



Aritma Çamurlarının Güz Mevsimi Şartlarında Parabolik Solar Kurutucu ile Kurutulması

Mustafa İnal^{1*}, Mehmet Emin Argun²

¹ Çevre Mühendisliği ABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

² Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye

E-Posta: inal.mustafa.inal@gmail.com, meargun@ktun.edu.tr

Özet: Arıtma çamurları, su ile birlikte organik ve inorganik kirletici maddeleri içeren konsantre atıklardır ve atıksu arıtma tesislerinin ayırma işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Çamur susuzlaştırma işlemleri ile ayrılrsa da, içeriğinde hala 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, araziye depolamak veya gübre olarak kullanmak için çamurun katı madde içeriğini arttırmak gerekir. Bu nedenle kurutma, bu faydalı kullanım veya bertaraf seçenekleri için yararlı bir işlemdir. Fosil yakıt ile çalışan termal kurutucular yüksek kuruma oranlarına ulaşabilir, ancak maliyeti dezavantajdır. Güneş enerjisinden faydalanmak için çamurun zemine ince bir tabaka halinde serildiği sera tipi kurutma tesisleri, nispeten düşük maliyetlidir ancak büyük alanlar gerektirir. Güneş enerjisinden en yüksek seviyede istifade edilen kurutma seçeneklerinin sayısını arttırmak gerekir. Konsantre güneş enerjisi sistemleri bu sorunların üstesinden gelmek için alternatif 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 Ekim ve Kasım 2018'de Konya Atıksu Arıtma Tesisi'nde yapılmıştır. Katı madde içeriği, ortalama güneş ışınımının 882 W/m² ve çamur besleme hızının 33 g/dk olduğu bir günde %18'den %47'ye yükselmiştir. Radyasyon ve besleme hızının 1047 W/m² ve 28,6 g/dk olduğu başka bir günde, katı madde içeriği %21'den %64'e yükselmiştir.

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

Drying of Treatment Sludges with Parabolic Solar Dryer in Fall Season Conditions

Abstract: Treatment sludge are concentrated wastes including organic or inorganic impurities and resulted from separation process of wastewater treatment plants. Although the sludge is separated by dewatering processes, it contains a large amount of water in its contents. The water content of the non-fluidized 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 fertiliser. 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 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. It is necessary to increase the number of drying options that use the highest level of solar energy. 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 experiments were conducted in October and November 2018 in Konya waste water treatment plant. 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, the solids content increased from 21% to 64%.

Key Words: Treatment sludge, parabolic trough type solar collector, drying, solar energy.

*İlgili E-posta: inal.mustafa.inal@gmail.com

Bu makale; "Arıtma Çamurlarının Kurutulması İçin Yoğunlaştırılmalı Güneş Kolektörünün Üretilmesi" isimli yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmıştır. Bu makalede verilen sonuçların bir kısmı "International Symposium for Environmental Science and Engineering Research" (ISESER2019)'de sözlü olarak sunulmuş ve tam metin olarak yayımlanmıştır. Maddi katkılarından dolayı Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz (Proje no:18201041).

GİRİŞ

Aritma çamurları, kullanılmış sularda bulunan askıda ve çözünmüş kirletici maddelerin arıtma işlemleri ile sudan ayrılması sonucu oluşan; durumuna göre biyolojik aktivitenin devam edebildiği, farklı oranlarda su içeriği bulunan atık maddelerdir. Sudan ayrılan çamurlar, çamur işleme proseslerine sevk edilirler. Hastalık yapıcı mikroorganizmalardan arındırılan ve su oranı azaltılan arıtma çamurları, akışkanlık özelliği olmayan çamur keki haline gelir ve bertaraf işlemleri için süreç devam eder. Çamur keki, ek yakıt olarak ya da zirai faaliyetlerde kullanılabilir; düzenli atık depolama sahalarına gönderilerek bertaraf edilebilir.

Türkiye’de nüfus artışı ile birlikte su kullanımı ve atıksu oluşumu artmaktadır. Belediyelerin 2001 yılında deşarj edilen atıksu miktarı 2,3 milyar m³ ve arıtılma oranı %52’ iken, 2016 yılında deşarj edilen atıksu miktarı 4,5 milyar m³’e ve arıtılma oranı %86’ya çıkmıştır^[1]. Arıtma tesisi sayısı 2001 yılında 126 iken, bu sayı 2016 yılında 881’e yükselmiştir. Çevrenin korunması ve sürdürülebilir su kullanımı ile ilgili dünyada ve Türkiye’de yaşanan olumlu gelişmelerle birlikte; çevre politikaları geliştirilmekte ve mevzuatlar çevre yararına güncellenmektedir. Ülke genelinde atıksuların tamamen arıtılması adına alınan kararlar doğrultusunda, arıtma tesisi ihtiyacı hızla giderilmektedir^[2]. Arıtılan atıksuyun artması, doğal olarak bertaraf edilmesi gereken arıtma çamuru miktarını da artırmaktadır. 2016 yılında belediyelerde kuru madde bazında 299.296 ton arıtma çamuru oluşmuştur^[3]. Ülke genelinde yapılan bir araştırmaya göre ise Türkiye’de 2016 yılında 2.300.105 ton farklı oranlarda su içeren çamur keki oluşmuştur^[4]. Konya Atıksu Arıtma Tesisi (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^[5]. İstanbul ilinde 2017 yılında günde 1055 ton çamur keki üretilmiştir. Termal kurutma ile %90 ve üzerinde kurutulduktan sonra ek yakıt olarak bertaraf sürecine gönderilen çamur miktarı ise günlük 242 ton olarak gerçekleşmiştir^[6]. Türkiye şartlarında arıtma çamurlarının çoğunlukla düzenli ya da düzensiz olarak araziye depolandığı bilinmektedir^[7].

Çamur keki olarak bilinen, suyu azaltılmış fakat kurutulmamış ürün, en az %70 oranında su içermektedir. Çamur kurutma işlemi, mekanik yöntemler ya da kurutma yatakları gibi geleneksel yöntemlerle suyu azaltılmış ve akışkanlık özelliği ortadan kaldırılmış; genellikle ağırlıkça en fazla %30 oranında kuru madde (KM) içeren arıtma çamurlarının KM oranlarını daha fazla artırmak için uygulanan işlemdir. Çamur KM oranını iki katına çıkarmak, çamur hacminin yarıya inmesini sağlamaktadır^[8]. Çamurun ağırlık ve hacmindeki büyük miktarda azalma, çamurun naklini kolaylaştırdığı gibi; yanma verimini artırarak ek yakıt olarak bertaraf edilebilme imkânını, zirai amaçlı kullanım potansiyelini genişletir. 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 ortadan kalkacaktır ve böylece bertaraf işlemlerinin doğal çevreye etkileri azaltılacaktır^[9].

Arıtma çamurları özel olarak teşkil edilen ve kurutma için ayrılan alana serilerek, güneş ışınlarına maruz bırakılarak kurutulabilir. Bu, kurutmada yaygın olarak bilinen ve eski 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^[9]. Çamur üzerinde bir sera etkisi oluşturmak adına, geleneksel kurutma yatağının üzeri şeffaf bir örtü ile kapatılmış böylece 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 yapılabilir. Aynı zamanda tesis içerisinde; çamur karıştırılarak, hava sirkülasyonu sağlanarak ve nemli hava dışarı atılarak 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^[9]. Sera örtülü ve örtüsüz açık sistem kurutma tesislerinin kıyaslanması için yapılan çalışmalarda, sera örtülü sistemin daha verimli olduğu görülmüştür^[10]. Sera tip kurutma tesislerinin, akışkan ısıtarak çalışan güneş enerjisi kolektörleri ile desteklenmesi de söz konusu olabilir. Bu da kurutma için güneş kaynaklı ek ısı enerjisi sağlayacaktır^[11]. Sera örtülü kurutma yönteminin geliştirilerek veriminin artırılmasına yönelik olarak yapılan bir kurutma ünitesi ise; sera tip kapalı bir alan içerisinde, çok katlı konveyör bantlı sistem kurularak yapılmıştır. Normalde zemin

üzerine serilerek yapılan kurutma, çok katlı konveyör bant kullanılarak yapılmış; sisteme beslenen çamur bant üzerinde ilerleyerek, alt kattaki banda aktarılarak devam etmiştir. Böylece birim alanda daha fazla miktarda çamur kurutmak üzere bir metot geliştirilmiştir^[12, 13].

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 fazla kullanılan yöntemler olsa da, kurutma için fazla miktarda alanlara ihtiyaç duyulması kullanımını sınırlandırmaktadır. 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, on bir adet tesiste ise termal kurutma yapılmaktadır^[4]. Çamur bertarafında çoğunlukla araziye depolama çözümleri kullanılan Türkiye’de tesislerin çoğunda çamurlar vahşi depolanmaktadır^[7]. Sürdürülebilir çevre yönetiminin önem kazanmasıyla birlikte, çamurların ek yakıt olarak kullanımı ya da zirai faaliyetlerde kullanımı gibi alternatif bertaraf yöntemleri gündeme gelmekte ve bu yönde çalışmalar artmaktadır. Bu süreçte çamurların kurutmasına verilen önem artmaktadır.

Güneş enerjisi kolektörlerinde, hava ya da başka bir akışkanın ısıtılması ve bu ısının kurutma bölmesinde kullanımı ile yapılan kurutma işlemleri hem gıda maddelerinde hem de arıtma çamurlarında uygulanabilir^[14]. Kurutma bölmesinin ya da kurutma serasının içerisi, nem ve sıcaklık gibi farklı parametrelerin sensörler ile ölçümü yoluyla otomasyona bağlı olarak kontrol edilebilmektedir^[12].

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 eksende takip ederek alıcı tüp üzerinde çizgisel olarak güneş ışınlarını odaklar. Bu kolektörler çoğunlukla akışkanları ısıtarak endüstriyel uygulamalarda kullanma ve elektrik üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır^[15]. Odak noktasındaki alıcı boru içerisinden ısı transfer akışkanı geçirilerek yüksek sıcaklık ihtiyaçları karşılanmaktadır. Alıcı boru içerisinden hava geçirilerek, ısıtılan havanın kurutma odasındaki bitkilerin kurutulmasında kullanımı üzerine uygulamalar yapılmıştır^[16, 17].

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. Ayrı bir kurutma bölmesi, ek bir alan gereksinimi demektir. Bu çalışma ise, çamurun ayrı bir kurutma bölmesinde değil, doğrudan parabolik oluk kolektörün odağında bulunan tüp içerisinden 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, odağından arıtma çamuru geçirilecek şekilde tasarlanmış, odakta bulunan enerji alıcı tüp aynı zamanda bir kurutucu olarak teşkil edilmiştir. İmalatı yapılan prototipin, Konya AAT’nde denemeleri yapılarak sistem incelenmiştir.

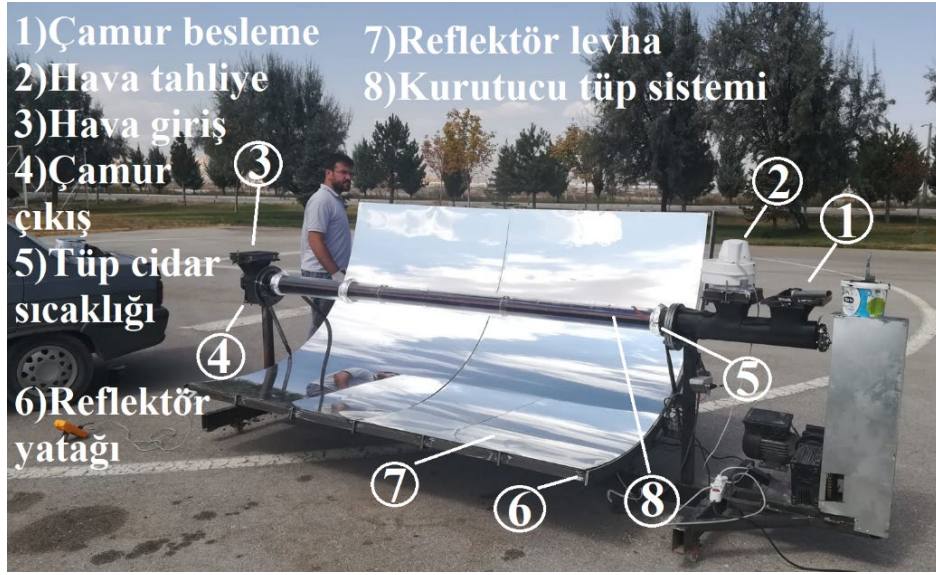
MATERYAL VE METOT

Güneşten gelen ısı enerjisi toplayarak kurutucu tüpe (KT) aktarmak için parabolik oluk yansıtıcı kullanılmıştır. Parabolün çizgi uzunluğu 200 cm olacak şekilde çizilen grafiğin denklemi $y=(x^2/160)$ ’tır ve x değeri -85,7 ile +85,7 aralığında değişmektedir^[18]. Parabol odak noktasının denklemi ise, $f=x^2/4y$ olarak ifade edilir^[19]. Parabolün geometrik odağı aynı zamanda y eksenine paralel gelen ışınların yansıyarak odak noktasından geçmesini sağlar. Parabol eğrisi bilgisayar destekli tasarım (CAD) programı ile çizilmiş ve bu eğri yansıtıcı yatağının tasarımını teşkil etmek üzere kullanılmıştır. 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.

KT, içerisinde çamuru iletmek ve karıştırmak üzere helezon bulunan, üzerinde çamur ve hava giriş çıkışı için kapaklı bacaları teşkil edilmiş, dışı cam bir kılıfla ısı kaybına karşı yalıtılmış ve dış cidarına seçici yüzey (Almeco tincox) kaplanmış bir düzenek olarak tasarlanmıştır. Bu düzenek parabolik reflektörün odağına yerleştirilmiş ve bu sayede güneş ışınlarının kurutucu düzeneğin cidarına yoğunlaşması sağlanmış, ısı enerjisine dönüşüm gerçekleşmiştir. KT düzeneği 2 mm (St-37) çelik sactan imal edilmiştir. KT daire kesitli değil, “U” şeklinde özel bir geometrik kesite sahip olacak şekilde teşkil edilmiştir. Bunun nedeni helezon üzerinde boşluk olmasını sağlayarak, havalandırmanın etkin olarak gerçekleşebilmesidir. Helezon, 53 mm çapında ve 65 mm hatveye sahip sağ yönlü çelik helezon yapıyağı

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, metal yüzeyde güneş ışınlarının yoğunlaşarak oluşturduğu ısının atmosfere kaybını önlemek için; cam, daire kesitli bir kılıf teşkil edilmiştir. Cam kılıf ile metal KT arasını desteklemek ve cam kılıfın uç noktalarından hava girişini önlemek için polioksimetilen plastik conta kullanılmıştır.

Çamur helezon yardımı ile çamur besleme kısmından diğer yöne doğru ilerlerken; hava, çamurun çıkış yaptığı taraftan girmektedir. Dolayısıyla çamurun ilerleme yönü ile havanın akım yönü birbirine ters istikamettedir. Isınan hava ile yeni beslenen çamurun karşılaşması sonucu çamura ısı aktarım verimini arttırmak amacı ile böyle bir yol tercih edilmiştir. Uygulanan havalandırma ile KT içerisinde minimum 240 L/dk, maksimum 480 L/dk olmak üzere ortalama 360 L/dk hava tahliye edilmektedir. Parabolik reflektörün güneşi takip etmesi manuel olarak tüp motor ile sağlanmıştır. Şekil 1'de sistem genel olarak özetlenmiştir. Parabolik yansıtıcı açıklık alanı 4,3 m²'dir.



Şekil 1. Kurutucu genel görünüm

Güneş ışınım değerleri, belirli zaman aralıkları ile Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeier GmbH SiS-01TC-DMM sensör ve Victor 86C dijital multimetre ile W/m² cinsinden anlık olarak okunmaktadır. Aynı zaman aralıklarında, hava sıcaklık ve bağıl nemi KT giriş ve çıkışından, Emko esm-3723 cihazına bağlı Emko Pronem Mini pmi-p elektronik prob ile ölçülmüştür. KT dış cidarından sıcaklık ölçümü, Pakkens gaz dolgulu termometre ile yapılmıştır.

Denemeler için ham çamur, Konya AAT santrifüj çamur susuzlaştırma prosesi çıkışından çamur keki vaziyetinde %18-22 KM oranına sahip olarak temin edilmiştir. Numune alım işlemleri sonrasında, toplam çamur ağırlığı tartılarak kayıt altına alınmıştır. Aynı zamanda Trotec tp6 lazer termometre ile alınan çamur numunesinin sıcaklığı kaydedilmiştir. Çamur sıcaklıkları 28 ile 36°C arasında değişmekle birlikte çalışma yapılan aylarda ortalama 32°C olarak tespit edilmiştir. Ham çamur numunelerinin KM oranı, kurutma denemelerine tabi tutulmadan önce ve sonra Ohaus mb45 cihazı ile analiz edilmiştir. Denemeler yapılırken çamur miktarı değiştirilerek farklı kütleli debilerde çamur beslemeleri yapılmıştır. Bu beslemeler; toplam beslenen çamur ağırlığının besleme süresine bölünmesi ile g/dk cinsinden kaydedilmiştir. Deneme başlangıç saati ve çamur besleme başlangıç saati aynı iken; deneme bitiş saati ile besleme bitiş saati farklı saatlerdir. Teorik olarak sistem içerisine verilen katı maddenin KT içerisinde geçirdiği zaman 30 dk olarak tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, besleme işlemi sona erdiği andan itibaren en az 30 dk beklenerek, sisteme verilen son çamurun da dışarı çıkması sağlanmıştır. Çamur yapışkan bir madde olduğu için sistemi terk etmesi teorik süreden farklı olabilmektedir.

Kurutucunun deneme çalışmaları 2018 yılı Ekim ve Kasım aylarında, saat 11:00 ile 15:30 aralığında Konya ili iklim şartlarında yapılmıştır. Denemeler farklı günlerde, değişen ortam şartları ve farklı çamur miktarları ile gerçekleştirilmiş; %50 ve üzeri KM oranına ulaşılması hedeflenmiştir. Çamur beslemesinin olmadığı şartlarda sistemin ısıtma performansını görmek amacı ile sadece hava beslemesi yapılarak da deneme yapılmıştır.

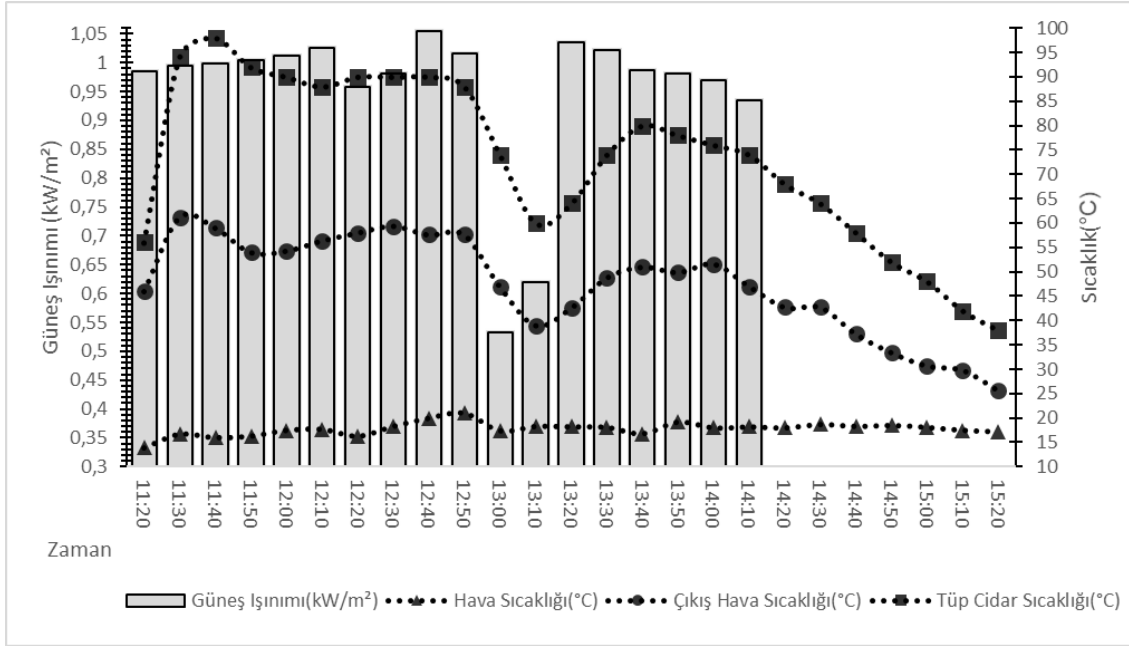
ARAŞTIRMA SONUÇLARI

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 (Tablo 1 ve Şekil 2). Kurutucu tüpe beslenen hava sıcaklığı ortalama 18°C iken 52°C olarak deşarj edilmiştir. Güneş izlemenin devam etmediği 14:20-15:20 saatleri arasında kurutucu tüpteki sıcaklığın kademeli olarak düştüğü görülmüştür. Bu aşama konsantre edilmiş radyasyonun etkisi olmadan, doğrudan radyasyonla birlikte sistemin soğuma davranışı hakkında yorum yapmamızı sağlar. 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 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 0,533 kW/m²'ye kadar düştüğü 13:00-13:10 saatlerinde kurutucu tüp sıcaklığının ve çıkış hava sıcaklığının aniden düşmesi; radyasyonun azaldığı zamanlarda, sistemin direkt etkilendiğini göstermektedir. Deneme boyunca güneşten ortalama 11,4 kWh radyasyon toplanmıştır.

Tablo 1. Çamur beslemesinin yapılmadığı deneme çalışmasında elde edilen veriler (04.11.2018)

Saat	GİRİŞ HAVA				Hava Durumu	ÇIKIŞ HAVA				Tüp Cidar 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: güneşlenmenin açık olduğu anlar, pb: parçalı bulutlu



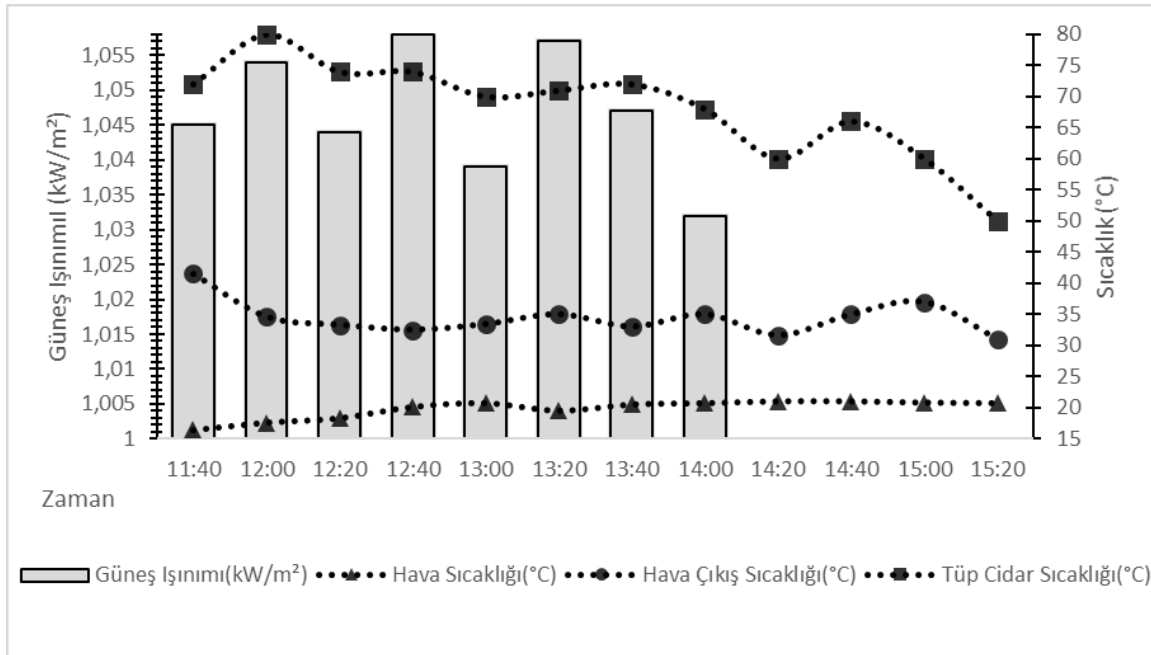
Şekil 2. Çamur beslemesinin yapılmadığı durumda radyasyon-sıcaklık değişimi (04.11.2018)

Güneş radyasyonunun diğer günlere nazaran daha düşük olduğu 16 Ekim tarihinde yapılan denemede, %47 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 daha düşük seyretmiştir. Çalışmanın son elli dakikasında hava tamamen bulutlu hale geldiği için, son elli dakikalık sürede güneş izleme yapılmamış odaklama tamamen bitmiştir. 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 (Tablo 2).

Tablo 2. Çamur beslemesinin yapıldığı farklı denemelere ait kurutma verileri (2018)

		9 Ekim		16 Ekim		1 Kasım	
Çamur Miktarı (g)		9000		8000		4000	
Besleme Süresi(dk)		240		242		140	
Teorik operasyon süresi (dk)		270		272		170	
Kütlesel çamur debisi (g/dk)		37,5		33,1		28,6	
Güneş izleme süresi (dk)		220		242		140	
Güneş radyasyonu (kW/m²)	Min.	0,550		0,469		1,032	
	Ort.	0,904		0,882		1,047	
	Maks.	1,086		0,963		1,058	
Giriş hava sıcaklığı (°C) ve bağıl nem (%)		°C	%	°C	%	°C	%
	Min	23	27	22	37	16	30
	Ort.	25	31	24	41	20	36
	Maks.	26	35	26	47	21	51
Çıkış hava sıcaklığı (°C) ve bağıl nem (%)	Min.	29	35	30	10	31	31
	Ort.	33	69	35	62	34	55
	Maks.	37	86	60	88	42	75
Tüp cidar sıcaklığı(°C)	Min.	40		40		50	
	Ort.	68		72		68	
	Maks.	78		110		80	
Ham çamur KM oranı (%)		19		18		21	
Ortalama kurutulmuş çamur KM oranı (%)		43		47		64	
Elektrik tüketimi (kWh)		1,9		1,9		1,3	
Toplanan güneş enerjisi (kWh)		14,3		15,3		10,5	

Kasım ayı birinci günü yapılan çalışmada (Şekil 3), çıkış hava sıcaklığı başlangıçta 41,5°C iken, güneş ışınımı artmasına rağmen düşmeye başlamış ve saat 12.00'da 34,6 °C olarak ölçülmüştür. Çalışma başlangıcında sistemde mevcut ısının önemli bir kısmının beslenen çamura aktarılması ile hava akımına transfer 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 çıkış hava sıcaklığında artma gözlenmiştir. Çamur besleme işlemi bittikten sonra sistemde kalan çamurların dışarıya atılması sonucu çamura olan ısı aktarımının zamanla azalması ve ısının havaya aktarılması bunun nedeni olarak belirtilebilir. Sisteme çamur besleme işlemi (Şekil 3) sadece hava beslemeye göre (Şekil 2) çıkış hava sıcaklığının ortalama 18°C, tüp sıcaklığının 13°C düşmesine sebep olmuştur.



Şekil 3. 1 Kasım 2018 tarihli çalışmanın radyasyon-sıcaklık değişimi

SONUÇ

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kullanılarak arıtma çamurunun kurutulmasının amaçlandığı bu çalışmada; %21 KM oranına sahip 4 kg çamur 170 dk sürede, ortalama %64 KM oranına ulaşmıştır. Sistem güneş radyasyonuna doğrudan bağlı olduğu için, güneş radyasyonundaki değişimlerden hızlı bir şekilde etkilenebilmektedir. Çünkü ısının bir akışkanda depolanarak kullanımı söz konusu değildir. Kurutucu tüp içerisinde hava sıcaklığı ve nemi; dışarıda ise güneş radyasyonu ölçümlerinin otomasyona bağlı olması ve çamur ilerlemesini sağlayan helezon iletici hareketinin 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.

KAYNAKLAR

- [1]Anonim, 2016, TÜİK Belediye Atıksu İstatistikleri 1994-2016, web sayfası: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019, erişim tarihi: 30.06.2019
- [2]Nas, B., 2017, *Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Sorunları ve Çözümleri*, Selçuk Üniversitesi Basım Evi, Ankara, 104, 1-9.
- [3]Anonim, 2016, TÜİK Belediye Atıksu İstatistikleri 2016, web sayfası: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24875> erişim tarihi: 30.06.2019.
- [4]Nas, B., 2017, *TURAAT*, Selçuk Üniversitesi, web sayfası: <https://infograph.venngage.com/p/181502/turaat-turkey-2>, erişim tarihi: 30.06.2019.

- [5] KOSKİ, 2018, *Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi 2017 Faaliyet Raporu*, Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi, Konya, 466.
- [6] İSKİ, 2018, *İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi 2017 Faaliyet Raporu*, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, İstanbul, 318.
- [7] İnsel, H.G., Arıkan O., Ayol A., 2013, *Tübitak Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, web sayfası: <http://www.camur.itu.edu.tr/>, erişim tarihi: 25.06.2019
- [8] Filibeli, A., 2013, *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 289.
- [9] Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O. ve Altınbaş, M., 2015, *Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı*, Korza Yayıncılık, Ankara, 218.
- [10] Salihoğlu, N.K., Pınarlı, V., 2007, *Atıksu arıtma çamurlarının kapalı yataklarda güneş enerjisiyle kurutulması*. *İtüdergisi/e*, 17(1), 3-14.
- [11] 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.
- [12] Salihoğlu, N.K., 2018, *Yenilenebilir Enerji İle Arıtma Çamurlarını Kurutma Sistemi*. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(1), 41-50.
- [13] Salihoğlu, N.K., 2016, *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanıldığı Kurutma Sistemi*, *Türkpatek*, 2013/11364 Y, Türkiye.
- [14] Hanif, M., Rahman, M., Khan, M., Aamir, M., Ramzan, M., Amin, M. and 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.
- [15] Kalogirou, S.A., 2002, *Parabolic trough collectors for industrial process heat in Cyprus*. *Energy*, 27(9), 813-830.
- [16] Karıku, W.K., 2014, *Performance Of A Parabolic Trough Collector Air Heater*, Master of Science Thesis, University Of Nairobi Master Of Science In Energy Management, 1-99.
- [17] Liu, J. T., Li, M., Yu, Q. F. and Ling, D. L., 2014, *A Novel Parabolic Trough Concentrating Solar Heating for Cut Tobacco Drying System*, *International Journal of Photoenergy*, 1-10.
- [18] Anonymous, 2019, *input: "arclength y=x^2/160 x from -85.7 to +85.7"*, *Wolfram Alpha LLC*, web sayfası: www.wolframalpha.com/input/?i=arclength+y%3Dx%5E2%2F160+x+from+-85.7+to+%2B85.7, erişim tarihi: 20.06.2019
- [19] Elmas, A., 2013, *Parabol*, İzmir, web sayfası: <https://ahmetelmas.files.wordpress.com/2010/04/parabol.pdf>, erişim tarihi: 27.06.2019.