

## Termal ve Kimyasal Önışlemlerin Atıksu Çamuru ve Şeker Pancarı Küspesi Karışımından Biyogaz Eldesindeki Etkilerinin Belirlenmesi

Burak PEKER<sup>1</sup>, Filiz DADAŞER ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü, 38280, Kayseri, Türkiye

(Alınış / Received: 05.12.2018, Kabul / Accepted: 06.11.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2019)

**Anahtar Kelimeler**  
Biyogaz,  
Kimyasal önışlem,  
Termal önışlem,  
Şeker pancarı küspesi,  
Arıtma çamuru

**Özet:** Bu çalışmada, evsel atık suların arıtılması sonrası oluşan arıtma çamuru ve şeker fabrikalarından atık olarak çıkan şeker pancarı küspesi kullanılarak biyogaz üretim düzeyleri incelenmiştir. Bu maddelerden biyogaz üretim veriminin artırılması için termal ve kimyasal önışlemlerin etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada 30 gün süreyle mezofilik şartlarda anaerobik işlem uygulanmış, biyogaz üretim düzeyleri ve biyogaz içindeki metan oranları ölçülmüştür. Önışlem uygulanmamış şeker pancarı küspesinden metan üretim düzeyleri 84 L/kg UKM (uçucu katı madde) olarak gerçekleşirken, önışlem uygulanmamış arıtma çamuru 67 L/kg UKM düzeyinde metan üretmiştir. Şeker pancarı küspesi ve arıtma çamuru birlikte hammadde olarak kullanıldığında ise metan üretim düzeyi 103 L/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. Şeker pancarı küspesi ve arıtma çamuru karışımlarına termal ve kimyasal (O<sub>3</sub> ve NaOH) ön işlemler uygulanmıştır. Termal ön işlemlerli karışımın metan üretim düzeyi 116 L/kg UKM, NaOH ile önışlem uygulanmış karışımın metan üretim düzeyi 99 L/kg UKM ve ozon ile önışlem uygulanmış karışımın metan üretim düzeyi ise 133 L/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, kimyasal ve termal önışlemlerin atıklardan biyogaz eldesini artırdığı tespit edilmiştir. Hammaddelere uygulanan önışlemler organik maddenin daha kolay bozunabilir hale gelmesini sağlamış, böylece daha yüksek biyogaz üretimi gerçekleşmiştir.

## Determination of the Effects of Thermal and Chemical Pretreatment on Biogas Production from Sewage Sludge and Sugar Beet Pulp

**Keywords**  
Biogas,  
Chemical pretreatment,  
Thermal pretreatment,  
Sugar beet pulp,  
Wastewater sludge

**Abstract:** In this study, biogas production from sugar beet pulp and sewage sludge was examined. In order to increase the efficiency of biogas production from these materials, the effects of thermal and chemical pretreatments were evaluated. During the study, anaerobic treatment was carried out under mesophilic condition for 30 days. Biogas production levels and methane contents in biogas were measured daily. The sewage sludge produced methane at the level of 67 L/kg VS (volatile solids) without pretreatment, while the methane production from the sugar beet pulp without pretreatment was 84 L/kg VS. When sugar beet pulp and wastewater sludge were used together as raw materials, the production level of methane was 103 L/kg VS. Thermal and chemical (O<sub>3</sub> and NaOH) pretreatments were applied to sugar beet pulp and sewage sludge mixtures. The methane production level of the mixture with thermal pretreatment was 116 L/kg VS, the methane production level with basic pretreatment with NaOH was 99 L/kg VS and the methane production level of the mixture subjected to ozone pretreatment was 133 L/kg VS. As a result, chemical and thermal pretreatments were found to increase biogas production from waste materials. Pretreatments applied to raw materials converted the organic material to more degradable forms and higher biogas yields were obtained.

### 1. Giriş

Artan enerji ihtiyacı ve tükenmekte olan fosil yakıtlar yenilenebilir enerjiye olan ilgiyi arttırmıştır. Enerji günümüzde büyük oranda fosil yakıtlardan sağlansa da, gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarına

yönelmek bir gereklilik haline gelecektir. Bu enerji kaynaklarından biri de biyogazdır.

Biyogaz organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından havasız ortamda parçalanması sonucu ortaya çıkan, bileşiminde %50-%80 metan (CH<sub>4</sub>) ve

%20-%50 karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve eser miktarda hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), hidrojen (H<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), ve azot (N<sub>2</sub>) bulunduran, yanıcı bir biyolojik süreç ürünüdür [1,2]. Biyogaz üretimi üç aşamada gerçekleşir [3]. Birinci aşama olan hidrolizde karmaşık yapılı organik maddeler (karbonhidrat, protein, yağlar) enzimler yardımıyla bakteriler tarafından basit şekerler, gliserin, amino asit, yağ asitleri ve çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürülür. İkinci aşama olan asit üretimi aşamasında asetojenik bakteri grupları tarafından hidroliz sonucu açığa çıkan uçucu organik maddeler karbondioksit, asetik asit, uçucu yağ asitleri ve hidrojene dönüştürülür. Son aşama olan metan üretimi aşamasında ise CH<sub>4</sub> oluşturan bakteriler tarafından CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> ve asetik asit kullanılarak CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluşturulmaktadır.

Biyogaz üretiminde çeşitli organik maddeler (hububat atıkları, mısır, şeker pancarı yaprakları, yabani otlar, organik yapılı katı atıklar, hayvansal atıklar ve arıtma çamurları gibi) kullanılmaktadır [4, 5]. Evsel nitelikli arıtma çamuru bu malzemeler arasında hakkında en fazla çalışma yapılan maddeler arasındadır. Evsel arıtma çamurlarından biyogaz üretim düzeyleri, optimum işletme koşulları, biyogaz üretim düzeylerini artırmak için yapılacak işlemler hakkında çalışmalar literatürde mevcuttur [6, 7]. Şeker pancarı atıkları ise biyogaz üretiminde son yıllarda ilgi çekmeye başlamıştır ve yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır [8-12]. Bu çalışmada evsel atıksu arıtımından kaynaklanan arıtma çamurları ve şeker pancarı endüstrisi atıkları ve bu atıkların birlikte arıtılabilirliği konu edilmektedir. Arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesinin bertarafı ve ekonomik fayda sağlamak için kullanılması son derece önemlidir. Halen pek çok işletmede şeker pancarı küspesi ucuz fiyata hayvancılık yapan kişi ve kurumlara satılmakta ve fazlasının bertaraf edilmesi bir maliyet ve çevresel kirlilik oluşturmaktadır. Arıtma çamuru ve biyogaz karışımının biyogaz üretiminde kullanılması hem arıtma çamurlarının hem de şeker pancarı atıklarının ekonomik değeri yüksek olacak şekilde bertaraf edilmesini sağlayacaktır.

Daha önce yapılan pek çok çalışmada farklı maddelerin birlikte kullanımının biyogaz üretimleri üzerinde olumlu etki oluşturduğu gösterilmiştir [13-14]. Bunun yanı sıra metan üretim verimlerinin artırılması için bazı önişlemler uygulanabilmektedir [15, 16, 17]. Önişlemler fiziksel/mekanik önişlemler, biyolojik önişlemler, kimyasal önişlemler ve termal önişlemler olmak üzere dört ana başlık altında toplanabilir [17, 18, 19]. Fiziksel/mekanik önişlemler maddelerin fiziksel yapısını değiştirme özelliğine sahip olup, ultrases, yüksek basınçlı homojenizasyon gibi teknikleri içerirler. Biyolojik önişlemler biyolojik aktivitelerle (örneğin enzimler kullanılarak) maddelerin bozunabilirliğini artırılması esasına dayanır. Kimyasal önişlemlerde, karmaşık yapılı organik maddelerin parçalanması için kuvvetli

mineral asit veya baz veya ozon (O<sub>3</sub>) kullanılmaktadır. 60-180 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilen termal ön işlemler, hücre duvarlarını parçalayarak, mikroorganizmalarca maddenin daha kolay kullanılabilir hale gelmesini sağlamaktadır. Önişleme uğramış maddelerin anaerobik çürümesi, karmaşık yapıdaki organik maddenin parçalanması sebebiyle daha iyi bir stabilizasyona imkân sağlamakta ve bu işlem sonrasında atık miktarı klasik anaerobik çürüme işlemi ile karşılaştırıldığında %30-40 oranında azaltılabilmektedir.

Bu çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır. Birinci amaç arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesi karışımından biyogaz üretim potansiyelinin araştırılmasıdır. İkinci amaç ise arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesi karışımından biyogaz üretimde termal ve kimyasal önişlemlerin etkilerinin belirlenmesidir. Çalışmada bazik (sodyum hidroksit-NaOH) ve ozon kimyasal önişlemleri ve termal önişlemlerin etkileri araştırılmaktadır.

Yukarıda sıralana çalışmalar göz önüne alındığında şeker pancarı küspesi ve arıtma çamurları biyogaz üretim potansiyeli oldukça yüksek iki hammaddedir. Bu maddelerle biyogaz üretimi yapılması Türkiye’de birçok ilde büyük şeker fabrikalardan atık olarak çıkan şeker pancarı küspesi ve arıtma tesislerinde en yüksek maliyete neden olan arıtma çamuru bertarafına çözüm sunacaktır. Bu çalışma sayesinde şeker fabrikalarında biyogaz üretim tesisleri kurularak atıkların azaltılması ve geri kazanımının uygulanabilirliği gösterilebilir. Ayrıca fabrikaların atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarından bu sistemle materyal ve enerji kazanımı sağlanabilir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma dört aşamada tamamlanmıştır. Bu aşamalar, çalışmada kullanılacak maddelerin karakterizasyonunun yapılması, önişlemlerin uygulanması, reaktörlerin kurulması ve izlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi olarak sıralanabilir. Aşağıda aşamalar ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

### 2.1. Çalışmada kullanılan maddelerin karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan şeker pancarı küspesi Kayseri Şeker Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Arıtma çamuru ve aşu maddesi Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından işletilen atık su arıtma tesisinin aktif olarak biyogaz üretiminin yapıldığı anaerobik çürütme reaktöründen alınmıştır. Anaerobik çürütücüye beslenen çamur ön ve son çökeltme tanklarından sağlanmakta olup, sistem mezofilik koşullarda (37-38°C) çalışmaktadır. Maddelerin karakterizasyonu amacıyla yapılan analizler toplam katı madde (KM), toplam uçucu katı madde (UKM), pH ve elemental analizi (C, N) içermektedir (Tablo 1).

Bu analizlerle biyogaz üretiminde etkili olan besin/aşı oranı, C/N oranı, pH, katı madde oranı gibi özellikleri belirlenmiştir. Biyogaz üretimine olumlu etki yaptığı önceki çalışmalarda belirlenen bazal besin maddesi reaktörlere eklenmiştir [20].

## 2.2. Önışlemlerin uygulanması

Çalışmanın kapsamında organik maddelere termal ve kimyasal ön işlemler uygulanmıştır. Önışlemler öncesinde arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesi kullanılarak %4 katı madde içeriğine sahip bir karışım hazırlanmıştır. Anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz üretim veriminin reaktöre verilen hammaddedeki katı madde derişiminin kütlece %6 ile %10 arasında olduğunda gerçekleştiği ve metan üretim verimi, katı madde derişimi % 12'den fazla olması durumunda ise düştüğü görülmektedir [21]. Farklı bir çalışmada %4.5 ve %19.2 aralığında katı madde içeriklerinin etkileri incelenmiş ve katı madde miktarı arttıkça metan veriminin düştüğü gözlenmiştir [22]. Daha önce yemek atıkları ile yapılan bir çalışmada %4, %8 ve %12 katı madde oranları ile sistem verimi araştırılmış ve %4 katı madde oranının optimum olduğu tespit edilmiştir [23]. Bu çalışmada kullanılan arıtma çamurunun katı madde içeriği %1-2 civarındadır. Buna karşılık şeker pancarı küspesinin sıvı içeriği düşüktür. Uygun koşulları sağlamak için bu çalışmada karışım %4 katı madde oranında olacak şekilde hazırlanmıştır.

Termal önışlem yaygın olarak 60-180°C arasında yer alan sıcaklıklarda uygulanmaktadır [24]. 100°C altındaki uygulamalar düşük sıcaklık uygulamaları olarak adlandırılmakta ve daha uzun işlem süresine ihtiyaç duymaktadır. 100°C üzerindeki sıcaklıklarda ise 30-60 dakikalık uygulamalar yeterli olmaktadır [24]. Bu çalışmada yüksek sıcaklık uygulaması tercih edilmiştir. Şeker pancarı küspesi arıtma çamuru karışımına kimyasal madde eklenmeden otoklavda 120°C de 2 saat ısıl işlem yapılmıştır.

Kimyasal önışlemlerde NaOH ve ozon uygulanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar [15, 16, 17, 18, 19, 31] incelenmiş ve şeker pancarı küspesi arıtma çamuru

karışımının kütlece %4 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımındaki katı maddenin kütlece %5'i kadar NaOH eklenerek oluşturulan 1 litrelik sulu çözeltide 1 gün bekletilerek ön işlem uygulanmıştır. NaOH ön işlemi sonrası bir pH ayarlaması yapılmamıştır. Metan üretiminin başlamasıyla ortamdaki pH düştüğü için NaOH ile ön işlem sisteme yüksek pH gibi bir zarar vermemektedir. Ozon ile deaktive olmuş biyokatılar biyolojik parçalanma için çok iyi bir besin kaynağı olmaktadır. Bu biyokatıların anaerobik çürütmede kullanılması çürütme verimini artırmaktadır. Organik madde parçalanma oranı klasik anaerobik çürütme işleminde ortalama %45 iken 0.06 g O<sub>3</sub>/g katı madde ozon dozu kullanılarak yapılan önışlem ile ortalama %65 olmakta, aynı zamanda biyogaz oluşumu da klasik sisteme oranla %30-40 artış göstermektedir [25]. Ozon önışleminde ise karışımındaki katı madde başına 0.1 g O<sub>3</sub>/g KM ozon gazı verilerek önışlem uygulanmıştır.

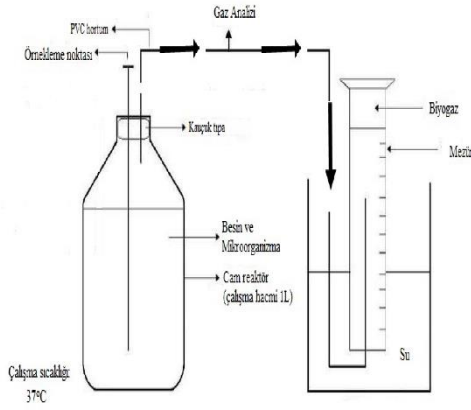
## 2.3. Reaktörlerin kurulması ve işletilmesi

Çalışmanın üçüncü aşamasında biyogaz üretiminin gerçekleştirileceği reaktör sistemi kurulmuştur. Reaktörler kesikli yapıda çalıştırılmıştır. Şeker pancarı küspesi ve arıtma çamuru, mikroorganizmalar (aşı maddesi) katı madde oranları hesaplandıktan sonra Şekil 1'de gösterilen solda yer alan ve cam şişeler şeklinde planlanmış 1000 ml'lik ağzı tıpalı serum şişelere aktarılmıştır. Ardından azot gazından geçirilerek havasız ortam oluşması sağlanmış ve 37°C sıcaklıktaki Binder marka ED 53 model etüvde takibi başlatılmıştır. Biyogaz üretimleri sıvı yer değiştirme prensibiyle belirlenmiştir. Biyogazın içerisindeki CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oranları Shimadzu GC-2010 marka gaz kromatografi cihazıyla ölçülmüştür.

Öncelikle şeker pancarı küspesi, arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru için 3'er adet reaktör kurulmuştur. Ardından şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımına NaOH, ozon ve termal önışlemler uygulanmıştır. Ön işlem görmüş numuneler için de 3'er adet reaktör hazırlanmıştır. Bütün reaktörler 30 gün takip edilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışma kapsamında yapılan analizler ve kullanılan analiz yöntemleri

Parametre	Analiz Yöntemi	Kullanılan Teçhizat/Cihaz	Marka/Model/Menşei
pH	SM 4500H	pH metre	Hach Lange, HQ-40D multimetre, ABD
Toplam Katı Madde (KM)	SM 2540 G	Desikatör, Etüv	Derkimlab, Cam 150 Mm Desikatör, Türkiye, Binder, ED 53 Etüv, Almanya
Toplam Uçucu Katı Madde (UKM)	SM 2540 G	Desikatör, Yakma Fırını	Derkimlab, Cam 150 Mm Desikatör, Nüve MF 120, Kül Fırını, Türkiye
C, N		Elemental Analiz Cihazı	Leco, TruSpec Micro CHNS, ABD



Şekil 1. Reaktör Sistemi

## 2.4. Sonuçların değerlendirilmesi

Her bir reaktöre ait günlük ve toplam metan üretimleri belirlenmiş, bu değerler grafiksel olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek şeker pancarı küşpesinin, arıtma çamurunu, şeker pancarı küşpesi+arıtma çamuru karışımının biyogaz potansiyeli ve önışlem uygulamalarının biyogaz üretimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

## 3. Bulgular

### 3.1. Çalışmada kullanılan materyallerin özellikleri

Bu çalışma kapsamında kullanılan şeker pancarı küşpesi, arıtma çamuru ve aşımın özellikleri Tablo 2'de sunulmaktadır. Bu değerler kullanılarak katı madde oranı %4 olacak şekilde reaktörler hazırlanmıştır.

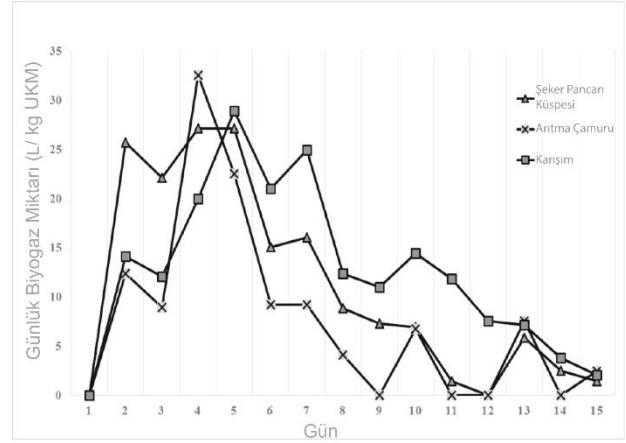
**Tablo 2.** Kullanılan materyallerin özellikleri

Kullanılan Malzemeler	Şeker Pancarı Küşpesi	Arıtma Çamuru	Aşım
C (%)	45	39	35
N (%)	6	6	6
KM (%)	25,8	1.1	2.7
UKM (%)	24.2	0.6	1.4
Nem (%)	74.2	98.9	97.3
C/N	13	17	17

### 3.2. Günlük biyogaz üretimi

Şeker pancarı küşpesi, arıtma çamuru ve şeker pancarı küşpesi+arıtma çamuru karışımı için günlük biyogaz üretimleri Şekil 2'de sunulmaktadır. Bütün reaktörlerde günlük biyogaz üretimleri 14. günden sonra oldukça düşmüştür. Bu düşüşün sebebi kullanılan sistemle alakalıdır. Kapalı reaktör sistemi kullanıldığından ortamdaki besin maddesi belli bir süre sonra tükenmekte mikroorganizmalar beslenememekte ve bu nedenle biyogaz üretimi düşmektedir. Belli bir süre daha biyogaz üretiminin olması ortamdaki canlıların ölmesi ve içsel solunumla yani ortamdaki ölen hücrelerle beslenmesiyle

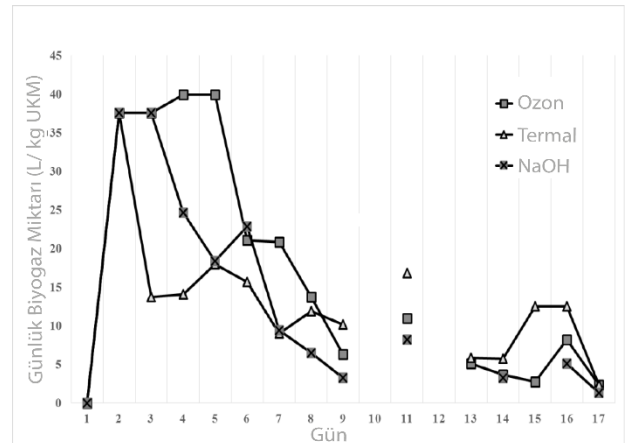
açıklanabilir. Biyogaz üretimleri uçucu katı madde (UKM) başına litre şeklinde hesaplanmıştır. Şeker pancarı küşpesi, arıtma çamuru ve şeker pancarı küşpesi+arıtma çamuru karışımı için günlük ortalama biyogaz üretimleri sırasıyla 12( $\pm 10$ ), 8( $\pm 7$ ), 14( $\pm 9$ ) L/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. En yüksek günlük biyogaz üretimi arıtma çamurunda 33 L/kg UKM olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 2.** Şeker pancarı küşpesi, arıtma çamuru ve şeker pancarı küşpesi + arıtma çamuru karışımı için günlük biyogaz üretimleri

Şeker pancarı küşpesi+arıtma çamuru karışımına önışlem uygulanarak günlük biyogaz verimleri değerlendirilmiştir (Şekil 3). Bütün reaktörlerde günlük biyogaz üretimleri 17. güne kadar devam etmiştir. Ozon, Termal, NaOH ile önışleme tabi tutulmuş olan maddeler için sırasıyla günlük ortalama biyogaz üretimleri 18( $\pm 15$ ), 13( $\pm 11$ ), 15( $\pm 13$ ) L/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. En yüksek günlük biyogaz üretimi ozon önışlemi uygulanan reaktörde gerçekleşmiştir (40 L/kg UKM).

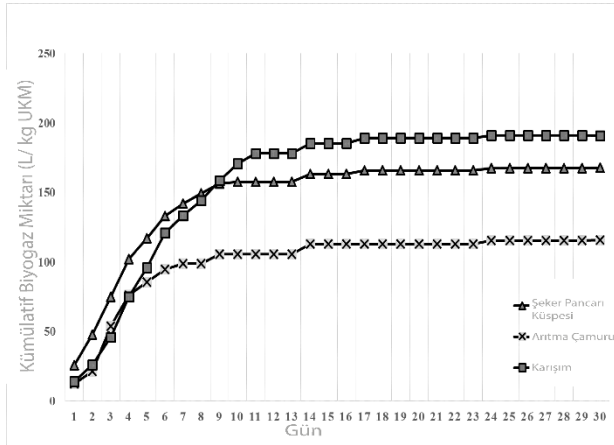
Ön işlemlenmiş ve ön işlemsiz günlük biyogaz verimleri incelendiğinde, ozon ve NaOH önışlemlerinin daha yüksek günlük üretime neden oldukları ve gerçekleşen maksimum günlük biyogaz üretiminin de önışlemler sonrasında yükseldiği görülmektedir.



**Şekil 3.** Termal ve kimyasal önışlemler sonrası şeker pancarı küşpesi + arıtma çamuru karışımı için günlük biyogaz üretimleri

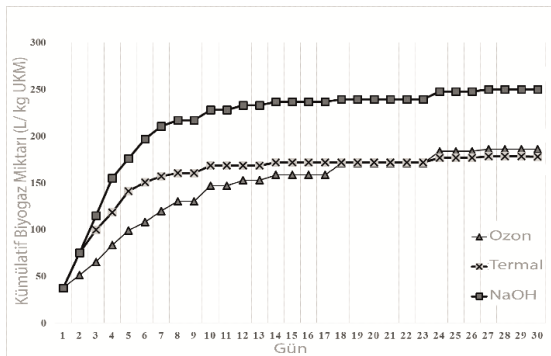
### 3.3. Kümülatif biyogaz üretimi

Önişlem uygulanmamış ve uygulanmış maddelerin kümülatif toplam biyogaz üretim verimleri belirlenmiştir (Şekil 4 ve Şekil 5). Önişlem uygulanmamış şeker pancarı küspesi, arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımı için toplam biyogaz üretiminin büyük bir kısmı ilk 10 günlük periyotta gerçekleşmiştir. 30 günlük izleme sonunda toplam biyogaz üretimi önişlem uygulanmamış şeker pancarı küspesinin de 168(±46) L/kg UKM arıtma çamurunda 116(±34) L/kg UKM ve şeker pancarı küspesi +arıtma çamuru karışımında 191(±68) L/kg UKM olarak gözlenmiştir.



Şekil 4. Şeker pancarı küspesi arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımı için kümülatif biyogaz üretimi

Termal, NaOH ve ozon önişlemi uygulanmış şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımı için toplam biyogaz üretiminin sırasıyla 186(±63) L/kg UKM, 178(±42) L/kg UKM ve 250(±64) L/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. Özellikle ozon önişlemi ile üretilen biyogaz veriminde önemli ölçüde (yaklaşık %30) artış gerçekleşmiştir. IBM SPSS programı kullanılarak non-parametrik Wilcoxon Sıralama testi uygulanmıştır. Bu istatistiksel analiz %95 güven aralığında yapılmıştır. Buna göre ozon ve NaOH önişlemleri reaktör ve karışım reaktörleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Termal önişlemleri reaktör ve karışım arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır.

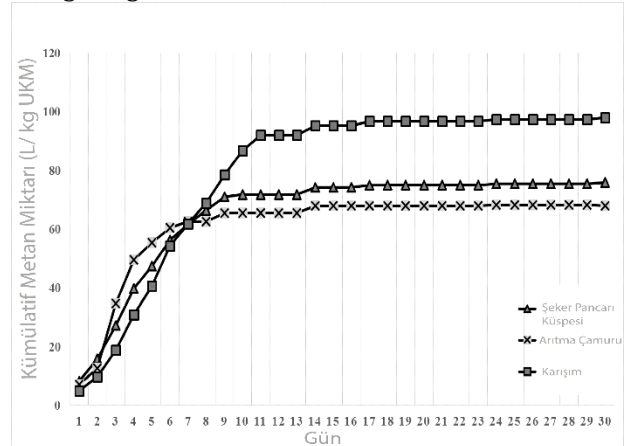


Şekil 5. Termal ve kimyasal önışlemler sonrası şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımı için toplam kümülatif biyogaz üretimi

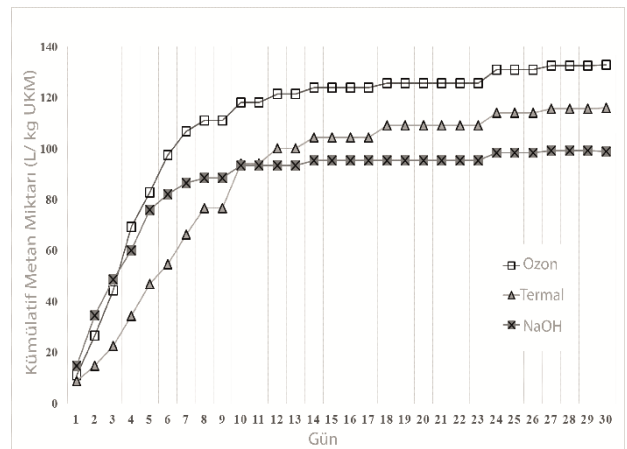
### 3.4. Kümülatif metan üretimi

Önişlem uygulanmamış ve uygulanmış maddelerin toplam metan üretim verimleri belirlenmiştir (Şekil 6 ve Şekil 7). 30 günlük izleme sonunda şeker pancarı küspesi için 76 L CH<sub>4</sub>/kg UKM, arıtma çamuru için 68 L CH<sub>4</sub>/kg UKM ve şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımı için 98 L CH<sub>4</sub>/kg UKM metan üretimine ulaşılmıştır.

Termal, NaOH ve ozon önişlemi uygulanmış şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımı için toplam metan üretimi sırasıyla 116(±39) L/kg UKM, 96(±26) L/kg UKM ve 133(±38) L/kg UKM olarak gerçekleşmiştir. Kümülatif toplam biyogazın yaklaşık %50-%70'inin metan olduğu görülmüştür. En yüksek metan üretiminin ozon önişlemi uygulandığında olduğu görülmüştür. Wilcoxon testine göre Termal ve ozon önişlemleri reaktörleri arasında p değeri <0.001 bulunmuştur. NaOH ve ozon önişlemleri reaktörleri arasındaki istatistiksel analiz sonucu p değeri <0.001 olarak belirlenmiştir. NaOH ve termal ön işlemleri reaktörleri arasındaki anlamlılık düzeyi <0.001'dir. Bulunan bu değerler reaktörleri arasında 0.001 düzeyinde için istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Şeker pancarı küspesi arıtma çamuru ve şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımı için kümülatif toplam metan üretimi



Şekil 7. Termal ve kimyasal önışlemler sonrası şeker pancarı küspesi+arıtma çamuru karışımı için kümülatif toplam metan üretimi

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada şeker pancarı küşpesi ve arıtma çamurunun biyogaz üretim potansiyelleri ayrı ayrı ve birlikte kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca termal ve kimyasal önışlemlerin şeker pancarı küşpesi+arıtma çamuru karışımından biyogaz üretimine etkileri değerlendirilmiştir. Kimyasal önışlem olarak NaOH ve ozon önışlemleri kullanılmıştır.

Şeker pancarı küşpesi ve arıtma çamurunun karıştırılması biyogaz ve metan üretimlerini arttırmıştır. Arıtma çamurunun bitkisel atıklarla karıştırıldığında verimde görülen artış daha önce farklı çalışmalarda da gözlenmiştir. Maragkaki ve diğ. [26] tarafından yapılan çalışmada arıtma çamurunun yemek atıkları, peynir ve zeytin işleme atıkları ile karıştırılmasının biyogaz verimini 1.2-2.7 kat arttırdığı tespit edilmiştir. Park ve diğ. [27] gerçek ölçekli bir çalışmada arıtma çamuru ve meyve ve sebze atıklarının karıştırılmasının biyogaz verimini arttırdığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da şeker pancarı küşpesi ve arıtma çamurunun birlikte kullanılması durumunda metan eldesi arıtma çamuruna göre %44, şeker pancarı küşpesine göre ise %28 artmıştır.

Kimyasal ve termal önışlemlerin şeker pancarı küşpesi+arıtma çamuru karışımına uygulanması biyogaz ve metan üretim verimlerinde değıışimlere neden olmuştur. NaOH ile yapılan önışlem toplam metan verimini %1 arttırmıştır. Termal önışlem metan veriminde %18 artışa neden olmuştur. En yüksek değıişim ozon önışleminde gözlenmiştir. ozon ile önışlem metan verimini %35 arttırmıştır. Ön işlemler uygulandıktan sonra biyogaz üretiminin arttığı ve önışlemlerin organik maddelerin parçalanmasını kolaylaştırdığı ve mikroorganizmalar tarafından bu besi maddelerini kolayca tüketilmesine olumlu etki yaptığı görülmektedir. Bu sebeple uygulanan ön işlemler katı maddelerin sudaki çözünürlüğünü etkileyerek, metan verimini arttırmıştır. Ön işlemlerin uygulanması sonrası gerçekleşmiş bir yapısal değıişiklik görülmemiştir. Kapalı reaktör ile çalışıldığından ve biyogaz üretimi sonrası tüm reaktörlerde besin maddelerinin tükendiği veya çok küçük parçalar halinde sulu halde bulunduğu görülmüştür.

NaOH, ozon ve termal önışlemlerinin biyogaz üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere daha önce bazı çalışmalar yapılmıştır. Bazı koşullar hidrolizi hızlandırarak hidrokarbonlar, yağlar ve proteinlerin alifatik polisakkaritler, alifatik asitler ve aminoasitler gibi daha küçük maddelere dönüşümünü sağlamaktadır [16]. NaOH ile önışlem uygulanmış mısır koçanı mezofilik şartlarda işletilmiş ve NaOH ön işleminin biyogaz eldesini ise ortalama %13.1 ile %48.3 arasında arttırdığı tespit edilmiştir [28]. Hurma yağı boş meyve demetlerinden biyogaz üretiminin iyileştirilmesinin amaçlandığı çalışmada biyogaz üretimini iyileştirmek için NaOH ve fosforik

asit kullanılarak ön işlem yapılmıştır. Çalışma sonucunda 60 dakika boyunca %8'lik NaOH ile ön işlem uygulanması sonucunda biyogaz veriminde %100 artış gerçekleşmiştir.[29] Neves ve diğ. [30] yaptıkları bazı önışlem çalışmasında metan üretiminde %89 artış sağlamıştır. Pang ve diğ. [31] yaptığı alkali önışlem ile mısırdan elde edilen metan miktarı %63 attığı görülmüştür.

Ozon ön işleminin amacı kısmi oksidasyon olup, zor ayrışan bileşiklerin kolay ayrışan bileşiklere dönüştürülmesi hedeflemektedir [32]. Bougrier ve diğ. [33] yaptıkları çalışmada ozonla önışlem uygulamış ve metan üretiminde 2.4 kat artış olduğunu belirlemişlerdir. Dewil ve diğ. [34] tarafından yapılan bir çalışmada, ozonlama ile biyogaz üretiminde yaklaşık 2.5 kat artış olduğu belirlenmiştir.

Termal önışlem yönteminde sıcaklık etkisiyle maddenin bozunabilirliği artmaktadır. Climent ve diğ. [24] çürütülmüş aktif çamurdan termofilik koşullarda (55°C) biyogaz üretiminde, termofilik önışlemin verimi %20-%30 arttırdığını belirlemişlerdir.

Bu çalışmada büyük miktarlarda üretilen ve değerlendirilmeyen arıtma çamuru ve şeker pancarı küşpesi değerlendirildiğinde enerji eldesinin mümkün olabileceği saptanmıştır. Şeker pancarı küşpesinden biyogaz üretiminin mümkün olduğunu ve arıtma çamurlarının bertarafı büyük bir sorun oluşturduğundan bu iki atığın birlikte kullanılmasıyla daha yüksek biyogaz üretimlerine ulaşılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca ileride yapılması planlanan çalışmalarda, biyogaz üretimindeki artış ve ön işlemlerin etkisi araştırılacaktır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, anaerobik çürütmede önışlem uygulanarak metan üretim veriminin artırılabilceğini göstermiştir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK'ın 2209/A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- [1] Elango, D., Pulikesi, M., Baskaralingam, P., Ramamurthi, V., Sivanesan, S. 2006. Production of Biogas From Municipal Solid Waste with Domestic Sewage. Journal of Hazardous Materials, 141(2006), 301-304.
- [2] Lantz, M., Svensson, M., Bjornsson, L, Börjsson, P. 2006. The Prospects for an Expansion of Biogas Systems in Sweden, Incentives, Barriers and Potentials. Energy Policy 35(2006), 1830-1843
- [3] Speece, R.E. 1995. Anaerobik Biotechnology for Industrial Wastewater. Vanderbilt University, Tennessee.



- [4] Mata-Alvarez, J., Macé, S., Llabrés, P. 2000. Anaerobic Digestion Of Organic Solid Wastes. An Overview Of Research Achievements And Perspectives. *Bioresource Technology* 74(1), 3-16.
- [5] Weiland, P. 2010. Biogas Production: Current State and Perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(2010), 849-860.
- [6] Kim, J., Park, C., Kim, T-H., Lee, M., Kim, S., Kim, S-W., Lee, J. 2003. Effects of Various Pretreatments for Enhanced Anaerobic Digestion with Waste Activated Sludge. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 95(2003), 271-275.
- [7] Yeom, I.T., Lee, K.R., Lee, Y.H., Ahn, K.H. and Lee, S.H., 2002. Effects of ozone treatment on the biodegradability of sludge from municipal wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 46(4-5), 421-425.
- [8] Hutnan, M., Drtil, M., Derco, J., Mrafkova, L., Hornak, M. and Mico, S., 2001. Two-step pilot-scale anaerobic treatment of sugar beet pulp. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10(4), 237-244.
- [9] Demirel, B. and Scherer, P., 2008. Production of methane from sugar beet silage without manure addition by a single-stage anaerobic digestion process. *Biomass and Bioenergy*, 32(3), 203-209.
- [10] Koppar, A. and Pullammanappallil, P., 2008. Single-stage, batch, leach-bed, thermophilic anaerobic digestion of spent sugar beet pulp. *Bioresource Technology*, 99(8), 2831-2839.
- [11] Brooks, L., Parravicini, V., Svoldal, K., Kroiss, H., Prendl, L. 2008. Biogas From Sugar Beet Press Pulp as Substitute of Fossil Fuel in Sugar Beet Factories. *Water Science and Technology*, 58 (2008), 1497-1504.
- [12] Fang, C., Boe, K., Angelidaki, I. 2011. Anaerobic Co-Digestion of By-Products From Sugar Production With Cow Manure. *Water Research*, 45(2011), 3473-3480.
- [13] Neves, L., Oliveria, R. and Alves, M. M. 2006. Anaerobic Co-digestion of Coffee Waste and Sewage Sludge. *Waste Management*, 26(2006), 176-181.
- [14] Parawira, W., Murto, M., Zvauya, R., Mattiasson, B. 2004. Anaerobic Batchdigestion of Solid Potato Waste Alone And In Combination With Sugar Beet Leaves. *Renewable Energy*, 29(2004), 1811-1823
- [15] Nieves, D. C., Karimi, K., Horvath, I.S. 2011. Improvement of Biogas Production From Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB). *Industrial Crops and Products*, 34(2011), 1097-1101.
- [16] Ofoefule, A.U., Uzodinm, E.O., Onukwuli, O.D. 2009. Comparative Study of The Effect of Different Pretreatment Methods On Biogas Yield From Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*). *International Journal of Physical Sciences*, 4(2009), 535-539.
- [17] Müller, J.A., Winter, A. and Struenkmann, G., 2004. Investigation and assessment of sludge pre-treatment processes. *Water Science and Technology*, 49(10), 97-104.
- [18] Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F., Lens, P. N. L. 2014. Pretreatment Methods To Enhance Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste. *Applied Energy*, 25(2014), 143-156.
- [19] Deepanraj B., Sivasubramanian V., Jayaraj S. 2013. Enhancement of Biogas Production by Pretreatment: A review, IV th International Conference on Advances in Energy Research, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai (2013), 309-319
- [20] Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J. L., Guwy, A. J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P., van Lier, J. B. 2009. Defining the Biomethane Potential (BMP) of Solid Organic Wastes and Energy Crops: A Proposed Protocol for Batch Assays. *Water Science and Technology*, 59 (2009), 927-934.
- [21] Desai, M., Patel, V., Madamvar, D. 1994. Effect of Temperature And Retention Time On Biomethanation of Cheese Whey-Poultry Waste-Cattle Dung. *Environmental Pollution*, 83(1994), 311-315
- [22] Liotta, F., d'Antonio, G., Esposito, G., Fabbricino, M., van Hullebusch, E.D., L. Lens, P. N., Pirozzi, F., Pontoni, L. 2014. Effect Of Total Solids Content on Methane and Volatile Fatty Acid Production in Anaerobic Digestion of Food Waste. *Waste Management & Research*, 32(2014), 947-953.
- [23] Dadaser-Celik, F., Azgin S. T., Yildiz Y. S. 2016. Optimization Of Solid Content, Carbon/Nitrogen Ratio and Food/Inoculum Ratio for Biogas Production From Food Waste. *Waste Management and Research*, 34(2016), 1241-1248
- [24] Climent, M., Ferrer, I., Baeza, M., Artola, A., Vazquez, F. and Font, X. 2007. Effects of Thermal and Mechanical Pretreatments of Secondary Sludge on Biogas Production under Thermophilic Conditions. *Chemical Engineering Journal*, 133(2007), 335-342
- [25] Vranitzky, R., Lahnsteiner, J. 2005. Sewage Sludge Disintegration Using Ozone – A Method of Enhancing the Anaerobic Stabilization of Sewage Sludge. VA TECH WABAH, R&D Process Engineering, Siemensstrasse, Vienna, Austria, 89(2005), 1211.
- [26] Maragkaki, A. E., Vasileiadis, I., Fountoulakis, M., Kyriakou, A., Lasaridi, K., Manios, T. 2018. Improving Biogas Production. From Anaerobic

- Co-Digestion of Sewage Sludge With A Thermal Dried Mixture Of Food Waste, Cheese Whey And Olive Mill Wastewater. *Waste Management*, 71(2018), 644-651.
- [27] Park, N. D., Thring, R. W., Garton, R. P., Rutherford, M. P., Helle, S. S. 2011. Increased Biogas Production in A Wastewater Treatment Plant by Anaerobic Co-Digestion of Fruit And Vegetable Waste And Sewer Sludge - A Full Scale Study. *Water Science and Technology*, 64(2011), 1851-1856.
- [28] Li, X., Zheng, M., Fu, G., Lar, J. S. 2009. Anaerobic Co-Digestion of Cattle Manure with Corn Stover Pretreated by Sodium Hydroxide for Efficient Biogas Production, *Energy & Fuels* 23(9), 4635-4639
- [29] D.C. Nieves, K. Karimi, I.S. Horvath. 2011. Improvement of Biogas Production From Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB). *Ind Crops Prod.* 34(2011), 1097-1101.
- [30] Pang, Y. Z., Liu, Y. P., Li, X. J., Wang, K. S., Yuan, H. R. 2008. Improving Biodegradability and Biogas Production Of Corn Stover Through Sodium Hydroxide Solid State Pretreatment. *Energy & Fuels*, 22(2008), 2761-2766.
- [31] Perez-Elvira, S. I., Nieto Diez, P., Fdz-Polanco, F., 2006. Sludge Minimisation Technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5(2006), 375-398
- [32] Bougrier, C., Battimelli, A., Delgenes, J., Carrere, H. 2007. Combined Ozone Pretreatment and Anaerobic Digestion For The Reduction of Biological Sludge Production in Wastewater Treatment. *Ozone: Science and Engineering*, 29(2007), 201-206.
- [33] Dewil, R., Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J. 2007. Peroxidation Enhances the Biogas Production in the Anaerobic Digestion of Biosolids. *Journal of Hazardous Materials*, 31(2007), 577-581.