	26,1	39	a	57	85	75	1004	9,56	96,71	53,6	87,15
Besleme süresi (dk)	60		11:25	25,6	42	a	65	80	71	1006	10,01	128,37	60,09	118,36
Çamur debisi (gram/dk)	91,67		11:45	26,3	44	a	61	88	68	1008	10,9	119,2	58,24	108,3
Deneme bitiş saati	15:45		12:05	26,3	41	a	42,5	92	72	1010	10,16	53,23	40,92	43,07
Ham çamur % KM	19,77		12:25	29	34	a	35	91	73	1006	9,78	36,02	33,31	26,24
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	12:45	29	34	a	39	90	72	1019	9,78	43,73	37,05	33,95
			13:05	27,7	40	a	40	88	70	980	10,71	44,97	37,62	34,26
Numune 1	10:45	38	13:25	26	38	pb	39	80	68	960	9,26	38,87	34,91	29,61
Numune 2	11:45	49	13:45	28,8	36	a	44	90	58	1065	10,24	56,03	41,98	45,79
Numune 3	12:45	52	14:05	29,5	34	a	39	90	71	1050	10,04	43,73	37,05	33,69
Numune 4	13:45	79	14:25	29,5	34	a	43	63	63	1115	10,04	37,35	34,42	27,31
Numune 5	14:45	96	14:45	28,9	35	b	43	53	61	275	10,01	31,42	31,34	21,41
Numune 6	15:45	90	15:05	29,5	36	a	49	88	59	1043	10,64	69,56	46,47	58,92
Enerji tüketimi (Wh)	3000		15:25	29,3	37	a	51	28	57	1065	10,81	24,29	27,31	13,48
Elektrik tüketim süresi	06:00		15:45	31,5	31	pb	51,5	18	57	375	10,2	15,98	20,38	5,78

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-9 Çamur kurutma ölçüm verileri (06.08.2019)

Tarih	6.08.2019			Giriş hava		Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tıp cidar sıcaklığı (°C)	Çamur çıkış noktası metal cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m2)	Giriş havası mutlak nem (g/m3)	Çıkış havası mutlak nem (g/m3)	Çıkış havası çiy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m3)	
	No	9		Saat	Sıcaklık (°C)		Bağıl nem (%)	Sıcaklık (°C)								Bağıl nem (%)
Beslenen çamur ağırlığı (g)	9.500			09:30	22	45	a	38,6	26	33	35	944	8,74	12,38	15,68	3,64
Deneme başlangıç saati	09:30			09:50	24,2	40	a	65	14	49	40	1050	8,81	22,47	26,7	13,66
Günün hava durumu	Parçalı Bulutlu			10:10	26	36	pb	45	30	48	40	548	8,77	19,6	23,4	10,83
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	27,5			10:30	26	36	pb	60	18	47,5	43	560	8,77	23,35	27,11	14,58
Besleme bitiş saati	14:30			10:50	27,6	35	pb	48	25	55	50	650	9,32	18,85	22,9	9,53
Besleme süresi (dk)	300			11:10	26,7	34	a	50	45	56	52	900	8,61	37,27	34,77	28,66
Çamur debisi (gram/dk)	31,67			11:30	26,4	38	a	55	45	61	54	905	9,47	46,84	39,25	37,37
Deneme bitiş saati	15:30			11:50	26,7	34	a	45	87	70	58	1140	8,61	56,85	42,32	48,24
Ham çamur % KM	20,9			12:10	27,5	35	a	50	85	65	45	1178	9,27	70,4	46,76	61,13
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	Numune Sıcaklığı (°C)	12:30	28,8	34	a	44	87	62,5	50	1137	9,67	54,16	41,34	44,49
				12:50	28	33	a	47	86	70	65	1415	8,98	61,85	44,06	52,87
Numune 1	10:30	53,5	36	13:10	26,7	33	pb	50	82	65	44	450	8,36	67,92	46,06	59,56
Numune 2	11:30	57,2	45	13:30	29,4	30	pb	45	90	60	54	472	8,82	58,81	42,97	49,99
Numune 3	12:30	50,4	55	13:50	30,3	29	a	53	88	65	52	1005	8,95	83,68	50,39	74,73
Numune 4	13:30	43,0	53	14:10	28	31	a	48	90	66	55	1017	8,44	67,87	45,92	59,43
Numune 5	14:30	51,6	50	14:30	30	27	a	44,4	90	64	56	1013	8,2	57,13	42,37	48,93
Numune 6	15:30	54,4	50	14:50	30	27	a	46,2	88	67	55	1005	8,2	60,92	43,71	52,72
Enerji tüketimi (Wh)	3000			15:10	29,8	28	a	40	76	60	50	983	8,41	38,84	34,95	30,43
Elektrik tüketim süresi	06:00			15:30	29	29	a	50,2	83	75,5	60	981	8,34	69,39	46,49	61,05

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

EK-10 Çamur kurutma ölçüm verileri (29.08.2019)

Tarih	29.08.2019			Giriş hava	Meteorolojik durum	Çıkış hava		Tiip cidar sıcaklığı (°C)	Çamur çıkış noktası metal cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası çiy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)		
						Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)									
No	10			Saat	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Meteorolojik durum	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)	Tiip cidar sıcaklığı (°C)	Çamur çıkış noktası metal cidar sıcaklığı (°C)	Radyasyon (W/m ²)	Giriş havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası mutlak nem (g/m ³)	Çıkış havası çiy noktası sıcaklığı (°C)	Giriş/çıkış havası mutlak nem farkı (g/m ³)
Beslenen çamur ağırlığı (g)	5.500			10:20	28	42	a	50	20	48	47	1009	11,43	16,57	20,88	5,14
Deneme başlangıç saati	10:20			10:40	26,7	44	a	66	11	58	56	1015	11,15	18,4	23,4	7,25
Günün hava durumu	Açık			11:00	27,1	41	a	65	15	63	60	1003	10,62	24,07	27,88	13,45
Ortalama hava sıcaklığı (°C)	30,9			11:20	27,4	38	a	60,7	11	74	68	1025	10,01	14,71	19,49	4,7
Besleme bitiş saati	15:50			11:40	27,4	35	a	76	11	79	67	1033	9,22	27,47	30,72	18,25
Besleme süresi (dk)	330			12:00	29,5	32	a	72	12	80	70	1028	9,45	25,61	29,3	16,16
Çamur debisi (gram/dk)	16,67			12:20	29,6	30	a	74	15	82	72	1028	8,91	34,65	34,75	25,74
Deneme bitiş saati	16:20			12:40	28,7	30	a	65	20	84	72	1023	8,49	32,09	32,09	23,6
Ham çamur % KM	27			13:00	33,6	24	a	74	16	89	75	1029	8,83	36,96	35,92	28,13
Kuruluk analizi numune no	Numune saati	% KM	Numune Sıcaklığı (°C)	13:20	32,8	25	a	70	23	85	76	1024	8,82	45,31	39,46	36,49
				13:40	32,6	24	a	72	20	83	71	1027	8,37	42,69	38,46	34,32
Numune 1	11:20	45,2	47	14:00	31,5	26	a	75	17	80	69	1003	8,56	40,84	37,8	32,28
Numune 2	12:20	48,6	47	14:20	32	27	a	>79	18	87	67	1021	9,13	50,42	41,97	41,29
Numune 3	13:20	54,7	55	14:40	35,1	24	a	>78	16	84	64	1006	9,55	43,15	38,98	33,6
Numune 4	14:20	60,2	47	15:00	36,3	24	a	>80	14	94	65	1028	10,16	40,73	38,01	30,57
Numune 5	15:20	63,8	60	15:20	32,9	27	a	>80	14	94	80	1015	9,57	40,73	38	31,16
Numune 6	16:20	65,4	62	15:40	32,6	27	a	>80	13	90	75	992	9,42	37,82	36,65	28,4
Enerji tüketimi (Wh)	3000			16:00	31,8	29	a	>80	14	92	74	985	9,7	40,73	38	31,03
Elektrik tüketim süresi	06:00			16:20	30,9	29	a	>79	9	85	77	954	9,24	25,21	29,38	15,97

a: açık (güneşli); pb: parçalı bulutlu; b: bulutlu

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa İnal
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Selçuklu/KONYA; 06.11.1991
Telefon : +90 505 099 88 18, +90 554 734 96 08
Faks :
E-Posta : inal.mustafa.inal@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cumhuriyet Lisesi	Selçuklu	Konya	2010
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Selçuklu	Konya	2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Ün.	Selçuklu	Konya	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-	İnbay Orm. Ür. Mob. San ve Tic Ltd. Şti.	Teknik ve İdari İşler

UZMANLIK ALANI

Proje yönetimi
 Arıtma Çamurlarının Kurutulması

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

İnal, M. ve Argun, M. E., 2019, The Effect Of Concentrated Solar Energy On Drying Of Treatment, *International Symposium For Environmental Science And Engineering Research (Iseser2019)*, Konya, Turkey, 470-473. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır.)

Argun, M. E., İnal, M., Özcan, Z. ve Koyuncu, S., 2015, Drying Of Dewatered Sludge By Using A New Parabolic Through Type Solar Concentrator, *International Conference on Environmental Science and Technology*, Sarajevo, 51-55.