

Evsel Arıtma Çamurunun Kapalı Solar Kurutulmasında Mevsim Faktörünün Değerlendirilmesi

Emine SAYILGAN^{1*}, Hayriye Işıl ÜNLÜ²

^{1,2} Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

^{*1} eminesayilgan@sdu.edu.tr, ² isilunlu01@gmail.com

(Geliş/Received: 06/09/2020;

Kabul/Accepted: 23/11/2020)

Öz: Arıtma çamurları; kompleks yapıları, yüksek organik içerikleri, metal/ağır metal içermeleri, büyük hacim kaplamaları, koku problemi, yüksek su içeriği gibi sebeplerle ekonomik ve çevresel problemler yaratmaktadır. Arıtma çamurlarının kurutulması ile hacim, kütle miktarları azaltılarak, taşıma maliyetleri önemli ölçüde düşmektedir. Bu çalışma kapsamında Isparta Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurunun kapalı solar sistemde farklı mevsimlerde kurutulması, farklı iklim koşullarında çamur susuzlaştırma ve toplam katı madde miktarlarına olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, temin edilen arıtma çamuru Temmuz, Ekim, Ocak ve Nisan aylarında kapalı solar kurutma sisteminde kurutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, kış mevsiminde arıtma çamurunun %90 oranında kuruluk değerine ulaşması için 15-20 gün gerekirken; yaz mevsiminde 5 günün yeterli olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, kapalı solar sistemlerde, çalışma şartları kontrollü olduğu için, olumsuz iklim şartlarının kuruluk ve katı madde oranları üzerine etkisi çok önemli ölçüde olmamıştır. Bu durum, kapalı solar kurutma tesislerinin yılın her günü çalıştırılabilmesi adına olumlu bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: Arıtma çamuru, kapalı solar kurutma, toplam katı madde.

Evaluation of Season Factor in Closed Solar Drying of Domestic Treatment Sludge

Abstract: Treatment sludges have to be considered as economic and environmental problems due to their complex structure, high organic content, metal/heavy metal content, large volume problem, odor problem, and high water content. Volume and mass amounts and also transportation costs are significantly reduced with drying of sewage sludge. In this study, the effects of different climatic conditions on sludge dewatering and total dry solids were investigated by drying the treatment sludge of Isparta Wastewater Treatment Plant in a closed solar system in different seasons. For this purpose, supplied sewage sludge was dried in a closed solar drying system in July, October, January and April. The results showed that 15-20 days were required for treatment sludge to reach 90% dryness in winter and it was observed that 5 days were sufficient in summer. However, in closed solar systems, the effect of adverse climatic conditions on dryness and solid matter ratios was not significant, as the working conditions were controlled. This situation can be considered as a positive effect for the indoor solar drying plants to be operated every day of the year.

Key words: Wastewater sludge, indoor solar drying, total solid matter.

1. Giriş

Arıtma tesislerinde su ve atıksu arıtımı sonucunda oldukça fazla miktarda arıtma çamuru (AÇ) oluşmaktadır. Üretilen ham çamur miktarı, genellikle 1,2-2,4 kg/gün aralığındadır [1]. Ülkemizde atıksu arıtma işlemleri sonucunda 2018 yılı verilerine göre 319 bin ton AÇ oluştuğu tespit edilmiştir [2]. Arıtma çamurları yoğun kirletici içermeleri ve oldukça fazla hacim kaplamaları sebebiyle tüm dünyada gün geçtikçe artan çevresel bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. AÇ'nun içeriği toprak ve bitkiler için yararlı olabilirken; ağır metal, toksik elementler içermesi sebebiyle de zararlı olabilmektedir [3].

Daha önceki yıllarda tesislerde oluşan fazla çamurlar için araziye depolama yöntemi çok sık kullanılmaktayken, günümüzde çevresel yaptırımlar ve çevreye verdiği zararlar sebebiyle araziye depolama yöntemi tercih edilmemektedir. AÇ'nda bulunan metal konsantrasyonlarının bazı durumlarda yönetmelik limitlerini aşması sebebiyle, araziye depolama yönteminin uygulanması problem oluşturabilmektedir. AÇ'nun bertarafında ilk amaç çamur miktarı ve hacmini azaltarak alan ve transfer maliyetlerini azaltmaktır. AÇ'larının değerli bir kaynak olarak dikkate alınması, insan sağlığı ve çevre için sağlanması gereken element ve patojen sınır değerlerinin gerekli limitlerin altına düşürülmesi gerekmektedir [4].

AÇ'na ilk işlem olarak susuzlaştırma uygulanmaktadır. Fakat, halihazırda uygulanan mekanik susuzlaştırma yöntemleri, nihai bertaraf aşamasında teknik ve yasal açıdan yeterli olamamaktadır. Bu sebeple AÇ'nun su

* Sorumlu yazar: eminesayilgan@sdu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-6756-1545, ² 0000-0002-3376-8679

içeriğinin öncelikle mekanik susuzlaştırmayı takiben doğal ve termal yöntemlerle de azaltılması gerekmektedir [5]. Oluşan 319 bin ton arıtma çamurunun yaklaşık 142 bin tonu enerji geri kazanımlı yakma, 180 bin tonu düzenli ve düzensiz depolama, 17 bin tonu ise araziye boşaltma, 30 bin tonu geçici depolama ve 7 bin tonu ise diğer yöntemlerle değerlendirilmektedir [2]. Uygulanan bu yöntemler enerji gereksinimi, arazi gereksinimi gerektirmekte ve çevresel açıdan risk oluşturabilmektedir. AÇ'larının çevre dostu yöntemlerle değerlendirilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda halihazırda kullanılan yöntemler araziye depolama, tarımsal uygulama, kompostlama ve termal kurutmadır. Bununla birlikte, günümüzde solar kurutma uygulamaları da kullanılmaya başlamıştır.

Solar kurutma yönteminde, çamur miktarını azaltmak için AÇ doğal veya mekanik yollarla kurutulmaktadır. Halihazırda kullanılan fosil yakıtlar, pahalı olmaları ve yanma sonucunda zararlı gazların oluşması sebebiyle tercih edilmemelidir. Maliyet oluşturmaması ve/veya sınırlı miktarda ilk yatırım maliyeti oluşturması ve çevre dostu olması sebebiyle solar enerji ön plana çıkmaktadır [6]. Solar kurutma sistemlerinde, ana enerji kaynağı güneş varlığında doğal susuzlaştırma ve kurutma yöntemleri kullanılmaktadır [7, 8]. Çamur kurutma işleminde güneş enerjisi kullanılarak çok fazla enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve diğer geleneksel çamur termal kurutma sistemlerine kıyasla işletme maliyetleri azalabilmektedir [9]. Solar kurutma için gözönünde bulundurulması gereken parametreler, iklim şartları, çamur kurutma karakteristikleri ve kurutma tesisinin dizaynidir. Ayrıca, tesis için gerekli alan, çamurun özelliği, yağış alma, bağıl nem, sıcaklık gibi atmosferik koşulların da dikkate alınması gerekmektedir [10].

Ülkemizde faaliyette olan kapalı solar kurutma yöntemleri incelendiğinde Muğla'nın Fethiye ilçesinde kurulmuş olan solar kurutma tesisinde arıtma çamuru %50 kuruluğa ulaşmaktadır [11]. Antalya Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Solar Çamur Kurutma Tesisinde ise %18-25 kuruluğundaki çamur keki, %85'den fazla kuruluğa çıkarılabilmektedir. %90 kuruluğa getirilen AÇ, Çevre ve Şehircilik Bakanlığından Lisanslı Çimento Fabrikalarına ek yakıt olarak gönderilmektedir.

Ülkemizde AÇ'larının toprakta kullanılabilmesi ile ilgili, 27661 sayılı 03.08.2010 tarihli yönetmeliğe göre, ham çamurun toprakta kullanılması yasak olmakla birlikte stabilize arıtma çamurunun kullanılmasında bazı sınırlamalar gerekmektedir. Gerekli sınırlamaların yanında AÇ'larının en az %90 kuru madde değerine kadar kurutulması esastır. Ancak AÇ üreticileri %90 kuru madde değerine ulaşmadan kullanımının teknik ve ekonomik açıdan uygun olduğunu belgelemesi durumunda Bakanlıkça %90 kuru madde değerine ulaşması şartı aranmamaktadır [12]. Bu bağlamda da AÇ'larının belli bir kuruluk değerine getirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Isparta Evsel Atıksu Arıtma Tesisi susuzlaştırma ünitesi çıkışından temin edilen AÇ'nun kapalı solar kurutma sisteminde farklı mevsimlerde kuruluk ve katı madde oranlarındaki değişimler araştırılmıştır. Yapılan literatür taramalarında, daha önce yapılan çalışmaların özellikle kurutma kinetikleri üzerine yoğunlaştığı veya kuruluk araştırmaların daha kısa süreli çalışmalarla irdelendiği görülmüştür. Daha kapsamlı yapılan birkaç çalışmada ise, bu çalışmada irdelenen AÇ ile çalışılmamış olması ve Akdeniz Bölgesi'nin solar radyasyon bakımından avantajlı olması sebebiyle bu çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, AÇ'nun kapalı solar kurutulmasında mevsimsel değişimin etkisi bu çalışmayı orijinal kılmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Isparta evsel atıksu arıtma çamuru temini ve karakterizasyonu

Isparta Atıksu Arıtma Tesisi, aktif çamur prosesi ve santrifüj susuzlaştırma prosesleri uygulanarak işletilmektedir. Tesis susuzlaştırma ünitesi çıkışından 2019 yılı Temmuz ayında yaklaşık 25 kg AÇ temin edilmiştir. Temin edilen AÇ'nun görüntüsü akışkan kıvamda olmayıp, normal AÇ görüntülerine görece daha konsantre bir çamur görüntüsündedir. Bu sebeple, rutin AÇ numunelerinde olması gereken kuru madde miktarlarına görece daha yüksek kuru madde miktarına sahiptir.

Deneysel çalışmalar, mevsimsel olarak yürütülmüştür. Aynı AÇ'nu temsil etmesi amacıyla, temin edilen AÇ, 4 eşit miktara ayrılarak, deney yapılacak olan mevsime kadar, herhangi bir bozunma olmaması sebebiyle buzdolabında -20 °C'de saklanmıştır. Orijinal AÇ'nun karakterizasyon analizleri AÇ temin edildiğinde bekletilmeden yapılmıştır. Toplam Katı Madde (TKM), Uçucu Katı Madde (UKM) analizleri Antalya Organize Sanayi Bölgesi'nde, Standart metotlar [13] izlenerek yapılmıştır. pH değerleri WTW pH 330i marka pH-metre ile ölçülmüştür. Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Demir (Fe), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Kurşun (Pb), Çinko (Zn) elementleri ve toplam fosfor (TP) konsantrasyonunu belirlemek üzere 0,5 g AÇ'na 3 mL HCl ve 9 mL HNO₃ eklenerek 200°C'de ısıtıcıda (hot plate) yakma işlemi uygulanmıştır. Element ve toplam fosfor konsantrasyonları SDÜ Mühendislik Fakültesi Jeotermal Enerji Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Laboratuvarı'nda ICP-OES cihazı'nda (Perkin Elmer, Optima 2100 DV) ile Standart Metotlar izlenerek belirlenmiştir [13].

2.2. Kapalı solar kurutma düzeneği

Kapalı solar kurutma düzeneği, Antalya ili Organize Sanayi Bölgesi'nde 100 cm x 100 cm boyutlarında tasarlanmıştır. Kurutma işlemi sera tipi kurutucu ile gerçekleştirilmiştir. Kapalı solar kurutma tesisinin malzemesi polikarbonat sera örtüsünden tasarlanmıştır. Zemin sızdırmazdır. Dışarıdan herhangi bir ısıtma takviyesi alınmamıştır. Sera içerisindeki sıcaklık kayıt altına alınarak, güneş radyasyonu, güneş ışınımı, rüzgar hızı, iç bağıl nem ölçümü gibi meteorolojik bulgular günlük olarak izlenmiştir. Deneyler her mevsimi temsilen Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında yapılmıştır. Örneğin, kış ayını temsilen 1-30 Ocak tarihlerinde bir ay boyunca rutin izlemeler, deneysel çalışmalar yapılmış; Ocak ayı sonunda arıtma çamuru numuneleri tamamen kaldırılmıştır. Aynı çalışmalar Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında da birer ay olmak üzere tekrar edilmiştir.

2.3. Deneysel çalışmalar

AÇ'ları her mevsimi temsilen Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında bir ay süreyle Kapalı Solar Kurutma Düzeneği'ne serilmiştir. Antalya ili Organize Sanayi Bölgesinde kurulan sisteme ilk AÇ numunesi Temmuz ayında serilmiştir. Serilen AÇ her gün manuel olarak karıştırılmıştır. 1 aylık rutin deneyler yapıldıktan sonra AÇ kaldırılarak, Ekim, Ocak ve Nisan aylarında da -20 °C'de bekletilen orijinal AÇ aynı sisteme serilmiş ve 1 ay süresince kurulukları ve katı madde oranları test edilmiştir. Mevsimsel olarak (Temmuz, Ekim, Ocak, Nisan) iç bağıl nem, iç sıcaklık, dış sıcaklık ölçümleri her gün izlenmiş ve Hava-Nem Ölçer cihazı ile ölçülmüştür. Toplam katı madde (TKM), toplam uçucu katı madde (TUKM) ve kuruluk deneyleri her mevsim döneminde haftada 2 kez yapılmıştır.

3. Araştırma Bulguları

3.1. Arıtma çamuru karakterizasyonu

Isparta Atıksu Arıtma Tesisi'nden temin edilen AÇ, 2019 yılı Temmuz ayında temin edildikten sonra, +4°C'de laboratuvar ortamına getirilerek karakterizasyonları yapılmıştır. TKM analizleri Antalya Organize Sanayi Bölgesi Laboratuvarı'nda ikili olarak yürütülmüştür. Element analizleri ise SDÜ Jeotermal Laboratuvarı'nda ICP-OES cihazında analiz edilmiştir. Arıtma çamuru karakterizasyon sonuçları, Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Isparta Atıksu Arıtma Tesisi Susuzlaştırma Ünitesi Çıkışı AÇ karakterizasyonu

Parametreler	Isparta AÇ numunesi	Parametreler	Isparta AÇ numunesi
pH	7,3	Cu (mg/kg)	115,2
TKM (%)	32,9 ±7,102	Fe (mg/kg)	3754
Kuruluk (%)	23,93	Mn (mg/kg)	161,2
As (mg/kg)	bdl	Ni (mg/kg)	9,04
Cd (mg/kg)	bdl	Zn (mg/kg)	658,2
Cr (mg/kg)	20,74	Pb (mg/kg)	bdl

bdl: ölçüm limiti altında

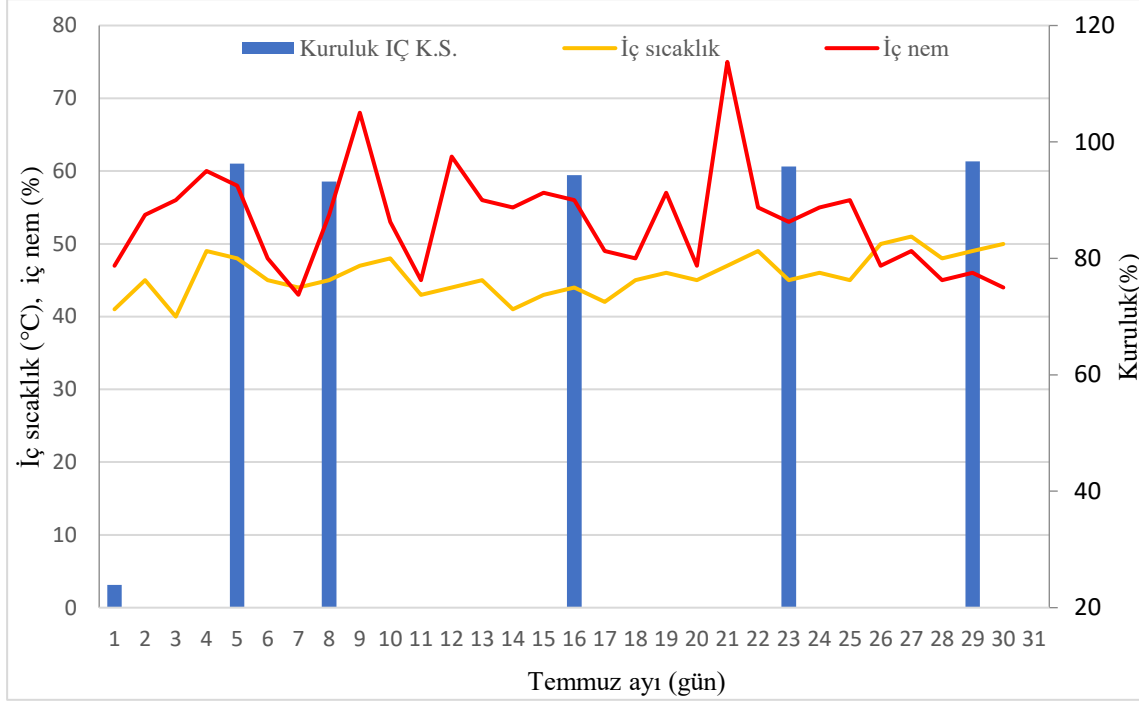
Tablo 1'de görüldüğü üzere, AÇ'nun TKM değeri %32,9 olarak bulunmuştur. Salihoğlu [5]'un yapmış olduğu çalışmada da Bursa Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan AÇ'nun genel özelliklerine bakıldığında TKM değerinin % 20,6±1,8; UKM değerinin ise % 60,4 ± 2,1 olduğu belirtilmiştir. Kuruluk değerleri açısından incelendiğinde, susuzlaştırma ünitesi çıkışından alınan AÇ'nun kuruluk değeri yaklaşık %24 olarak bulunmuştur. Bu değer, susuzlaştırma ünitesinden alınan AÇ'ları için ortalama bir değerdir. Literatür çalışmalarında da susuzlaştırma ünitesi dekantör çıkışından çıkan çamurun kuruluk değeri %26,7 olarak [14], susuzlaştırma sonrası çamurun kuruluk değeri %22 [15], santrifüjle susuzlaştırma sonrası %20 [16] olarak belirtilmektedir. AÇ'nun element içerikleri incelendiğinde, Fe konsantrasyonu 3754 mg/kg, Zn konsantrasyonu ise yaklaşık 660 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

3.2. Deneysel Sonuçlar

Kuruluk ve TKM, TUKM analizleri, kapalı solar kurutmanın mevsimsel etkilerini gözlemlemek adına Temmuz, Ekim, Ocak ve Nisan aylarında yapılmıştır. Deney yapılan her aya ait veriler ayrı ayrı incelenmiş olmuş, tüm veriler bölüm sonunda birlikte değerlendirilip, tartışılmıştır.

3.2.1. Temmuz ayı deneysel çalışmalar

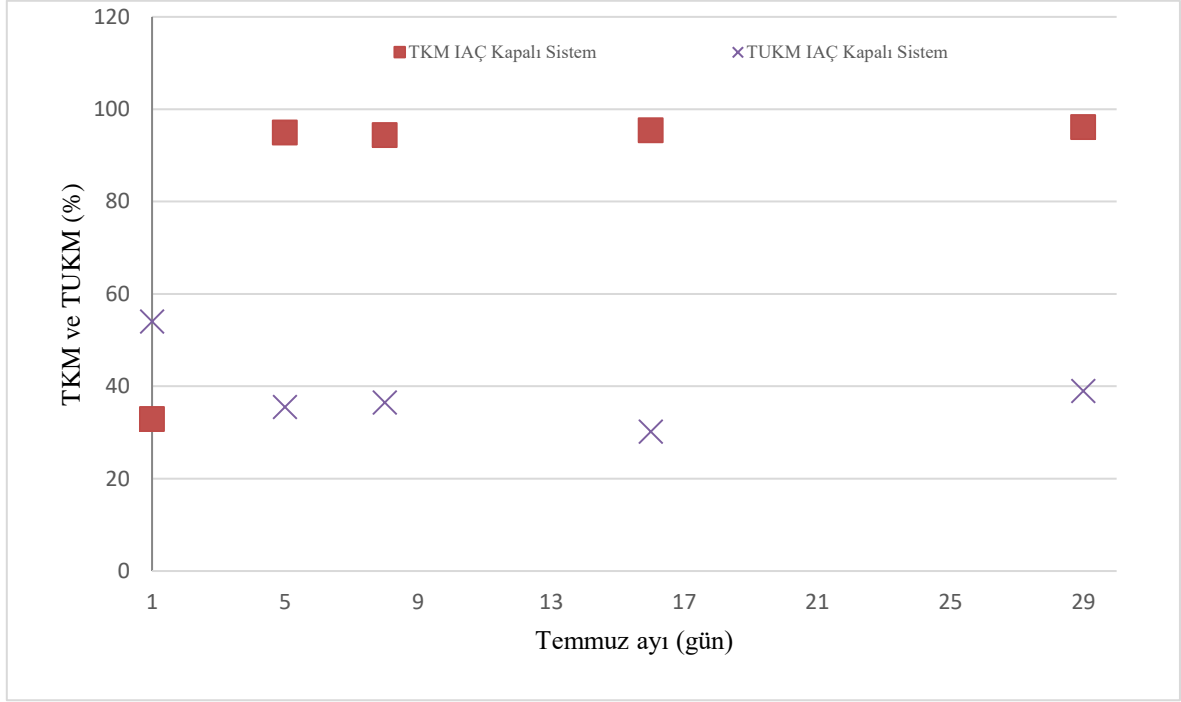
Temmuz ayında kapalı kurutma düzeneği için elde edilen sonuçlar Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Temmuz ayı kapalı solar kurutma düzeneğinde izlenen veriler

Şekil 1’de görüldüğü üzere, Temmuz ayında Antalya ili Organize Sanayi Bölgesinde iç sıcaklık değerleri 40-52°C aralığında değişimler göstermiştir. Temmuz ayının 4. Gününde iç sıcaklık ve nem oranının %60'lara yükseldiği görülmektedir. İç nemin ay sonuna doğru düştüğü görülmüştür. Temmuz ayı ölçümlerinde 5 gün sonrasında AÇ'nun kuruluk değerleri %95'lere ulaşmıştır. 5 günden sonra yapılan kuruluk sonuçlarının çok değişmediği, ay sonunda da %96 değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu sonuçlar literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Literatür çalışmalarında da solar kurutmaya tabi tutulan AÇ'larının kuru madde miktarlarının 15 gün sonrasında önemli bir şekilde değişmediği; yarı-kurak iklim koşullarında, yaz mevsiminde (20-35 °C) 15 gün solar kurutmanın yeterli olduğu belirtilmiştir [17, 18]. Yapmış olduğumuz çalışmada Temmuz ayı iç sıcaklık değerleri 40-50 °C olduğundan, kuru madde miktarlarının 5 gün gibi daha kısa bir sürede %95 değerlerine ulaşması beklenen bir sonuçtur. Bu ay içerisinde, teknik aksaklıktan dolayı fanların çalışmaması sebebiyle, 21. günde nem miktarında artış gözlenmiştir. Ertesi gün aksaklık giderilmiş ve nem seviyesi normal değerlerine düşmüştür.

Kapalı Solar düzeneğine serilen AÇ'larında suyun giderilmesinin tespiti açısından TKM değişimini izlemek önem arz etmektedir. Bu sebeple, farklı mevsimlerde AÇ'unda TKM ve TUKM analizleri yapılmıştır. Temmuz ayı boyunca haftada 3 kere TKM, TUKM analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 2’de gösterilmiştir.

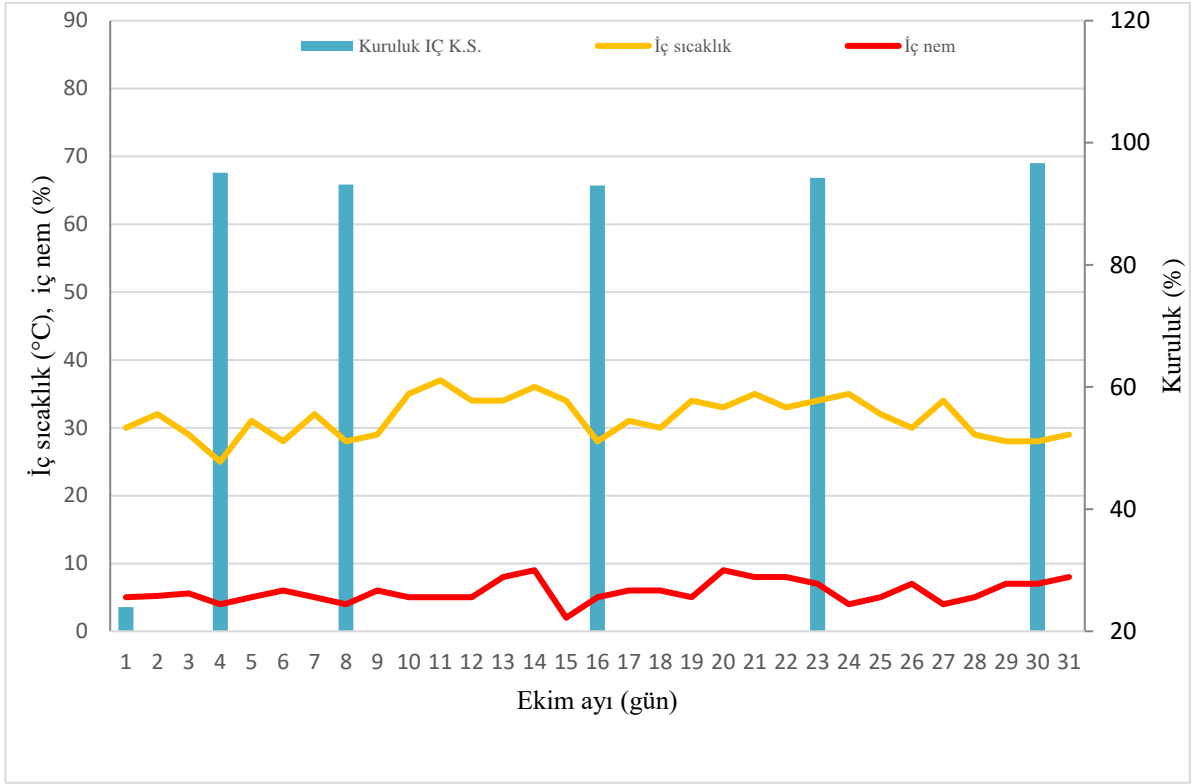


Şekil 2. Kapalı solar sistemdeki TKM ve TUKM sonuçları (%)

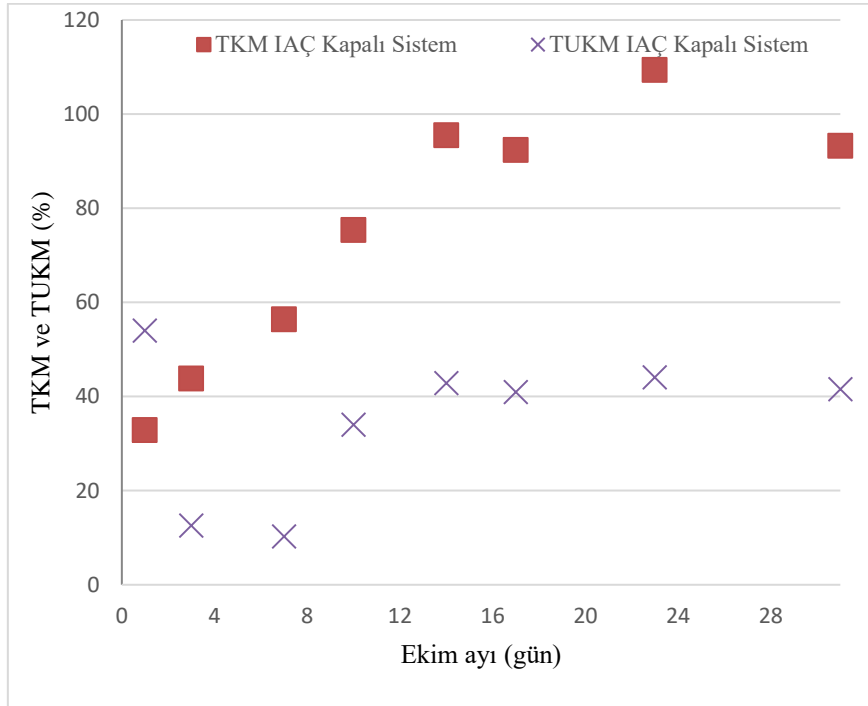
Şekil 2’de Temmuz ayı sonunda kapalı solar kurutma sisteminde AÇ örneğinde 5 gün sonunda TKM değerlerinin yaklaşık %95, TUKM değerlerinin yaklaşık % 40 civarlarında olduğu görülmüştür. Kapalı sistem olmasına rağmen, iç sıcaklığın yüksek olması sebebiyle koku ve sinek oluşumu gözlenmiştir. Üzerinin kapalı olması ve dışarıyla bağlantısının kesilmesi sebebiyle bu durum etrafa zarar vermemiştir. Bu husus, kapalı solar sistemlerin avantajlarından birisi olarak değerlendirilebilmektedir.

3.2.2. Ekim ayı deneysel çalışmaları

Ekim ayında kapalı kurutma düzeneği için elde edilen kuruluk sonuçları Şekil 3’de, TKM ve TUKM sonuçları ise Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ekim ayı kapalı solar kurutma düzeneğinde izlenen veriler



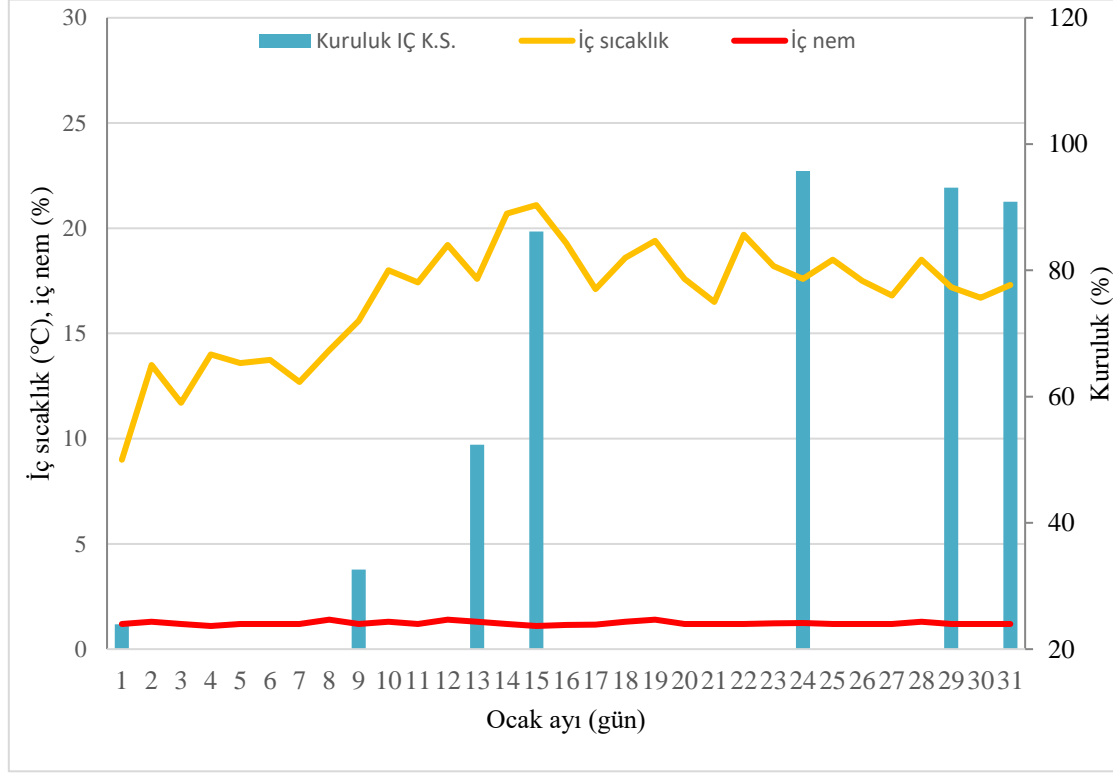
Şekil 4. Kapalı solar sistemdeki TKM ve TUKM sonuçları (%)

Şekil 3'de, Ekim ayında kapalı kurutma düzeneğinde, en yüksek iç sıcaklık 37°C, en yüksek iç nem ise % 9 olarak ölçülmüştür. 2. haftada yağış olması sebebiyle, kapalı sistem olduğu için yağıştan etkilenmemesine rağmen, iç

ortam sıcaklığı ve nemin düştüğü görülmüştür. Ay sonuna doğru maksimum kuruluk değeri olan %96 civarlarına ulaşılmıştır. TKM değerleri açısından incelendiğinde, 17. gün sonunda TKM değerlerinin %100'lere, TUKM değerlerinin ise %40 civarına ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 4). İkinci haftada, nem ve iç ortam sıcaklığının düşmesiyle birlikte, çamurun TKM değerlerinde de kısmen azalma görülmüştür. Bu sonuçlar, çamurun kuruluk ve TKM değerlerinin kapalı ortam olmasına rağmen, mevsimsel değişimlerden etkilendiğini göstermektedir.

3.2.3. Ocak ayı deneysel çalışmalar

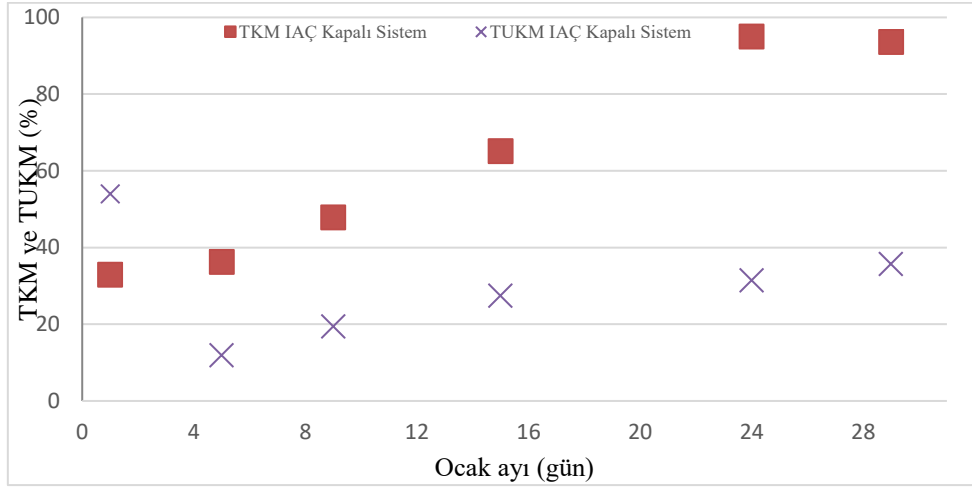
Ocak ayında kapalı kurutma düzeneğinde izlenen veriler Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Ocak ayı kapalı solar kurutma düzeneğinde izlenen veriler

Şekil 5'de gösterildiği üzere Ocak ayında en yüksek iç sıcaklık 23°C, en yüksek iç nem ise %2 olarak ölçülmüştür. İç sıcaklığın, kış ayında olmasına rağmen kontrollü bir ortamda olduğu için çok düşmediği görülmektedir. Bu durum, kapalı solar sistemlerin önemli bir avantajı olarak görülmektedir. Ay sonuna kadar yapılan izlemede kapalı sistemde bulunan AÇ'nun kuruluk değerinin 15 gün sonunda %90'lara, ay sonuna ise %98 civarına ulaştığı görülmüştür. Yaz ayında yapılan deneylere kıyasla, AÇ'nun istenilen kuruluk değerine gelmesi için gereken süre uzamıştır.

Ocak ayında kapalı solar sistemde yapılan TKM, TUKM analizleri sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir.

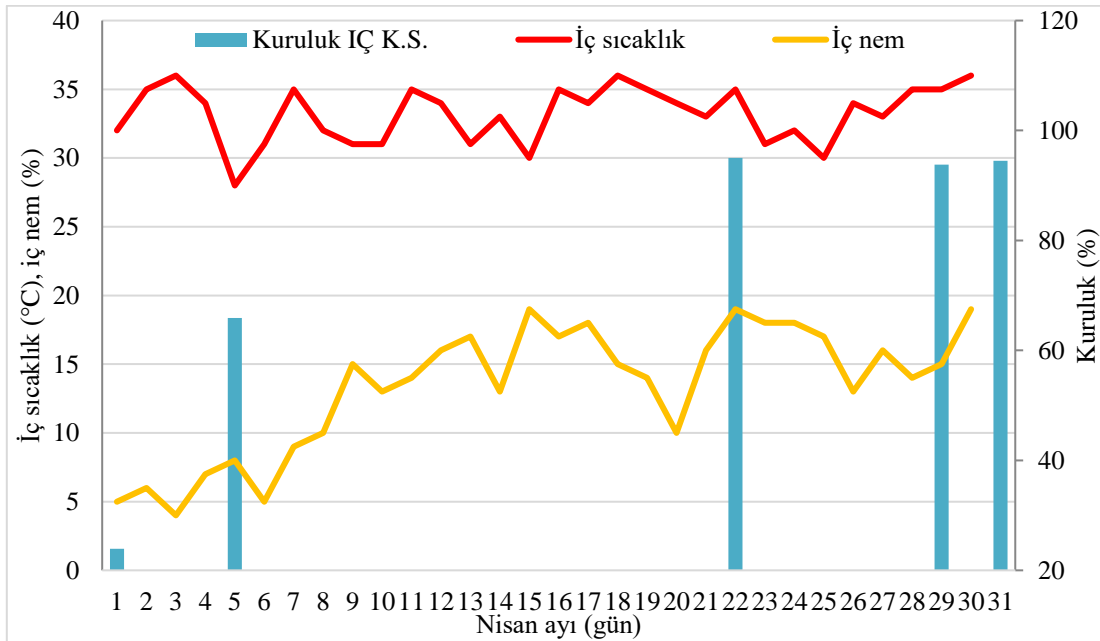


Şekil 6. Kapalı solar sistemdeki TKM ve TUKM sonuçları (%)

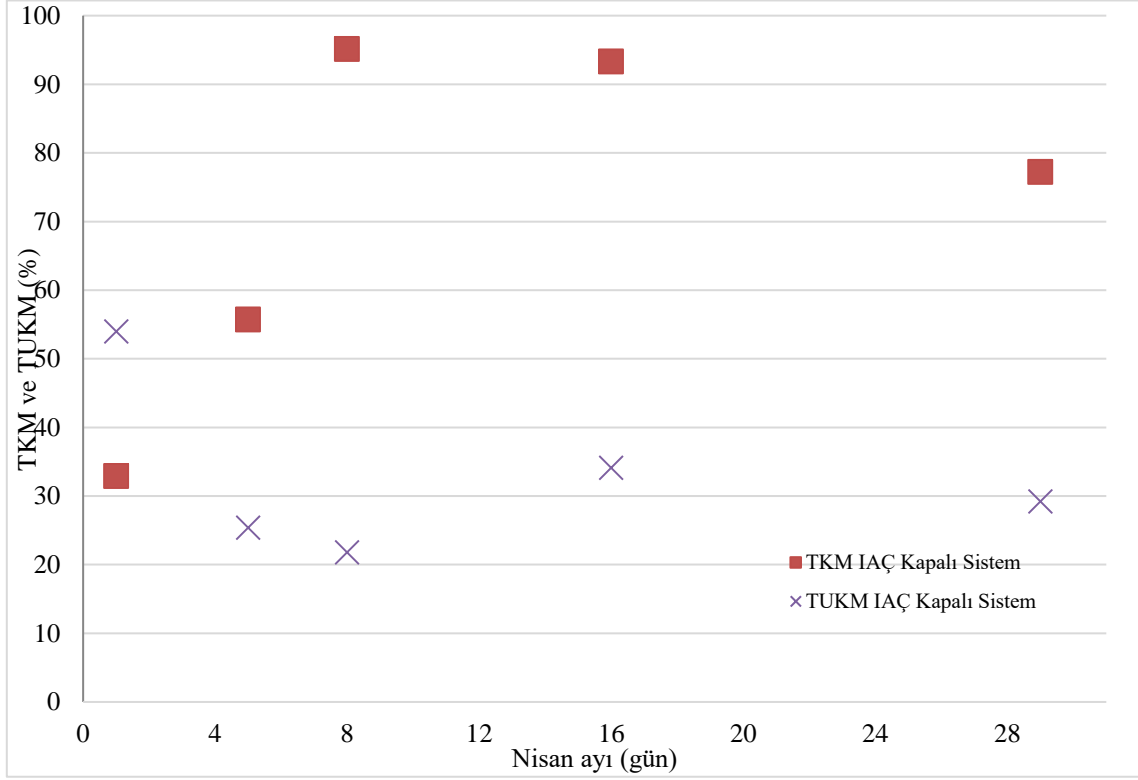
Şekil 6’da Ocak ayında kapalı kurutma sisteminde TKM değerlerinin %90-95 değerlerine ulaşması için 20-25 gün gerektiği görülmektedir. Gerekli kurutmanın olması için gereken süre, deneysel çalışmaların yürütüldüğü diğer mevsimlere göre oldukça uzundur. 24. günde parametreler maksimum seviyeye ulaşmış, bu değerler ay sonunda da değişmeden devam etmiştir. Yaz mevsimine kıyasla, AÇ’nun TKM değerlerinin üzerine çıkması biraz zaman almıştır. Gerçek tesis boyutunda düşünüldüğünde, kış aylarında da çamur kurutmanın başarılı bir şekilde uygulanabileceği, fakat çamur bekleme, depolama süresinin problem yaratabileceği gözönüne alınmalıdır.

3.2.4. Nisan ayı deneysel çalışmalar

Nisan ayında kapalı kurutma düzeneğinde izlenen veriler Şekil 7’de, TKM ve TUKM sonuçları ise Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Nisan ayı kapalı solar kurutma düzeneğinde izlenen veriler



Şekil 8. Kapalı solar sistemdeki TKM ve TUKM sonuçları (%)

Şekil 7’de görüldüğü üzere, Nisan ayında kapalı solar kurutma düzeneğinde, en yüksek iç sıcaklık 37°C, en yüksek iç nem ise %18 olarak gözlenmiştir. Nem ay sonuna doğru artmaya başlamıştır. AÇ, 5 gün sonunda %70 oranında, 8 gün sonra %95 oranında kuruluk değerlerine ulaşmıştır, ay sonuna doğru kuruluk değerinde önemli bir değişiklik olmayıp, %90-95 oranında kuruluk değerine ulaşmıştır. Çamur kurutma kinetiği ile ilgili yapılan bir çalışmada da, nem oranının ilk olarak hızlı bir şekilde azaldığı, süre artışıyla nemin oldukça yavaş bir şekilde azaldığı belirtilmiştir. Bunun sebebi olarak, ilk olarak serbest suyun buharlaştığı, daha sonra yüzeyde absorplandığı belirtilmiştir [19]. Nem içeriği 16. günde %93 den %35’lere düştüğü için AÇ’nun istenilen değerlere gelmesi daha hızlı sonuç vermiştir. TKM değerleri açısından incelendiğinde, 8 gün sonunda TKM değerleri %93’lara ulaşırken, TUKM değerleri ay sonunda %30 civarında çıkmıştır (Şekil 8). Salihoğlu [20], yapmış olduğu çalışmada Nisan ayında solar kurutma yöntemi ile AÇ’nun katı madde değerinin 4 gün sonra %14,51’den %98’e ulaştığını belirtmiştir. Bu sonuçlar, bu makalede tespit edilen sonuçlarla uyumludur.

Tüm ayları dikkate alarak genel bir değerlendirme yapıldığında; deneysel çalışmanın yürütüldüğü kapalı solar sistemde iç sıcaklık yaz mevsiminde 40-50°C, sonbahar mevsiminde ise 25-35°C olarak ölçülmüştür. Ameri vd. [21] solar kurutma için etkili ortalama sıcaklığın solar sistemin çeşidine bağlı olarak 41-43 °C olduğunu belirtmişlerdir. AÇ’nun %90’ın üzerinde kuruluk değerine ulaşması yaz ve sonbahar mevsiminde 5 gün gibi çok kısa bir sürede gerçekleşmiştir. Bu değerler, AÇ’nun hacminin azalması, nakliye masraflarının azalması, AÇ’nun depolama süresinin azalması gibi avantajları sebebiyle dikkate değerdir. Mathioudakis vd. [17] yapmış olduğu çalışmada, yaz mevsiminde çamurun nem içeriğinin 7-12 gün içerisinde %85’den %6’ya düştüğünü, sonbahar mevsiminde ise 9-33 gün aralığında %10’lara düştüğünü tespit etmişlerdir. İklim koşulları yönünden ele alındığında ise kapalı sistem olması dolayısıyla direkt olarak yağış, rüzgar gibi iklim koşullarından etkilenmemekle birlikte, dolaylı olarak kötü iklim koşulları iç ortam sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Antalya gibi sıcak iklim koşullarında bu durum dezavantaj yaratmamakla beraber, yapılacak olan daha soğuk iklim koşullarındaki solar kurutma sistemleri için sıcaklık kontrollü ortamlar daha işlevsel olarak kullanılabilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Isparta Atıksu Arıtma Tesisi Susuzlaştırma Ünitesi Çıkışından AÇ temin edilerek kapalı solar kurutma düzeneğinde 4 farklı mevsimi temsilen Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında birer aylık deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Kapalı solar kurutma düzenekleri Antalya ili Organize Sanayi Bölgesi'nde yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, kuruluk ve TKM, TUKM değerleri dikkate alınarak, kapalı solar sistemin AÇ'nun istenilen kuruluk değerine getirilmesinde uygulanabilir, çevre-dostu bir yöntem olduğu görülmektedir. Bununla birlikte istenilen kuruluk değerine ulaşılması, sonbahar ve yaz mevsimlerinde 5 gün içerisinde gerçekleşirken; kış ve ilkbahar mevsimlerinde 15-20 günü bulmaktadır. Bekleme süresinin soğuk mevsimlerde uzun olması, tesise kapasitesinden fazla AÇ gelmesi durumunda problem teşkil edebilir. Bu gibi durumlarda iç ortam sıcaklığının stabil kalabilmesi için gerekli düzenleme yapmak gerekebilir.

Bununla birlikte, açık solar sistemlerle karşılaştırıldığında, iklim faktöründeki değişiklikler gözönüne alındığında kapalı solar sistemlerin hava olaylarından çok etkilenmemesi, koku problemi yaratmaması gibi sebeplerle daha etkili olacağı düşünülmektedir. AÇ'larının solar kurutma gibi çevre dostu bir yöntemle kurutulması bertaraf edilmesi, çamur hacmi ve kütesinin azaltılması sebebiyle taşıma maliyetlerinin önemli bir şekilde azalması solar kurutma yöntemlerini öne çıkarmaktadır. Bununla birlikte, AÇ'larının solar kurutma yöntemleri açısından uygulanabilirlik, maliyet karşılaştırılması yapılmasının AÇ türü ve tesis bazında değerlendirilmesi daha gerçekçi olacaktır.

Teşekkür

Bu makale H.I.Ü.'nün yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir. Deneysel çalışmaları H.I.Ü. gerçekleştirmiş olup, E.S. sonuçları yorumlayıp, makaleyi yazmıştır.

Kaynaklar

- [1] Chen G, Yue PL, Mujumdar AS. Sludge dewatering and drying. *Drying Technol* 2002; 20(4&5): 883–916.
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu, 2018. Haber Bülteni, 30667.
- [3] Solmaz S, Okaygün M. A Novel Technology for Dewatering and Pasteurization of Digested Water Sewage Sludge Utilizing Concentrated Solar Energy. In: 16th International Conference on Clean Energy (ICCE-2018); 9-11 May 2018; Famagusta, N. Cyprus.
- [4] Youssef AS, Kahil MA. Solar Sludge Drying for Medina Al-Munawarah Sewage Treatment Plant in the Kingdom of Saudi Arabia. *J Environ. Eng* 2016; 142(12): 05016006.
- [5] Salihoğlu NK. The effects of limited liming on solar dried wastewater sludges in covered drying beds. *J of Eng and Natural Sci Müh ve Fen Bil Derg.* 2011; 193-199.
- [6] Fudholi A, Ridwan A, Yendra R, Desvina AP, Hartono Majid KBMA, Suyono T, Sopian K. Solar Drying Technology in Indonesia: an Overview. *Int J of Power Elecs and Drive Sys (IJPEDS)* 2018; 4: 1804-1813.
- [7] Kürklü A, Bilgin S, Özkan B. A study on the solar energy storing rock-bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse. *Renew Energy* 2003; 28: 683–697.
- [8] Salihoglu NK, Pinarli V, Salihoglu G. Solar drying in sludge management in Turkey. *Renew Energy* 2007; 32: 1661–1675.
- [9] Lei Z, Dezheng C, Jinlong X. Sewage sludge solar drying practise and characteristics study. 2009; Tongji University, Shanghai, China.
- [10] Ayvaz Z. Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi. *Çevkor Dergisi* 2000; 9s. İzmir.
- [11] CSB, 2019. Link: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/ek11-20191127124008.pdf>. Erişim tarihi: 16/08/2020.
- [12] Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. 03 Ağustos 2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- [13] Standart Metotlar, APHA, AWWA, WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. Baskı. Washinton, DC.
- [14] İkinci MŞ. Atıksu arıtma çamurlarının bertarafında solar kurutma sisteminin kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye, 47s, 2019.
- [15] Collard M, Teychene B, Lemee L. Comparison of three different wastewater sludge and their respective drying processes: Solar, thermal and reed beds – Impact on organic matter characteristics. *J of Environ Manage* 2017; 203(2): 760-767.
- [16] Amin Z, Salihoğlu NK. Evaluation of free water removal from different sludge by solar energy utilization. *Environ Eng Res* 2021; 26(3): in press.
- [17] Mathioudakis VL, Kapagiannidis AG, Athanasoulia E, Diamantis VI, Melidis P, Aivasidis A. Extended Dewatering of Sewage Sludge in Solar Drying Plants. *Desalination* 2009; 248: 733–739.
- [18] An-nori A, El Fels L, Ezzariai ,A, Gharous ME, El Mejahed K, Hafid M. Effects of solar drying on heavy metals availability and phytotoxicity in municipal sewage sludge under semi-arid climate. *Env Technol & Innova* 2020; 19: in press.

- [19] Ameri B, Hanini S, Benhamou A, Chibane D. Comparative approach to the performance of direct and indirect solar drying of sludge from sewage plants, experimental and theoretical evaluation. *Solar Energy* 2018; 159(1): 722-732.
- [20] Salihoğlu NK. Yenilenebilir enerji ile artıma çamuru sistemi. *Uludađ Üniv Müh Fak Dergi* 2018; 23(1):41-50.
- [21] Ameri B, Hanini S, Boumahdi M. Influence of drying methods on the thermodynamic parameters, effective moisture diffusion and drying rate of wastewater sewage sludge. *Renew Energy* 2020; 147: 1107-1119.