

YENİLENEBİLİR ENERJİ İLE ARITMA ÇAMURU KURUTMA SİSTEMİ

*Nezih Kamil SALİHOĞLU**

Alınma:21.05.2017; düzeltme: 25.12.2018; kabul: 08.02.2018

Öz: Atık su arıtımında çevresel yük ve maliyeti oluşturan en önemli unsurlardan biri, oluşan çamurların yönetimidir. Arıtma çamurlarının kurutulması, yönetim süreçlerini kolaylaştırmakta, nihai uygulama veya bertaraf seçeneklerini artırmaktadır. Günümüzde, arıtma çamurlarının kurutulması için gerek fosil yakıtların gerekse yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı farklı teknolojiler bulunmaktadır. Arıtma çamurlarının kurutulmasının çevresel ve ekonomik maliyetini azaltacak yeni araştırmalar yapılmakta ve bilimsel literatüre sunulmaktadır. Bu çalışmada, atıksu arıtma çamurlarının kurutulması için tasarlanmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı hibrit bir sistemin çamur kurutma verimi araştırılmıştır. Çamurun kurutulması için otomatik yükleme ve boşaltma sistemlerine sahip, 5 kat kurutma bandından oluşan, sera modelinde modüler ve portatif bir sistem tasarlanmıştır. Nem alma ve kurutma sistemi (NKS) olarak adlandırılan sistem, otomasyon (PLC) sistemi kontrolünde işletilmektedir. Sisteme her gün en üstteki bantın yüzey alanını 5 cm kalınlıkta kaplayacak şekilde serilen çamur, bir alt kattaki banta devrettirilerek güneş enerjisi ile kurutulmaktadır. Bu çalışma kapsamında sisteme % 14-19 aralığında Katı Madde (KM) içeren 1600 kg arıtma çamuru 4 gün boyunca her gün 400 kg olacak şekilde yüklenmiştir. Yüklenen çamurun 4. günün sonunda % 93-98 KM'ye ulaştığı görülmüştür. İncelenen sistemin konvansiyonel güneşle çamur kurutma sistemlerine göre daha az alan ihtiyacının bulunduğu ve mekanik çamur kurutma sistemlerine göre daha düşük enerji kullandığı görülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı bu tür kurutma sistemlerinin kullanılmasının ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: yenilenebilir enerji, sera, çamur, kurutma

Sludge Drying System With Renewable Energy

Abstract: One of the most important elements which makes environmental and economic loads in wastewater treatment is management of sewage sludge generated. Drying of the sewage sludge facilitates the management steps and increases the options for final application and disposal. Today, several different technologies exist for sewage sludge drying, which use fossil fuels or renewable energy sources. New investigations to decrease the environmental and economic costs of sludge drying technologies are being conducted and reported in the literature. Sludge drying efficiency of a hybrid system, which uses renewable energy sources, designed for drying of sewage sludge is investigated in this study. A modular and portable greenhouse-type system, which contains 5-storey drying belt and automatic loading and unloading system, was designed. The system named as moisture removal and drying system (NKS), is being operated under the control of an automation system (PLC). Sludge that is spread with a thickness of 5 cm over the surface of the top layer of the drying belt is transmitted to the lower storey belt and dried with solar energy. In the framework of this study, 1600 kg sewage sludge with a dry matter content varying between 14 and 19% was loaded to the NKS system, with loading rate of 400 kg each day. It was found that the dry matter content of the sludge increased to a level varying between 93 and 98% dry matter at the end of 4th day of experiments. It was seen that the system uses less energy when compared to mechanic sludge drying systems and necessitates less field needs when compared to conventional

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
İletişim Yazarı: Nezih Kamil SALİHOĞLU (nkamils@uludag.edu.tr)

sludge drying systems. Use of similar drying systems that use renewable energy sources would offer several advantages in terms of investment and operational costs.

Keywords: Renewable energy, greenhouse, sludge, drying.

1. GİRİŞ

Arıtma tesislerinin tasarımı aşamasında nihai çamur bertarafı genellikle öncelikli başlıklardan olmadığından, çamur yönetimi işletme döneminde zor ve maliyetli hale gelmektedir. Atık amur, atıksu arıtma işleminin istenmeyen yan ürünüdür. Atık amurlar tüm dünyada gün geçtikçe artan yeni bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Oluşan çamurların bertarafında uygulanacak ilk adım çamurdaki su muhtevasının azaltılmasıdır. Günümüzde uygulanan mekanik susuzlaştırma yöntemleri nihai bertaraf için teknik ve yasal açıdan uygun değildir. Çamurun su muhtevasının mekanik susuzlaştırma sonrası doğal ve termal yöntemlerle azaltılması uygulanan süreçlerdendir (Salihoğlu, 2011). Atıksu arıtımıyla ilgili kurumlar çamur bertarafında istenilen standartlara ulaşmak için çözüm üretmeye çalışmaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çözümün parçası olmaya aday başlıklardandır. Dünyadaki yenilenebilir enerji kaynaklarının payı gün geçtikçe artmakta, 2100 yılında enerji ihtiyacının %80'inin yenilenebilir enerjiyle karşılanacağı düşünülmektedir (Fridleifsson, 2001). Arıtma amuru yönetim maliyetlerinde en önemli kalemlerden birisi enerjidir. Ülkemizin, Avrupa Birliđi (AB) ile adaylık çalışmalarında öncelikli dosyalarından birini oluşturan çevre konusunda yasal zorunlulukların gelmesiyle birlikte atıksu arıtımında yaşanacak gelişmelerle atık çamur miktarı önemli ölçüde artıracaktır. Çamur bünyesindeki suyun katı kütleden uzaklaştırılması literatürde "susuzlaştırma" olarak adlandırılmaktadır (Mealey, 2009). Çamur kurutma yöntemlerinin seçiminde öncelikli faktörlerden biri enerji ihtiyacıdır. Kurutma işlemini, çevre için verimli ve emniyetli hale getirmek ve çamur kurutma sonrası elde edilen ürünü baz alan araştırmalar son yıllarda artmaktadır. Konvansiyonel termal kurutma ve güneşle çamur kurutma yöntemleri genellikle arıtma amurlarının kurutulmasında kullanılan yaygın yöntemlerdendir. Bu tür yöntemler, çamurun bünyesindeki suyun basınç altında serbest hale gelmesi prensibine dayanan ekonomik susuzlaştırma yöntemleridir (Eric ve Michael, 1992). Kurutma işlemi, yalnızca çamurun taşıma problemini çözmekle kalmaz aynı zamanda toprak iyileştirici veya yanabilir özelliği olan katma değerli ürünlere de dönüşebilen bir ürünün eldesinde kullanılır. Çamur içerisindeki su farklı özellikler gösterdiği için genel olarak iki ana kısımda düşünülmektedir. Bunlardan birincisi; katı taneciklere bağlı olmayan serbest su, diğeri; buharlaştırılması zor olan bağlı su kısmıdır (Vaxelaire ve Cézac, 2004). Çamur kurutmada mekanik ısı süreçlerin yüksek ilk yatırım, işletme ve enerji maliyetleri gerektirdiği belirlenmiştir (Bux vd., 2002). Çamurun doğal susuzlaştırma ve kurutma yöntemlerinde ana enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi, geleneksel olarak seraların ısıtılmasında (Kürklü vd., 2003) veya gıda ve tahıl kurutmada kullanılmaktadır (Ekechukwu ve Norton, 1999; Leon vd., 2002). Çamur hacmini azaltmak, taşıma maliyetlerini sınırlamak için kilit önem taşır. Güneş enerjisi ile kurutmada kurutma hızının niceliksel olarak çevre ve kontrol şartlarının bilinmesini gerektirir. Konvansiyonel güneşle kurutma sistemlerinde, mekanik olarak susuzlaştırılmış çamur, sera benzeri yapılar içerisinde yere serilir ve yapı fanlarla veya doğal yollarla havalandırılır. Bu koşullardaki buharlaşma hızının en önemli parametreleri, güneş radyasyonu, dış hava sıcaklığı, havalandırma hızı ve çamurun katı madde içeriğidir (Markus,2007).

Güneşle kurutma konusunda ilerlemeler farklı uygulama alanlarında olmaktadır. Güneşle kurutma teknolojisinin farklı alanlarındaki bu gelişmeler ya mevcut kullanılan sistemin performansını yükseltmek ya da büyük bir yenilik kullanan ve mevcut sistemlerden daha iyi sonuç veren yeni bir sistem oluşturmak şeklinde olmaktadır (Thirugnanasambandam, 2010). Chen ve ark. (2008), bir fotovoltaiik sistem (PV) ile ilişkili kapalı tip bir güneş kurutucu geliştirmiş ve sistemin duyuusal parametreler açısından yüksek kaliteli ürünler ürettiğini tespit

etmiştir. Hossain ve Bala (2007), karışık tip zorlanmış konveksiyonlu güneş tüneli kurutucusunu tropikal hava koşullarında yeşil acı biberleri kurutmuşlardır. Sistem kuruma süresinde belirgin bir azalma ve daha önceki ürünlere kıyasla renk ve keskinlik açısından daha iyi kalitede kurutulmuş ürünlere ulaşılmasını sağlamıştır. Shanmuga ve Natarajan (2006), sıcak ve nemli iklim koşullarında kurutma performansını araştırmak için dolaylı zorlanmış konveksiyonlu, nem alma ve kurutucu entegre edilmiş güneşle kurutma sistemi tasarlamışlardır. Çalışmada sistem verimliliği, özgül nem alma oranı, boyutsuz kütle kaybı, kütle büzülme oranı ve kuruma hızı konularındaki avantajlar ortaya konulmuştur. Madhlopa ve Ngwalo (2007), ısı depolama ve biyokütle ısıtıcısı destekli dolaylı tip doğal konveksiyonlu güneş ısıtıcısını tasarlamış ve değerlendirmiştir. Çalışmada, termal kütle hem güneş enerjisi hem de biyokütle hava ısıtıcılarından gelen ısının bir bölümünü depoladığını, bu sayede sıcaklık dalgalanmalarında azalma olduğunu göstermiştir. Bunun sonucu olarak kurutma odasında enerji kaybının azaltılabileceği belirlenmiştir. Bu ve benzeri pek çok çalışma konunun geliştirilebilir yönleri olduğunu ortaya koymaktadır. Ülkemizin yüksek güneşlenme süreleri güneş enerjisinin kullanıldığı kurutma sistemlerinin kullanımına imkan tanımaktadır. Bu çalışmada tam ölçekli olarak imal edilmiş ve işletilmekte olan patentli çamur kurutma sistemi NKS özellikleri ve kurutma verimini etkileyen bazı parametreler ele alınmaya çalışılmıştır. Çalışmanın ilk aşamalarında elde edilen bu verilerin, daha sonra gerçekleştirilecek sistem optimizasyonu çalışmalarına veri tabanı oluşturması ve benzer çalışmalara destek sağlaması açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

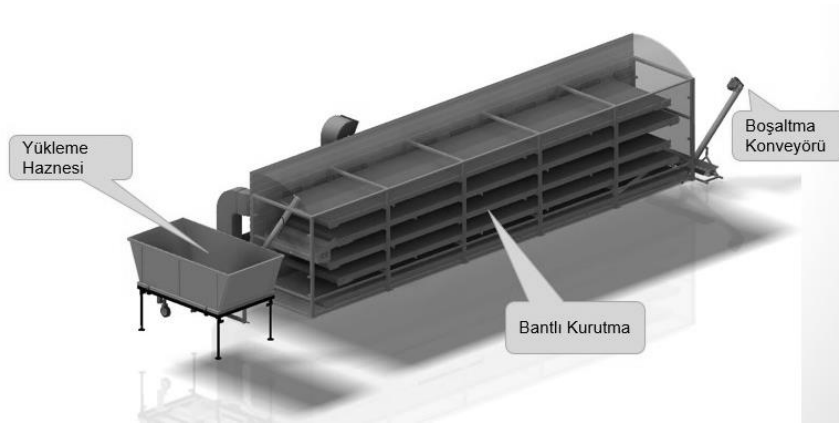
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, atıksu arıtma çamurlarının kurutulması için tasarlanmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı hibrit bir sistem incelenmiştir. Çalışma için tam ölçekli olarak çalıştırılan Nem Alma ve Kurutma Sisteminin (NKS) Nisan 2017'de 4 günlük performans verileri kullanılmıştır.

2.1. NKS Özellikleri

NKS, su içeriği yüksek, farklı malzemelerin nem alma ve kurutma işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış bir sistemdir. İncelenen NKS isimli sistem evsel, endüstriyel ve tehlikeli atık; büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan dışkı; kompost, içme suyu ve atık su arıtma tesisi çamurları; nehir, göl ve liman dip sedimenti; tarımsal ve endüstriyel nitelikli ticari ürünlerin yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak kurutulmasını hedeflemektedir. Yapısal olarak sera özelliğine sahip olan sistem, güneş kollektörü olarak çalışan, nem alma ve kurutma işleminin gerçekleştiği şeffaf polikarbonat kaplı bir ana gövde ve yenilenebilir enerji kaynağı, otomasyon sistemi vb. bileşenlerin bulunduğu ekipman odası bölümünden oluşmaktadır. Dış yüzeyi, tek hava bölmeli 1 cm. kalınlığında, %78 ışık geçirgenliğine sahip polikarbonat levha ile kaplı olan seranın yapısı güneş ışınlarının nüfuz etmesine izin verecek şekildedir. NKS, esas olarak güneş radyasyonunun ışık geçirgenliği yüksek, kapalı bir hacimde oluşturacağı sera etkisi ve yenilenebilir enerji sistemlerinin desteğiyle çamurun kurutulması prensibine dayanmaktadır. Çamur kurutma sisteminde fosil kaynaklı yakıtlar kesinlikle kullanılmamaktadır. Sistemin herhangi bir ünitesi fosil kaynaklı yakıt kullanan ve/veya yanma prosesiyle çalışan bir ünite ile techiz edilmemiştir. Çamur kurutma sistemi istenildiğinde farklı bir alana taşınabilecek özellikte ve demonte olarak tasarlanmıştır. Sistemin çalışma adımları şu şekilde özetlenebilir. Arıtma tesislerindeki mekanik çamur susuzlaştırma tesisinden çıkan %22±2 Katı Madde (KM) içeriğine sahip atık çamur, çamur yükleme konveyörü vasıtasıyla otomatik olarak yükseltilerek çamur kurutma sistemine yüklenmektedir. Çamur kurutma sisteminde oluşan nem yoğunlaştırılarak veya doğrudan sistem dışına atılabilmektedir. Bu tür kurutma sistemlerinde, sistemin dengelenmesini sağlamak için uygun sıcaklık ve nem ortamı yaratılmalıdır. Nemin alınmasında kullanılacak

ekipman olarak primer sıcaklık rejimi: 5°C-10°C, kurulu gücü: 3 kW, performans katsayısı COP: 5 değerlerine sahip bir ısı pompası tercih edilmiştir. Sistemin kapasitesi günde ortalama %22±2 KM'ye sahip 1000 kg çamurun yklenebilmesine izin vermektedir. Sistem tam döngüsünü en st banta yüklenen çamurun mevsimsel şartlara bağlı olarak 3-5 gün sonra sistemi terketmesiyle bitirmektedir. Sistem, amur kurutma sistemine beslenecek çamurun giriş katı madde değeri %22±2, kurutulmuş çamurun katı madde değeri %62±2 olacak şekilde tasarlanmıştır. Çamur kurutma için gereken toplam yıllık enerji ihtiyacının ancak %25'i enterkonnekte sistemden elektrik enerjisi olarak talep edilmektedir. Enterkonnekte sistemden kullanılan elektrik enerjisi, çamurun sistemde ilerlemesi ve çamurdaki nemin alınması/sistem dışına atılması için gereken makine ve gerekli görülen tüm diğer teçhizatın çalışması için gereken enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Kurutma sistemine çamur beslemesi ve çamurun sistemden boşaltılması için gereken enerji ihtiyacı bu miktarın dışında değerlendirilmektedir. şekil 1'de yenilenebilir enerji ile arıtma çamuru kurutma sistemi NKS'nin genel görünümü verilmektedir.



şekil 1:

Yenilenebilir Enerji İle Arıtma amuru Kurutma Sistemi (NKS) (Salihoğlu, 2016)

2.2. Çamur lm, Analiz ve Değerlendirme

Dış ve iç ortam verileri Onset Computer H21-001 HOBO meteoroloji istasyonu ile saatlik ortalamalar olarak veri derleyiciye kaydedilmiştir. llen parametreler ve ölüm sensörlerinin hassasiyetleri şoyledir: Dış ortam rüzgar hızı ve yönü (± 0.5 m/s) olmaktadır. İ ve dış ortam nem ve sıcaklık ölümlerinde S-THB-M008 nem ve sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Bu sensör için ölüm sıcaklık aralığı: -40°C- 75°C, bağlı nem ölüm aralığı RH: 0-100% RH (-40°C-75°C sıcaklık aralığında) dır. Güneş radyasyonu ölümünde 0 -1280 W/m² aralığında ölüm yapabilen Onset Computer S-LIB-M003 silikon piranometre kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın çok uzun vadeli ve devamının olduğu göz önüne alınarak sadece üç günlük veriler her 10 dakikada bir toplanarak cihazın verdiği sonuçlar değerlendirilmeye çalışılmıştır. Tesisten alınan çamur numunelerine, BUSKİ Atıksu Laboratuvarında ve Uludağ niversitesi evre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Laboratuvarında Standart Metodlara (APHA, AWWA, WEF, 1998) göre toplam katı madde(TKM), uçucu katı madde (UKM) ve askıda katı madde (AKM) deneyleri yapılmıştır. Analizlerde SHIMADZU ATX-224 hassas terazi, TOLKİM 2004 saf su cihazı, BINDER ED 115 etüv kullanılmıştır. Kurutma deneylerinden elde edilen veriler SPSS 19.0 programında değerlendirilmiş p<0.05 ve p<0.01 olasılıklar için değişkenler ve çıktılar arasındaki ilişkilerin kayda değer olup olmadığı belirlenmiştir. Deneysel süreç boyunca çamur temininde kentsel atıksuların artıldığı, nutrient giderimine dayalı, uzun havalandırmalı bir atıksu arıtma tesisinden istifade edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

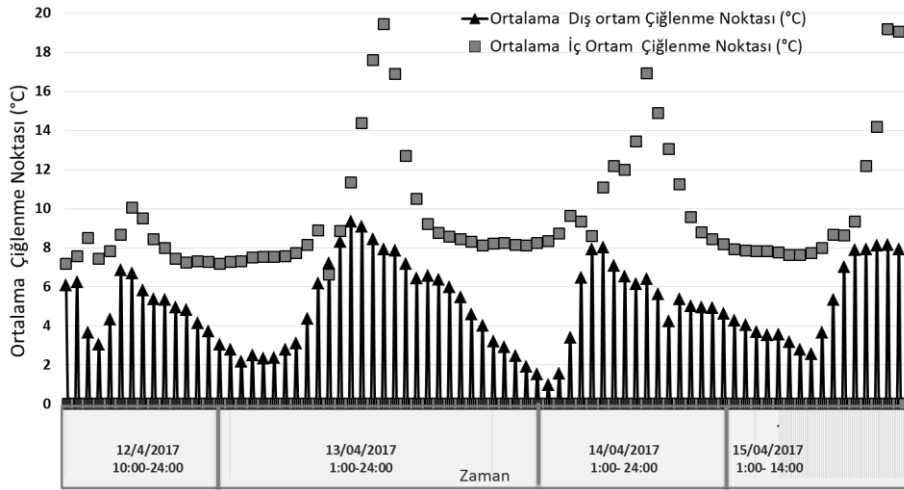
3.1. Çiğlenme noktası

Tesisteki çiğlenme noktası ölçülen ve değerlendirilen verilerdendir. Çiğlenme noktası iç ortam sıcaklığına ve bağıl neme bağlıdır. Kısaca karışım içindeki su buharı kısmi basınçlarına karşılık gelen doyma sıcaklıkları olarak tarif edilebilir. Cihazlarla ölçülen bağıl nem ve sıcaklığı ölçülerek seranın iç ve dış ortam çiğlenme noktası değerleri hesaplanmıştır. Çiğlenme noktasının santigrat cinsinden değerini hesaplamak için (1) nolu eşitlik kullanılmıştır.

$$T_c = \sqrt[8]{RH/100} \cdot [112 + (0,9 \cdot T)] + (0,1 \cdot T) - 112 \quad (1)$$

T_c = Santigrat cinsinden çiğlenme noktası, T = Santigrat cinsinden sıcaklık, RH = % Bağıl nem,

Ölçüm döneminde iç ortam veri alma aralıklarıyla uyumlu olarak kaydedilen dış ortam çiğlenme verileri Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2:
Dış ve İç Ortam Ortalama Çiğlenme Noktası Değerleri

Şekil 2’den görüleceği üzere iç ortam nem ve sıcaklık değerlerinde oluşan stabil yapı iç ve dış ortam ortalama çiğlenme noktası değerlerine de yansımıştır.

Çiğlenme noktası ve sıcaklıklarındaki her 1 °C fark için bağıl nem oranı, çiğlenme noktası sıcaklığına eşit olduğunda $RH = \% 100$ 'den başlamak üzere % 5 azalmaktadır. Nem oranı % 50'nin üzerinde olduğu sürece, bu yaklaşım yaklaşık ± 1 ° C'de doğrudur. Yukarıda verilen şekilde sıcaklığın artmasıyla birlikte çiğlenme noktası da yükselmektedir. Özellikle iç ortamda bu yükseliş daha belirgin şekilde gözlenmektedir.

3.2. Güneş Radyasyonu

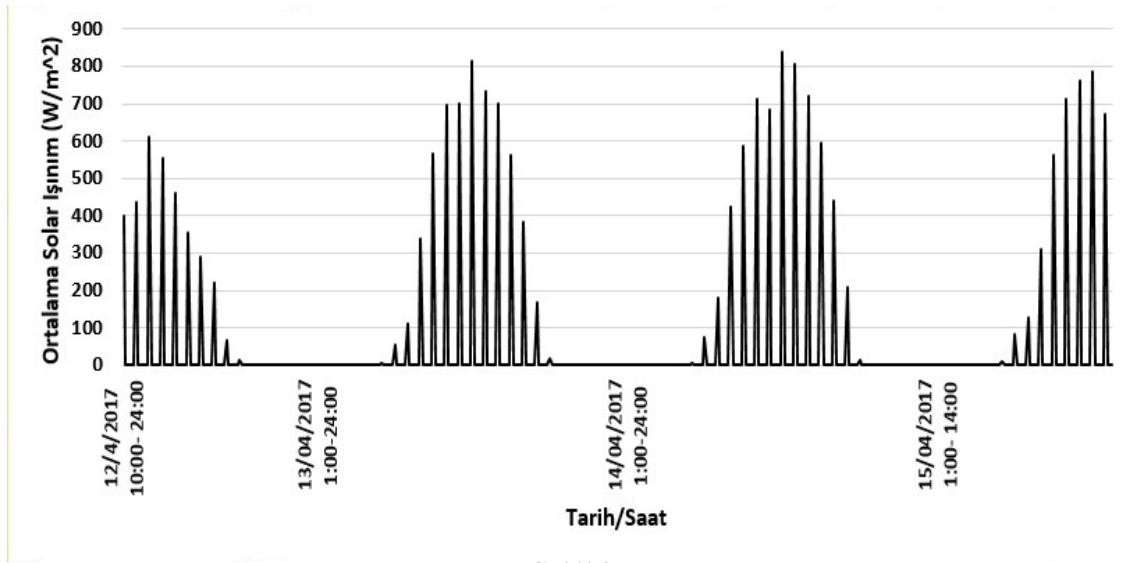
Güneş radyasyonu değerleri kullanılan enerjinin temelini oluşturmaktadır. Güneşten gelen ışınlar tek hava bölmeli polikarbonat levhadan geçtikten sonra sera etkisiyle iç ortam havasının sıcaklığını artırmaktadır. Solar Işınımın SI birimi, metre kare başına watt (W / m^2)'dir.

$$1 \text{ kW} / m^2 = 24 \text{ kWh} / m^2 / \text{gün} = 8760 \text{ kWh} / m^2 / \text{yıl}$$

$$SI: W / m^2 \quad (2)$$

W/m^2 olarak ölçülen güneş radyasyonu değerleri sisteme giren toplam güneş enerjisi olarak yorumlanmaktadır. Çamur suyu buharlaşma miktarı ve güneş radyasyonu arasındaki ilişki Salihoğlu ve Pınarlı (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; eşit miktar ve katı madde yüzdesine sahip, 25 cm. yükseklikte serilen ve çamur özgül ağırlığı $Ssl:1.02$ tespit edilen çamurla bir yıl boyunca yapılan denemeler sonunda, çamurun %20 KM'den %35 KM'ye ulaşabilmesi için ortalama $45000\pm3000 W/m^2$ güneş radyasyonuna ihtiyaç olduğu ortaya konulmuştur.

Güneş ışınının şiddeti, yeryüzünde $0-1100 W/m^2$ değerleri arasında değişim göstermektedir. Tesiste piranometre ile yapılan güneş radyasyonu ölçümleri veri derleyici ile düzenli olarak kaydedilmiştir. Şekil 3'te güneş ışınının 12:00-14:00 arasında en yüksek orana çıktığı ve son olarak $800W/m^2$ şiddetine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3:
Güneş Radyasyonu Ölçümleri

3.3. Üfleme Havaşı ve Dönüş Havaşı Sıcaklığı

NKS'nin istenilen şartlarda çalıştırılabilmesi için hava şartlarının uygun aralıkta tutulmasını sağlamak için fanlar vasıtasıyla havalandırılması gerekmektedir. Hava akışı kontrollerinin olmaması veya istenilen değerlerde gerçekleşmemesi kurutma sisteminde verimsizliğe neden olmaktadır (Richard A., 2011). Bu amaçla üç sistem uygulanmaktadır. Burada;

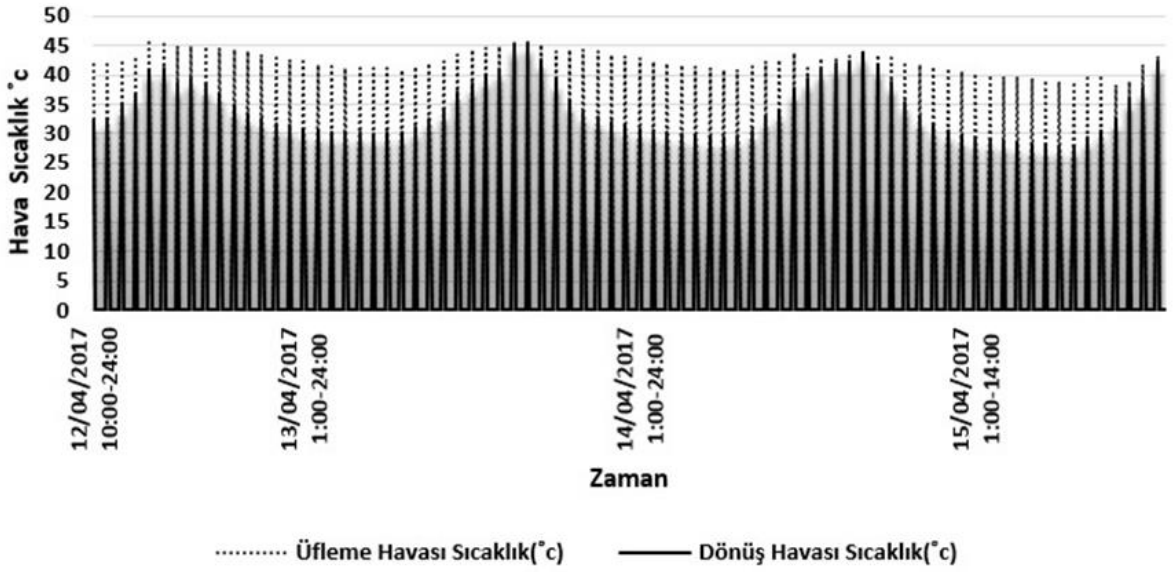
- Hava iç ortamdan emilebilir veya havalandırılarak dışarı atılabilir,
- Hava iç ortamda üfleme ile yönlendirilebilir,
- Her iki sistem birlikte uygulanabilir. Sıcaklık kontrolünde amaç üfleme havaşı sıcaklığını sabit tutmaktır. Bu durumda iç ortama üflenecek olan havaanın KT (Kuru Termometre) ve YT (Yaş Termometre) sıcaklıkları hesaplanmalıdır. Bunun için 3 nolu eşitlikten yararlanılmaktadır.

$$T(\text{üfleme}) = T(\text{oda}) - \Delta t \quad (3)$$

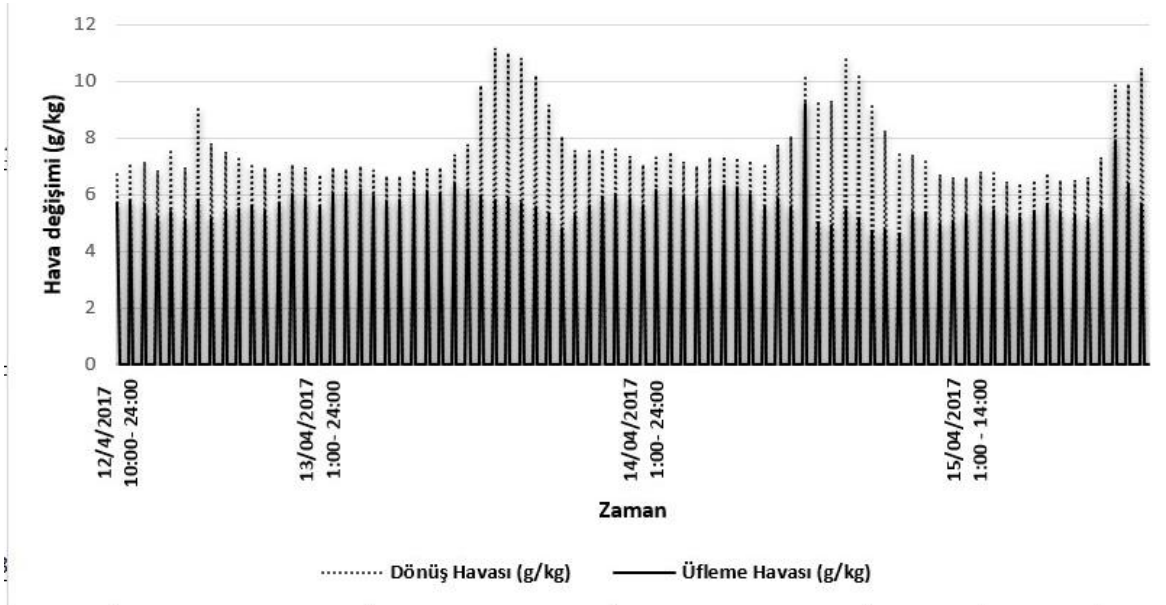
Ortama üflenen hava sıcaklığı ile mahal havaşı arasındaki sıcaklık farkı, Δt arasında olmalıdır. Sıcaklık Farkı $=\Delta t$ 'dir.

Şekil 4'te üfleme havaşı ve dönüş havaşı sıcaklığındaki değişim, Şekil 5'de dönüş ve üfleme havaşındaki değişim görülmektedir. Üfleme havaşı sıcaklığının sabit bir aralıkta tutulması için sistem enerji ihtiyacı artmaktadır. Dönüş havaşı sıcaklığındaki değişimin dengelenmesi toplam enerji ihtiyacını azaltacaktır. Dönüş havaşıyla iç ortamdan 7-10 g/kg nem

alınması bu sistemde mümkün olabilmektedir. Yapılan saha çalışmalarında, güneşle çamur kurutma sistemlerine ilave edilen yenilenebilir enerji kaynaklı hibrit sistemler için enerji kullanımı optimizasyonunun PLC üzerinden yönetilmesinin zorunlu olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4'te üfleme havası ve dönüş havası sıcaklık değerleri arasındaki fark açık biçimde görülmektedir. Fark sıcaklık çamurun kurutulması için kullanılan enerjinin bir göstergesidir. Üfleme havası, ekipman odasında bulunan ısı pompasından geçtikten sonra 40 ± 3 °C aralıkta sisteme geri verilmektedir. Dönüş havası ise değişen dış ortam ve nem alma verimine bağlı olarak ölçüm yapılan dönemde 28 ± 5 °C aralığında gerçekleşmiştir. Şekil 5'te dönüş ve üfleme arasındaki taşınan suyun değişimi g/kg olarak verilmektedir. Dönüş havası ve üfleme havası arasındaki fark da sistemden tahliye edilen nem olarak ifade edilebilir.



Şekil 4:
Üfleme Havası ve Dönüş Havası Sıcaklığındaki Değişim



Şekil 5:
Dönüş ve Üfleme Havasındaki Değişim g/kg

3.4. Çamur Katı Madde Yüzdesindeki Değişim

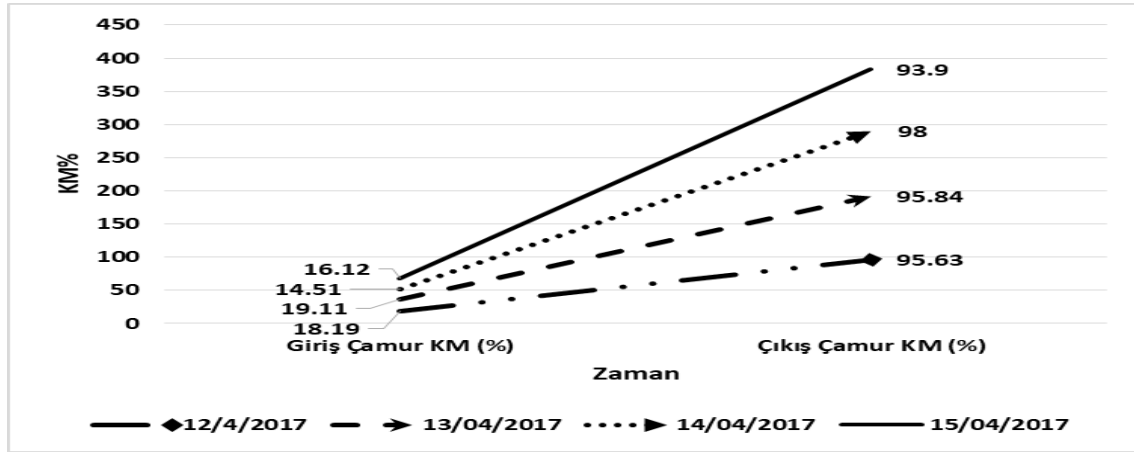
Tasarlanan tesisin ana amacı atık arıtma çamurlarındaki suyun azaltılması olduğu için çamurun katı madde yüzdesindeki değişim önemli bir parametredir. Nisan ayı içerisinde Bursa Orhaneli güneş değerleriyle 4 günlük bir çalışma sonucu elde edilen çamur kurutma değerleri Tablo 1’de verilmektedir. Tabloda görülen çamur suyu buharlaşma değerlerine göre NKS’ye konulan çamurunu katı madde değerinin %14,51 KM içeriğinden %98 KM içeriğine kadar ulaşabildiği belirlenmiştir.

Tablo 1. Çamur Katı Madde Miktarındaki Değişim

Tarih	Giriş Çamur KM (%)	Çıkış Çamur KM (%)	Giriş Çamur Miktarı (m ³ /gün)	Çıkış Çamur Miktarı (m ³ /gün)	Buharlaştırılan Su Miktarı (m ³ /gün)
12/4/2017	18,19	95,63	0,4	0,076	0,324
13/4/2017	19,11	95,84	0,4	0,080	0,320
14/4/2017	14,51	98	0,4	0,059	0,341
15/4/2017	16,12	93,9	0,4	0,069	0,331

Tablo 1’de ölçüm yapılan dönemdeki değerler dikkate alındığında, 4 günde 0,4 m³ çamur içeriğindeki ortalama 0,329 m³ çamur suyunun incelenen sistemle buharlaştırılabildiği görülmektedir. Şekil 6’da, tasarlanan tesisle yapılan çalışmada %14,51 KM değerine sahip olan giriş çamur değerinin %98 KM’ye dek ulaştığı görülmektedir.

Deneyisel süreçte NKS’ye yüklenen % 14,51 Katı Madde (KM) içeren, 400kg çamur 4. günün sonunda % 98 KM’ye ulaşmıştır.



Şekil 6:

Çamur katı madde değişimi

3.5. İstatistiksel Değerlendirme

Kurutma deneylerinden elde edilen veriler SPSS 19.0 programında değerlendirilmiş $p < 0.05$ ve $p < 0.01$ olasılıklar için değişkenler ve çıktılar arasındaki ilişkilerin kayda değer olup olmadığı belirlenmiştir. Kurutma çalışmalarında %95 güven düzeyinde ($p < 0.05$) için KM ile eklenik güneş radyasyonu verileri arasındaki korelasyonun kayda değer olduğu hesaplanmıştır. NKS iç ortam sıcaklık değeri t testine göre %95 güven aralığında dış ortama göre daha yüksek bulunmuştur.

4. SONUÇ

Aritma çamurunun kurutulmasıyla bertaraf edilecek toplam çamur miktarı azaltılmakta, nakliye ve depolama maliyetleri de buna bağlı olarak düşmektedir. Çamur kurutma sistemlerinin seçiminde önemli bir parametre olan enerji talebi halen pek çok sistemde azaltılmaya çalışılmaktadır.

Bu sistemde, güneş radyasyonu suyun buharlaşması için ana enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Kurutmanın gerçekleştiği seranın güneş kollektörü olarak kullanıldığı bu sistemde iç ortam rejiminin kararlılığının sağlanması için ısı pompası, mekanik fan ve nem alma sistemleri destek yapılar olarak kullanılmıştır.

- Çalışmada %14,51 KM değerine sahip olan 0,4 m³ giriş atık çamurunun %98 KM'ye dek ulaştığı görülmüştür.
- Ölçüm yapılan dönemde 4 günlük süre, yukarıda belirtilen katı madde değerlerine ulaşmak için yeterli olmuştur. Güneş radyasyonu değeri 0-800 W/m² aralığında değişim göstermiştir.
- Yapılan kurutma çalışmalarında %95 güven düzeyinde (p<0.05) için KM ile eklenik güneş radyasyonu verileri arasındaki korelasyonun kayda değer olduğu tespit edilmiştir.
- Tesisin sıcaklık değeri t testine göre %95 güven aralığında dış ortama göre daha yüksek bulunmuştur. Dönüş havası sıcaklığındaki değişimin otomasyon sistemiyle optimize edilmesinin toplam enerji ihtiyacını azaltacağı kanaatine varılmıştır.
- Dönüş havasıyla iç ortamdan 7-10 g/kg nem alınmasının incelenen sistemde mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonunda, kapalı bir sera içerisinde güneş enerjisi yardımıyla kurutma yönteminde, iç ortam nem, sıcaklık değerleri ile havalandırma miktar ve hızlarının otomatik olarak kontrol edilmesi durumunda kurutma sürelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Bu tür yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar; yapılacak benzer yatırımlar ve çevresel kazanımlar açısından destek sağlayacaktır. Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sürecinde, farklı hedeflere yönelik hibrit sistemlerin kullanımının benzer yapılara olan ilgi ve yatırım oranını olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Tesiste ileriki dönemlerde, özellikle dönüş havası miktarı, dönüş havası sıcaklığı, ısı pompası verimi ve farklı tip çamurların sistem içindeki davranışı gibi başlıklar üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu yayının hazırlanmasında emeği geçen Prof. Dr. Güray Salihoğlu'na, Zeinab Amin'e, NKS projesinin gerçekleşmesindeki katkılardan dolayı Orakçı Makina Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.'ne ve BUSKİ Genel Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

1. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition, 1998. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), and Water Environment Federation (WEF). United Book Press, Inc., Baltimore Maryland. ISBN-10: 0875532357

2. Bux, M., Baumann, R., Quadt, S., Pinnekamp J, Mhlbauer W. (2002) Volume reduction and biological stabilization of sludge in small sewage plants by solar drying, *Drying Technology*, 20, 829–37. doi: 10.1081/DRT-120003765
3. Chen CR, Sharma A, Tyagi SK, Buddhi D. (2008) Numerical heat transfer studies of PCMs used in a box-type solar cooker. *Renewable Energy* 2008; 33:1121–9. doi: 10.1016/j.renene.2007.06.014
4. Eric P.A, Michael J.G . (1992) Sludge dewatering system, Patent, US 5135651 A.
5. Ekechukwu, O.V., Norton, B. (1999) Review of solar energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 1999; 40, 615–655. doi: 10.1016/S0196-8904(98)00093-4
6. Fridleifsson IB. (2001) Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2001 ;5:299–312. doi: 10.1016/S1364-0321(01)00002-8
7. Hossain, M.A. and Bala B.K.. (2007). Drying of hot chilli using solar tunnel drier. *Solar Energy*;81:85–92. doi: 10.1016/j.solener.2006.06.008
8. Krkl, A., Bilgin, S., zkan, B. (2003) A study on the solar energy storing rock-bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse, *Renewable Energy*, 28, 683–97. doi: 10.1016/S0960-1481(02)00109-X
9. Leon, M.A., Kumar, S., Bhattacharya, S.C. (2002) A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 6, 367–93. doi: 10.1016/S1364-0321(02)00005-9
10. Madhlopa A. and Ngwalo G. (2003) Solar dryer with thermal storage and biomass backup heater. *Solar Energy* 2007;81:449–62. doi: 10.1016/j.solener.2006.08.008
11. Mealey R.E, JR. (2009) Sludge Dewatering System. Patent, US 20090090256 A1.
12. Pfnder, M., Lpfert, E., Pistor, P. (2007) Infrared temperature measurements on solar trough absorber tubes, *Solar Energy* Volume 81, Issue 5, May 2007, 629-635. doi: 10.1016/j.solener.2006.08.016
13. Richard A. (2011) Drying system and method of using same. Patent, US 8006407 B2.
14. Salihoğlu, N.K., Pınarlı, V., (2007) atıksu arıtma çamurlarının kapalı yataklarda gneş enerjisiyle kurutulması. *İT Dergisi / e Su Kirlenmesi Kontrol* Cilt:17, Sayı:1, 3-14 Mart 2007.
15. Salihoğlu, N.K. (2011) The effects of limited liming on solar dried wastewater sludges in covered drying beds . *YT, Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 3, 193-199.
16. Salihoğlu, N.K. (2016) Trk Patent Enstits, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanıldığı Kurutma Sistemi. 2013/11364 Y nolu patent belgesi.
17. Shanmuga V, Natarajan E. (2006). Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer. *Renewable Energy* 2006;31:1239–51. doi:10.1016/j.renene.2005.05.019
18. Thirugnanasambandam, M., Iniyan, S., Goic, R., 2010. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 312–322. doi:10.1016/j.rser.2009.07.014
19. Vaxelaire, J. and Czac, P . (2004) Moisture distribution in activated sludges: a review, *Water Research*, 38, 9, 2215-2230. doi: 10.1016/j.watres.02.021