

Biyogaz Üretimini Arttırmada Kullanılan Ön İşlemlere Bir Bakış

Salih SÖZER, Önder KABAŞ, İlker ÜNAL

Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, Antalya, Türkiye
sozer@akdeniz.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 01.07.2016

Kabul Tarihi (Accepted): 05.09.2016

Özet: Günümüzde dünyanın en büyük problemlerinin başında enerji ihtiyacı ve buna bağlı olarak artan çevre kirlenmesi gelmektedir. Bilim adamları bir taraftan yenilenebilir kaynaklarının kullanımını araştırırken diğer taraftan fosil yakıtların daha verimli kullanılmasını araştırmaktadır. Biyogaz bu yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesidir. Biyogaz organik atıkların fermantasyonu sonucu oluşur. Fakat bazı organik atıkların parçalanması zordur. Özellikle içeriğinde yüksek oranda selüloz ve lignin bulunan tarımsal ve evsel organik atıkların biyogaz üretiminde kullanılması biyogaz üretimini azaltmaktadır. Bu çalışmada biyogaz üretimini arttırmak için son yıllarda yapılan farklı ön işlem tekniklerinden bazı örnekler verilecektir. Bu tekniklerdeki amaç hem biyogaz üretimini arttırma, hem de çevre kirliliğini en aza indirmektir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, biyogaz üretimi, ön işlem yöntemleri

An Overview of the Pretreatment Used in Enhancement Biogas Production

Abstract: Today, the energy needs and increasing environmental pollution are world's most important problems. Scientists on the one hand, investigating the use of renewable sources, on the other hand, is exploring more efficient use of fossil fuels. Biogas is one of these renewable energy sources. Biogas is produced from organic waste by anaerobic fermentation. But it is difficult some breakdown of organic waste. Especially in the content of a high rate of cellulose and lignin found in agricultural and domestic organic wastes and this material is decreased biogas production. In this study, in order to increase biogas production in recent years, some examples will be given of the different pretreatment techniques. This pretreatment techniques the purpose both of biogas production boost, and minimize environmental pollution."

Key words: Biogas, biogas production, pretreatment methods

GİRİŞ

Yeryüzünde insan nüfusu her geçen gün artmaktadır. İnsanoğlunun gelişen teknolojiyle birlikte yaşamını kolaylaştıracak ve yaşam kalitesini artıracak gereçler de gün geçtikçe çeşitlenerek fazlalaşmaktadır. Bu gelişim doğal olarak kişi başına düşen enerji tüketimini artırmaktadır. Dünyamızın her geçen gün enerji ihtiyacının artması, fosil kökenli enerji kaynaklarının sonsuz olmayıp yakın bir gelecekte tükenen olması, fosil kökenli enerji kaynaklarının fazla kullanımından dolayı dünyamızda gözle görülüp hissedilebilen iklimsel dengesizliklerin artarak insan ve doğal hayatı olumsuz yönde etkilemesi insanoğlunu yeni arayışlara itmiştir. Bilim adamlarını bir yandan fosil kökenli enerji kaynaklarımızı çok daha verimli

kullanmak için yeni teknolojiler ve buluşlar geliştirmeye çalışırken, diğer taraftan da çevreyle dost, kaynakları sınırsız sayılabilecek olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılıp değerlendirilmesi konusunda çalışmalara yönelmiştir. Olası bir enerji darboğazının yaşanması, dünya üzerindeki ülkelerin güç dengelerini tamamen alt üst ederek bir kaosa sebep olabilir. Gelecekte böyle bir senaryonun gerçekleşmemesi için özellikle enerji konusunda kendine yetemeyen ülkelerde yoğun bir araştırma ve geliştirme süreci dinamik olarak devam etmektedir.

Biyogaz teknolojisi yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesidir. Biyogaz organik maddelerin oksijensiz bir ortamda parçalanması sonucu oluşan, içerisindeki metan içeriğinden dolayı

yanıcı özellik kazanan bir gazdır. Organik atıkların değerlendirilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Enerji eldesi yanında gübre eldesi ve organik atıkların hijyeninin sağlanması bu yöntemin tercih sebeplerinin başında gelmektedir.

Biyogaz tesislerinde önceleri sadece çiftlik hayvanlarının gübreleri kullanılırken, artık günümüzde her türlü organik atık biyogaz tesislerinde kullanılarak enerjiye dönüştürülebilmektedir. Günümüzde evsel, hayvansal ve tarımsal faaliyetlerden oluşan organik atıklar nüfus ve tüketimle doğru orantılı olarak arttığı inkar edilemez bir gerçektir. Gelişi güzel doğaya bırakılan organik atıklar çevreye zarar vererek doğal dengeyi bozmaktadır. Artık gelişmiş ülkelerde vahşi depolama diye bir kavram kalmamıştır. Tüm evsel, hayvansal ve zirai atıklar, doğaya en az zarar verecek hale getirmek için işlenerek çevreye bırakılmaktadır. Doğal dengenin bozulduğunda yeryüzünde yaşananlar, konunun ne denli hassas ve önemli olduğunu bizlere hatırlatmaktadır. İnsanoğlu yeryüzünde varlığını sürdürmeye devam ederken doğayla dost bir şekilde yaşamalıdır. Doğal kaynakların yok edilmesi insanlık ve dünyamız için geri dönülmez bir yolun başlangıcı olabilir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada son yıllarda yapılan biyogaz üretimini artırmak için yapılan farklı ön işleme metotları ve sonuçları incelenmiştir.

Organik atıkların bir kısmı kolay bir şekilde fermente olarak parçalanırken, bir kısmı kimyasal içeriklerinden dolayı metan bakterilerince kolayca parçalanamamaktadır. Bu hem biyogaz üretimini düşürmekte hem de organik atığın çevresel zararlılığını artırmaktadır. Özellikle tarımsal faaliyetlerden elde edilen materyallerin bir kısmında mevcut olan selüloz, lignin gibi parçalanması zor olan maddelerin ayrışmasını kolaylaştırmak amacıyla bazı ön işlemler uygulanmaktadır.

Biyogaz üretimini artırmak için kullanılan ön işlemler temel olarak dört ana gruba ayrılabilir. Bunlar fiziksel ön işlemler, termal ön işlemler, kimyasal ön işlemler ve biyolojik ön işlemlerdir.

Fiziksel ön işlemler kendi arasında üçe ayrılır. Bu metotlar mekanik ön işlemler, mikrodalgalı ön işlemleri ve ses dalgaları ön işlemleridir. Fiziksel ön işlemlerde

organik materyalin farklı yöntemlerle ayrışmasına yardımcı olunmaya çalışılmaktadır.

Termal ön işlemlerde organik maddenin sıcaklık yardımıyla ayrışmasına, bağların zayıflatılması amaçlanmaktadır.

Kimyasal ön işlemlerde organik materyalin parçalanmasını kolaylaştırmak için farklı kimyasal materyaller kullanılarak parçalanma işlemi kolaylaştırılmasına çalışılmaktadır. Bu yöntemde parçalanmayı kolaylaştırıcı kimyasal maddenin belli bir limiti geçmesi tesis içerisinde bulunan metan bakterilerine toksik etki yaparak bakterilerinde ölmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle kritik eşik doğru saptanması son derece önem taşımaktadır. Aksi takdirde biyogaz üretimi artırılmak istenirken bir anda üretim düşerek sıfırlanabilir.

Biyolojik ön işlemlerde organik materyalin parçalanmasını artırmak için canlı bir materyal kullanılır. Bu canlı materyal bir bakteri, enzim ya da mantar grubu olabilmektedir. Bu yöntemde de dikkat edilmesi gereken kullanılan canlı materyalin metan bakterilerine olumsuz etkisinin olmaması ya da bu etkinin minimum olmasıdır.

Araştırmacılar çevresel problem yaşanmasına sebep olan ve biyogaz tesislerinde işlenmesinde sıkıntı yaşanan organik atıkları bu metotlardan birine ya da bir kaçına tabi tutarak ayrışmasına yardımcı olmaya çalışmaktadırlar. Burada önemli olan kriterlerden bir tanesi de uygulanan ön işlem metodunun biyogaz üretimini ne kadar artırdığı ve bu artışın yapılan ön işlem metodunun bir enerji ihtiyacı varsa (özellikle fiziksel ön işleme metotlarında) bunu karşılayıp karşılayamadığı konusudur.

BULGULAR

Son yıllarda biyogaz üretimini artırmak için yapılan çalışmalarda artışlar görülmektedir. Bunlardan bazıları ayrıntıları ile verilerek incelenecektir.

Hesami et al., 2015 yaptıkları çalışmada ayçiçeği saplarını materyal olarak kullanmışlardır. Üretilen biyogaz miktarlarını artırmak için ayçiçeği saplarına ön işlem olarak sıcak su ve hidrojen sülfür uygulaması yaparak bu işlemlerin biyogaz üretimine etkilerini karşılaştırmışlardır. Sıcak su uygulamasında 140, 160, 180 ve 200 °C sıcaklıkta, 30 ve 60 dakikalık iki farklı bekleme süresi uygulamışlardır. İkinci ön işlemin biyogaz üretimine etkisine saptamak için H₂SO₄ katı

madde olarak %1 oranında uygulanmıştır. Ayrıca bir reaktörde ön işleme tabi tutulmayan materyalde denemeye alınarak, sonuçları karşılaştırma yapmak amacıyla deney setine ilave edilmiştir. Denemeler 37 °C sıcaklık koşullarında cam tüplerde gerçekleştirilmiştir. Deneme sonuçlarına göre her iki yöntemde biyogaz üretimini artırdığı saptanmıştır. Fakat hidrojen sülfür ilavesinin sıcak su uygulamasına göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Toplam metan üretiminin en yüksek olduğu koşullar 180 °C sıcaklıkta 60 dakikalık bekletilen koşulda sıcak su uygulamasında 223, hidrojen sülfür uygulamasında 264 ml CH₄/g.okm olarak saptanmıştır.

Michalska et al., 2015 yaptıkları çalışmada enerji bitkisi olarak bilinen miscanthus giganteus ve sida hermaphrodita bitkileri materyal olarak kullanmışlardır. Denemelerde ön işlem olarak sodyum hidroksit (NaOH) ile selüloz ve sellobiaz enzimleri ilavesi yapılmıştır. Öncelikli olarak NaOH ilave oranlarını saptamak için materyaller içine %0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4 ve 5 oranlarında NaOH konmuş ve içerik analizleri yapıldığında en iyi parçalanmanın olduğu oranın %5 NaOH ilavesi olduğu tespit edilmiştir. Denemeler 37 °C sıcaklık koşullarında cam tüplerde gerçekleştirilmiştir. Deneme sonuçlarına göre ön işlemler tek tek ele alındığında enzim ilavesinin NaOH ilavesine göre daha fazla metan üretimin artırdığı tespit edilmiştir. İki ön işlem birlikte uygulandığında her iki materyalde de metan üretiminin daha da arttığı tespit edilmiştir.

Lalak et al., 2016 yaptıkları çalışmada Agropyron elongatum (yüksek otlak ayrığı) isimli bitkiyi materyal olarak kullanmışlar ve ön işlem olarak biyolojik ön işleme tabi tutmuşlardır. Materyal üç farklı nem oranında %45, 65 ve 75 oranlarında seçilmiş, biyolojik ön işlem olarak Flammulina velotipes isimli mantar türü aşılanmıştır. Denemeler 37 °C sıcaklık koşullarında cam tüplerde gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre maksimum metan üretimi %65 nem içeriğinde elde edilmiştir. Üretilen metan miktarı, ön işleme tabi tutulmayan materyalde elde edilen metan miktarına göre %134 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Kaur ve Phutela (2016) yaptıkları çalışmada çeltik samanını materyal olarak kullanmışlardır. Biyogaz üretimini artırmak için farklı sodyum hidroksit oranları ve mikrodalga ile muamele ön işlemleri denenmiştir. Hazırlanan çeltik samanları %2, 4, 6, 8 ve 10

oranlarında sodyum hidroksit içeren sıvı içerisinde 24 saat bekletilmiştir. 720 Watt gücünde 180 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile mikrodalga fırında ön işleme tabi tutulmuşlardır. Biyogaz üretimleri karşılaştırıldığında, en yüksek biyogaz üretiminin %4 NaOH ve mikrodalga ön işlemine tabi tutulmuş çeltik samanından elde edildiği saptanmıştır. Ayrıca ön işleme tabi tutulmayan çeltik samanına göre %54.7 biyogaz artışı sağlanmıştır.

Li et al., 2016 yaptıkları çalışmada Çin'de büyük bir sorun teşkil eden antibiyotik misel atıklarını kullanmışlardır. Denemelerde materyaller üç farklı sıcaklıkta (60, 80 ve 100 °C) ve üç farklı bekleme sürelerinde (0, 60 ve 120 dakika) termal ön işleme tutulmuştur. Söz konusu materyalin parçalanması için en uygun sıcaklık ve bekleme süresi daha önce tespit edilmesine rağmen bu çalışmada daha düşük sıcaklık ve alkalileştirme ön işlemleri enerji ihtiyacının azaltılması amaçlanmıştır. Deneme sonuçlarına göre 80 ve 100 °C de bekletilen materyallerin metan üretimlerinde çok büyük fark olmadığı tespit edilmiştir. Denemenin ikinci kısmında 80 °C de 60 dakika bekletilen materyalin pH değeri 11, 12 ve 13,5 olarak ayarlanarak biyogaz üretimleri tespit edilmiştir. Bu denemelerden pH değeri 12 ye ayarlanan materyalin en yüksek metan üretimine sahip olduğu saptanmıştır. Araştırma bulgularına göre 80 °C de 60 dakika bekletilip ph değeri 12 ye ayarlanan materyalin toplam metan üretimi, ön işleme tabi tutulmayan materyale göre yaklaşık %130 oranında artmıştır.

Öz ve Uzun (2015) yaptıkları çalışmada zeytinyağı fabrikası atık sularını materyal olarak kullanmışlardır. Atık sular 20 hertz frekansında farklı sürelerde (2, 4, 6, 8 ve 10 dakika) ses dalgalarına tabi tutularak, ses dalgalarına tabi tutulan ve tutulmayan materyalin biyogaz üretim miktarları tespit edilmiştir. Denemeler beç sistem olarak cam şişelerde 35±2 °C sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deneme sonuçlarına göre en etkin ses dalgası süresi 10 dakika olarak tespit edilmiştir. Sonrasında ses dalgalarına tabi tutulan ve tutulmayan materyalin denemeleri yapılmıştır. Ses dalgalarına maruz kalan materyalin hem biyogaz hem metan üretimlerin yaklaşık %20 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Xu et al., 2014 yaptıkları çalışmada fermantasyon çamurunu materyal olarak kullanarak biyogaz üretimini artırmak için dört ön işleme yöntemini

birbirleriyle kıyaslamışlardır. Bu yöntemler termal, termal ve kimyasal (alkalileştirme), kimyasal ve son olarak elektrokimyasal ön işleme metotlarıdır. Denemeler beç sistem olarak cam şişelerde 35 ± 2 °C sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir. Termal ön işlemede materyal 9 saat süresince 70 °C sıcaklık koşullarında bekletilmiştir. Termal kimyasal ön işlemede materyal 90 °C sıcaklık koşullarında, pH değeri NaOH ile 11'e ayarlanarak 10 saat bu koşullarda bekletilmiştir. Kimyasal ön işlemede materyalin pH değeri 10'a ayarlamak için NaOH kullanılmıştır. Denemeler beç sistem olarak cam şişelerde 35 ± 2 °C sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir. ve işlem 8 gün boyunca devam etmiştir. Elektrokimyasal ön işleme yönteminde ise materyal 20 voltluk elektroliz voltajında, 40 dakika elektroliz edilmiş ve elektroliz etkinliğini artırmak için materyal içine %0,6 sodyum hipoklorit (NaClO) eklenmiştir. Bu dört farklı ön işleme metoduna tabi tutulan ve hiçbir ön işleme tabi tutulmayan beş materyal denemeye alınmıştır. Deneme sonuçlarına göre en yüksek toplam biyogaz üretim miktarı elektrokimyasal ön işleme tabi tutulan materyalden elde edilmiştir. Günlük en yüksek biyogaz üretim miktarı ise sadece kimyasal ön işleme tabi tutulan materyalden elde edilmiştir.

Tsapekos et al., 2015 çalışmalarında silaj yapılmış çimi materyal olarak kullanmışlardır. Bu materyaller 6 farklı mekanik ön işleme yöntemi kullanılmıştır. Denemeler mezofilik koşullarda (54 ± 1 °C) gerçekleştirilmiştir. Mekanik ön işleme tabi tutulan materyallerin biyogaz üretimi, ön işleme tabi tutulmayan materyale göre %8-25 oranlarında arttığı saptanmıştır. En fazla biyogaz üretiminin elde edildiği (%25) metot, mekanik parçalayıcıda her iki katmanında da kalın elek kullanılan ön işleme yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

Passos et al., 2016 yaptıkları çalışmada atık su arıtma havuzlarından elde edilen mikro yosunları materyal olarak kullanmışlardır. Denemeler beç sistem olarak cam şişelerde 35 °C sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir. Biyogaz üretimini artırmak için termokimyasal ön işleme metodu denenmiştir. Materyaller 80 °C sıcaklık koşullarında 2 saat bekletilmiş içerilerine %0.5, 1.25 ve 2 oranlarında HCl ve KOH ayrı ayrı konmuştur. Ön işleme tabi edilmeyen materyal, sadece termal işleme tutulan materyal, termal işlemin ardından 3 farklı oranda HCl ve KOH konan materyaller olmak üzere toplam 8 adet reaktör

denemeye alınmıştır. Deneme sonuçlarına göre en yüksek metan verimleri, düşük dozda (%0.5) uygulanan asit ve alkali materyal ilavesiyle elde edilmiştir. Metan üretimi ön işleme tabi tutulmayan materyale göre; alkali ilavesiyle %82, asit ilavesiyle %85 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Zou et al., 2016 yaptıkları çalışmada mısır samanı ve süt sığırı gübresini materyal olarak kullanmışlardır. Materyaller ses dalgalarına tabi tutularak biyogaz üretiminin değişimi incelenmiştir. Denemede 50 kHz frekansında ve 250 W gücünde ses dalgaları kullanan bir micro temizleyici kullanılarak materyaller burada ön işleme tabi tutulmuştur. Denemeler beç sistem olarak cam şişelerde 35 ± 2 °C sıcaklık koşullarında, toplam 42 günlük veri alınarak gerçekleştirilmiştir. Mısır samanı ve süt sığırı gübreleri ayrı ayrı 20, 30 ve 40 dakika ön işleme tabi tutulmuşlardır. Materyal karışımları ön işleme tutulmayan mısır samanına 20, 30 ve 40 dakika ön işleme tabi tutulmuş sığırı gübresi ilavesi ve ön işleme tabi tutulmayan süt sığırı gübresine 20, 30 ve 40 dakika ön işleme tabi tutulmuş mısır samanı ilavesiyle oluşturulmuştur. Ayrıca ön işleme tutulmayan her iki materyal karıştırılarak bir kontrol karışımı hazırlanmıştır. Deneme sonuçlarına göre en yüksek biyogaz üretimi ön işleme tabi tutulmayan sığırı gübresine 30 dakika ön işleme tabi tutulmuş mısır silajı ilavesi yapılan karışımdan 240.32 ml/g.okm_{yük.} olarak saptanmıştır. Bu değer hiç ön işleme tabi tutulmayan materyal karışımından elde edilen biyogaz miktarına göre (141.65 ml/g.okm_{yük.}) yaklaşık %70 daha fazladır.

Braeutigam et al., 2014, yaptıkları çalışmada tavuk gübresini materyal olarak kullanmışlar ve ses dalgalarının farklı sürelerde uygulanmasının sonuçlarını araştırmışlardır. Ses dalgalarıyla ön işlem için 24 kHz frekansına sahip 200 W gücünde ses dalgaları üreten bir jeneratör kullanılmıştır. Denemeler 38 °C sıcaklık seviyesinde, 300 ml hacimli cam tüplerde beç sistem olarak yapılmıştır. Denemelerde ön işleme tabi tutulmayan, ses dalgalarına 1 ve 2 dakika süre ile ön işleme tutulan tavuk gübrelerinin kimyasal yapıları ve ürettikleri metan miktarları tespit edilmiştir. Bu denemede en etkin sürenin 2 dakikalık ön işlem süresi olduğu ve bu sayede toplam biyogaz üretiminin ve toplam metan üretiminin ön işleme tabi tutulmayan materyale göre sırasıyla %41 ve %46 arttığı saptanmıştır. Ses

dalgaları uygulamasının enerji ihtiyacını 0.08-0.25 kWh/kg.okm kadar artırdığı tespit edilmiştir. Yapılan enerji bilançosuna göre ses dalgaları uygulaması net olarak her bir kilogram organik kuru madde başına 0.69 kWh enerji artışı sağladığı yapılan hesaplamalarla ortaya konmuştur.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Günümüzde insan, hayvan ve tarımsal aktivitelerden oluşan organik atıklar her geçen gün hızla artarak, çevresel bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Organik atıkların kontrolsüz depolanması ya da direk doğaya bırakılması ise çevresel problemlerin artmasına neden olmaktadır. Organik atıkların doğaya zararsız bir şekilde geri dönüşümünün sağlanması için biyogaz teknolojisi alternatif çözüm yollarından bir tanesidir. Organik atıkların daha faydalı hale getirilmesi yanında enerji de elde edilmesi biyogaz teknolojisinin organik atık bertarafında daha çok tercih edilme sebeplerinden biridir. Özellikle gelişmiş ülkelerde merkezi biyogaz tesislerinin kurularak faaliyete geçmesi ve ürettikleri enerjinin hükümetler tarafından teşvik edilerek sübvansede edilmesi bu teknolojinin yayılmasında itici bir güç olmuştur. Biyogaz tesislerinin yaygınlaşmasıyla birlikte biyogaz üretiminde kullanılacak materyallerinde çeşitlenmesi söz konusu olmuştur. Fakat bazı organik atıkların kimyasal yapılarından dolayı ayrışması ve parçalanması çok zordur. Bu ise enerji üretiminin

azalmasına sebep olur. Bundan dolayı ayrışması zor organik atıkların parçalanmasını kolaylaştırmak için farklı ön işlemler uygulanır. Uygulanan bu ön işlemlerdeki temel amaç organik maddenin yapısında bulunan ayrışması zor yapının bağlarının kırılarak ya da zayıflatılarak ayrışmasını ve metan bakterilerinin kullanabileceği forma getirilmesidir. Araştırmacılar bu konuda birçok çalışma yaparak farklı alternatifleri denemişlerdir. Yapılan çalışmalardaki genel amaç hem ayrışması zor organik atıkların parçalanmasını kolaylaştırarak çevresel zararlarını en aza indirmek, hem de enerji üretimini artırmaktır. Yapılan çalışmalarda tespit edilen ortak nokta, ön işleme tabi tutulan materyallerin hepsinde biyogaz üretimlerinin arttığıdır. Seçilen uygun ön işleme metodu ile enerji bilançosunda, net enerji üretim miktarının arttığı saptanmıştır.

Biyogaz teknolojisi tüm dünyada tercih edilen organik atık bertaraf yöntemlerinden birisidir. Ülkemizde de yavaş yavaş bu konuda sevindirici gelişmeler yaşanmaktadır. Ülkemizde oluşan ve değerlendirilemeyen organik atıkların bu tesislerde işlenebilmesi söz konusudur. Özellikle tarımsal faaliyetlerden oluşan organik atıkların selüloz ve lignin içerikleri yüksek olduğu için bunların değerlendirilmesinde ön işlemlere gerek duyulabilir. Ön işlemlerde atık cinsine bağlı olarak en ekonomik, en uygun yöntemin saptanması ve uygulanması enerji üretiminin artırılması açısından önemlidir.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Braeutigam, P., Franke, M., Ondruschka, B., 2014. Effect of Ultrasound Amplitude and Reaction Time on The Anaerobic Fermentation of Chicken Manure for Biogas Production, *Biomass and Bioenergy* 63: 109-113
- Hesami, S.M., Zilouei, H., Karimi, K., Asadinezhad, A., 2015. Enhanced Biogas Production from Sunflower Stalks Using Hydrothermal and Organosolv Pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 76: 449-455
- Kaur, K., Phutela, U.G., 2016. Enhancement of Paddy Straw Digestibility and Biogas Production by Sodium Hydroxide-Microwave Pretreatment *Renewable Energy*, 92: 178-184
- Lalak, J., Kasprzycka, A., Martyniak, D., Tys, J., 2016. Effect Of Biological Pretreatment of *Agropyron Elongatum* 'BAMAR' on Biogas Production By Anaerobic Digestion. *Bioresource Technology*, 200: 194-200
- Li, C., Champagne, P., Anderson, B.C., 2015. Enhanced Biogas Production From Anaerobic Co-digestion of Municipal Wastewater Treatment Sludge and Fat, Oil and Grease (FOG) by a Modified Two-stage Thermophilic Digester System with Selected Thermo-Chemical Pretreatment. *Renewable Energy*, 83: 474-482
- Michalska, K., Bizukojć, M., Ledakowicz, S., 2015. Pretreatment of Energy Crops with Sodium Hydroxide and Cellulolytic Enzymes to Increase Biogas Production *Biomass And Bioenergy*, 80: 213-221
- Oz, N.A., Uzun, A.C., 2015. Ultrasound Pretreatment for Enhanced biogas Production from Olive Mill Wastewater. *Ultrasonic Sonochemistry*, 22: 565-572
- Passos, F., Felix, L., Rocha, H., Pereira, J.O., Aquino, S., 2016. Reuse of Microalgae Grown in Full-scale Wastewater Treatment Ponds: Thermochemical Pretreatment and Biogas Production. *Bioresource Technology*, 209: 305-312
- Tsapekos, P., Kougias, P.G., Angelidaki, I., 2015. Biogas Production from Ensiled Meadow Grass; Effect of Mechanical Pretreatment and Rapid Determination of

Biyogaz Üretimini Arttırmada Kullanılan Ön İşlemlere Bir Bakış

- Substrate Biodegradability via Physicochemical Methods. *Bioresource Technology*, 182: 329-335
- Xu, J., Yuan, H., Lin, J., Yuan, W., 2014. Evaluation of Thermal, Thermal-Alkaline, Alkaline and Electrochemical Pretreatments on Sludge to Enhance Anaerobic Biogas Production. *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45: 2531-2536
- Zou, S., Wang, X., Chen, Y., Wan, H., Feng, Y., 2016. Enhancement of Biogas Production in Anaerobic Co-digestion by Ultrasonic Pretreatment. *Energy Conversion and Management*, 112: 226-235