

## Mikrobiyal Yakıt Hücre Teknolojisini Kullanarak Gıda Endüstrisi Atıklarından Elektrik Enerjisi Üretimi

Ayşe Şebnem ERENLER<sup>1</sup>, Esra Nezafed ÜLKE<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Dr. Öğretim Üyesi, İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, MALATYA

<sup>2</sup>Doktora Öğrencisi, İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, MALATYA

[Sebnem.erenler@inonu.edu.tr](mailto:Sebnem.erenler@inonu.edu.tr), [esraaguclu@gmail.com](mailto:esraaguclu@gmail.com)

Geliş Tarihi/Received:

09.07.2018

Kabul Tarihi/Accepted:

25.12.2018

Yayın Tarihi/Published:

27.12.2018

### ÖZ

Günümüzde gıda atıklarının çoğu; yer altı suyu kirliliğine, hastalık yapıcı organizmaların çoğalmasına ve zehirli gaz emisyonuna neden olabilecek depolama, kompost ve yakma gibi geleneksel işlemlerle bertaraf edilmektedir. Bu geleneksel yöntemlerin, sürdürülemez ve ekonomik olmaması, gıda atıklarındaki değerli besin ve enerji kaynağının tam olarak veya verimli bir şekilde kullanılmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, yüksek oranda biyolojik olarak parçalanabilen atığın, aynı anda arıtım ile enerji geri kazanımı için alternatif bir kaynak olarak kullanılması oldukça önemli bir yaklaşım olmaktadır. Mikrobiyal Yakıt Hücreleri (MYH); katalizör olarak mikroorganizmaları kullanarak gıda atıkları gibi çeşitli organik atıklardan elektrik üretimini gerçekleştirebilen sistemlerdir. Bu çalışma kapsamında; MYH'de substrat olarak gıda atıklarının kullanılması, bu şekilde gıda sanayi atıksularının arıtılması ve eş zamanlı olarak enerji geri kazanımı amaçlanmıştır. Çalışmada; gıda sanayi atıksuları olarak Melas, Peynir altısu (PAS), Zeytin Karasuyu (ZKS) ve özel olarak tasarladığımız MYH kullanılarak elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Atıksular arasında en yüksek verim maksimum olarak 0,54 V elektrik üretimi ile Melas'da ölçülmüştür. Literatürle kıyaslandığında elde ettiğimiz verim oldukça yüksek olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın en önemli sonucu olarak, sürdürülebilirliğin ele alındığı entegre bir yaklaşımla; gıda atıklarının önerilen sistem içinde arıtımı ile atıkları işletmeler için bir sorun olmaktan çıkarıp işletmelerin elektrik enerjisi ihtiyaçlarının yine kendi tesisleri içinde karşılanabilmesi öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık, mikrobiyal yakıt hücresi, enerji

## Production of Electrical Energy From Food Industry Wastes Using Microbial Fuel Cell Technology

### ABSTRACT

Today, most food waste is disposed of by conventional processes like composting and burning which can causing groundwater pollution, multiplication of disease-causing organisms and toxic gas emissions. This scope of work; The use of food wastes as a substrate in Microbial Fuel Cell (MYH) is aimed at the treatment of food wastes and energy recovery. In the study, electricity production with MYH, which we designed using molasses, whey and olive mill waste water as food waste, has been successfully accomplished. Molasses was also measured with a maximum production of 0,54 V electricity generation among the wastewater. In this study, with an integrated approach to sustainability, it is foreseen that the electricity needs of the enterprises can be met within their own facilities by eliminating the waste from the system and eliminating the problems in the system.

**Keywords:** Waste, microbial fuel cell, energy

## 1. GİRİŞ

Gıda sanayi atıkları, dünyanın en çok üretilen biyoatıklarındandır (Gustavsson vd., 2011). Tipik olarak, gıda sanayi atıkları/atıksuları yönetilmesi zor olan, ancak alternatif bir biyoenerji kaynağı olarak kullanılmak üzere yüksek organik fraksiyonlara sahip olan katı/sıvı maddelerdir (EPA, 2011). Ülkemizde gıda endüstrisi fabrikalarından açığa çıkan atık tipleri daha gelişmiş ülkelerdeki gıda endüstrisi atık tipleriyle eşdeğerdir. Ülkemizde, gıda endüstrisi atıkları başka tür sanayi atıklarının yüzde yirmisini oluştururken, gıda endüstrisi atık suları bu başka tür sanayi atıklarının yüzde dokuzunu temsil etmektedir (Zanbak, 2002; www.tuik.gov.tr, 2007). Fabrikalarda gıda üretimi esnasında meydana gelen atıkların verimli bir şekilde değerlendirilmesi, yalnızca çevre kirliliğinin önlenmesi açısından değil ekonomik yönden de büyük katkılar sağlayacaktır. Önümüzdeki dönemlerde nüfus artışına paralel olarak gıda işleme fabrikalarının sayısının da artacağı düşünülürse, buna bağlı olarak da atık problemlerinin artacağı söylenebilir (Yağcı vd., 2006).

Bu atıklar zehirli olmayan maddeler olarak nitelendirilebilirler. Çünkü sayılı miktarda tehlikeli madde içerirler ve diğer endüstriyel atıksularla karşılaştırıldıklarında, yüksek BOD (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı)'a sahiptirler ve içlerindeki organik maddelerin çoğu basit şekerler ve nişastadan oluşmaktadır (Speece, 1996). Deşarj düzenlemelerinin artırılmasından ve kamuya ait arıtma çalışmalarının maliyetinin yükselmesinden dolayı birçok gıda işleme endüstrisi atıksularını boşaltmadan önce azaltmaya, geri dönüştürmeye veya arıtmaya yönelik adımlar atmaktadırlar (McIlvaine, 2003). Bu atıksular için, arıtma maliyetleri çok yüksek olmaktadır bu nedenle ya arıtma maliyetlerini azaltmak ya da atıksulardan başka ürünler sağlamaya yönelik yöntemlere büyük ilgi vardır. Temiz bir gelecek vaat eden teknoloji; atık su arıtımını MYH teknolojisi ile ilişkilendirmektedir (Hussy vd., 2005:5; Khanal vd., 2004:11; Oh vd., 2003:22).

**Zeytin Karasuyu;** Zeytinyağı üretimi sonucunda, kullanılan sisteme bağlı olarak değişen miktarlarda oluşan atıksudur. Karasu, asidik pH'lıdır ve yüksek organik madde içermektedir. Karasuyun içeriğinde bulunan aromatik maddelerden, basit ve kompleks yapıdaki şekerlerden dolayı önemli ve yüksek bir enerji kaynağı olarak kullanımı mümkündür. Ayrıca sahip olduğu zengin içerikten dolayı mikroorganizmalar için uygun bir besiyeri olduğu da bilinmektedir (Sobhi vd., 2007). Bu nedenlerle, karasuyun Mikrobiyal Yakıt Hücre (MYH) Teknolojisinde substrat olarak kullanılabilmesi düşünülmüştür.

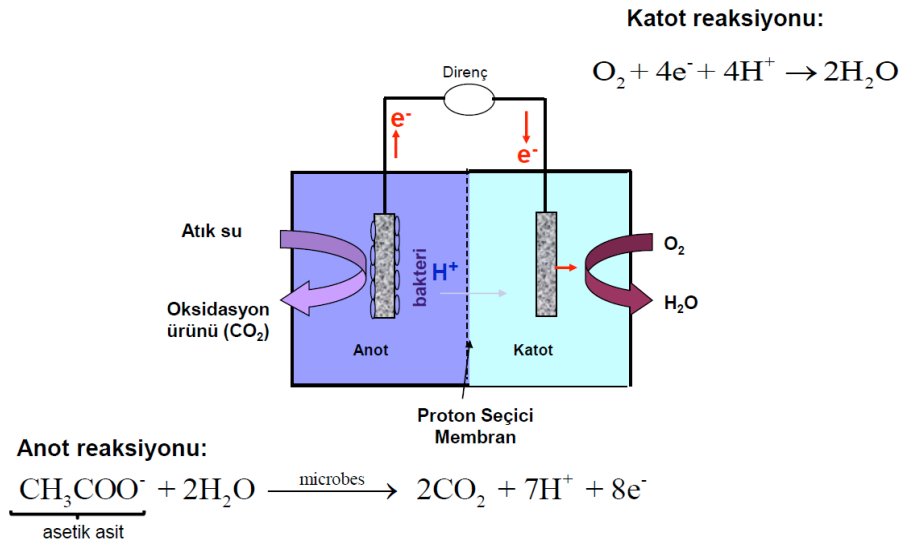
**Melas;** Gıda endüstrisinde yaygın olarak üretilen bir tür organik atıksudur. Bu atık sular; şeker, pektin ve protein gibi yüksek konsantrasyonlarda organik maddeler içerir ve doğrudan nehirlere bırakıldığında yüksek miktarda çözünmüş oksijen tüketir bu durum suların kötü kokmasına neden olur ve su kalitesini bozar (Satyawali ve Balakrishnan, 2008:86). Melas; yüksek organik yüklem (OL) ve yoğun kromaja sahip olduğundan ve biyolojik olarak parçalanabildiğinden organik kirletici maddelerin uzaklaştırılması için biyolojik arıtma yöntemleri uygulanabilir (Mischopoulou vd., 2016:96; Onodera vd., 2013:131; Tsiptsias vd., 2016:183).

**Peyniraltı suyu;** Laktoz (4.5-5 (%), ağırlık/hacim), çözünebilir proteinler (0.6-0.8 (%)), lipidler (0.4-0.5 (%), ağırlık/hacim) ve madensel tuzlar (kuru ekstreinin 8-10 (%)'u) gibi besin öğelerini içeren ve toplam süt hacminin % 85 ila 95'ini oluşturan peynir üretim endüstrisinin laktoz açısından zengin, sulu yan ürünüdür (Gonzalez, 1996:57). Yüksek organik içeriği nedeniyle peyniraltı suyunun giderilmesi, laktozun yüksek COD değerlerinden sorumlu olmasından dolayı ciddi bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle MYH'lerde peyniraltı suyunun arıtılması önemli bir yaklaşımı temsil etmektedir (Antonopoulou vd., 2010:50).

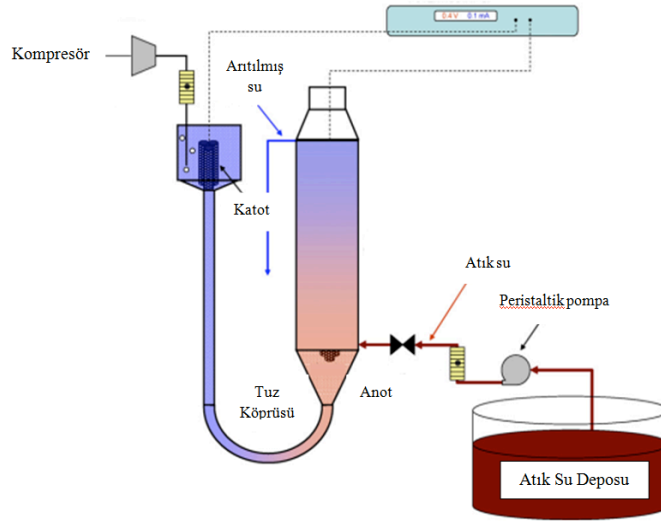
MYH'ler, genellikle, organik atıklarda mevcut olan kimyasal enerjiyi mikroorganizmalardan faydalanarak elektrik enerjisine dönüştüren sistemler olarak ifade edilmektedir [Gezginci, 2013:48; Taşkan, 2013:271]. Tipik olarak bir MYH; anot ve katot olarak isimlendirilen iki bölümden ve bu

bölmeleri birbirinden ayırmaya yarayan bir proton dönüştürücü zar dan meydana gelmektedir. Anot bölümüne entegre edilen mikroorganizmalar bu bölümdeki organik maddeleri indirgeyerek açığa elektron ve proton çıkışı sağlamaktadırlar. Bu bölümde açığa çıkan elektronlar, sisteme kombine edilen bir devre aracılığıyla elektrot üzerinden katot bölümüne geçmektedirler. Proton (hidrojen) ise, proton dönüştürücü bir zar yardımıyla katot bölümüne geçerek bu bölümde oksijen veyahut farklı bir elektron alıcısı ile birleşmekte böylece de açığa su çıkmaktadır. İyi bir elektron alıcısı olan oksijenin mevcudiyeti ve + elektrik yükünü temsil eden hidrojen atomları sayesinde, anot bölümünde bulunan elektronlar katot bölümüne doğru geçmektedirler bu durum sistem devresi üzerinde bir elektrik akımı meydana getirmektedir (He ve Angenent, 2006:18; He vd., 2008:74; Mohan vd., 2008:33). MYH'ler; yeşil, güvenli, temiz ve herhangi bir organik atığı elektriğe dönüştüren direkt bir kaynak olarak kabul edilmektedirler (Li vd., 2016:205; Rikame vd., 2012:75). Son zamanlarda, MYH'lerde biyoelektriğe dönüşüm için çeşitli substratların kullanımı dikkat çekmiştir. Bunlardan bazıları sodyum asetat, glikoz ve sakaroz (Ulusoy ve Dimoglo, 2018:43), çöp sızıntısı (Nguyen vd., 2017:42; Sonawane vd., 2017:42), makroalg (Gebresemati vd., 2017:42), sentetik atıksu (Sobieszuk vd., 2017:371), inek idrarı (Jadhav vd., 2016:113), asetatla desteklenmiş aktif atık çamuru (Gajda vd., 2018:144) karışık mutfak atıkları, süt endüstrilerinden elde edilen peynir altısu, balıkçılık artıkları ve narenciye suyu üretiminden elde edilen posa atıklarıdır (Colombo vd., 2017:42). Diğer taraftan, gıda atıkları ise yüksek biyo-bozunabilirlik özellikleri ve yüksek enerji içerikleri sayesinde biyoelektrik üretimi için potansiyel substratlar haline gelmişlerdir (Goud vd., 2011:36).

Aşağıdaki şekillerde gıda atık su arıtımında kullanılabilir iki bölmeli bir MYH şematize edilmiştir (Liu ve Logan, 2004:38) ve gıda işleme tesislerindeki arıtım sistemine ne şekilde uyarlanabileceği tasvir edilmiştir (Rodrigo vd., 2007:169):



**Şekil 1:** Gıda atık arıtımında kullanılabilir iki bölmeli bir MYH (Liu ve Logan, 2004:38)



**Şekil 2:** Gıda atık su arıtım tesislerine entegre edilebilecek MYH şematığı (Rodrigo vd., 2007:169)

Gıda atık su arıtım sistemine entegre MYH Sisteminde: Atık su; pompalar vasıtasıyla anot bölümüne gönderilir. Alttan besleme yapıldığında elektronlar tuz köprüsü ile katot bölümüne geçerken berraklaşan su, reaktörün üst kısmından toplanır. Anot bölümü anaerobik bir ortam iken, aerobik olması gereken katot bölümüne hava beslenir.

Gıda sanayi atıksuları çalışmalarımız için, yukarıdaki şemaya uygun bir MYH'si tasarımı yapılmıştır. Gıda sanayi atıklarının ortaya çıkaran yöntem steril koşullarda gerçekleşmediği için içinde mikroorganizma varlığı ihtimal dahilindedir. Çalışmamızda gıda atıklarında bulunan mikrobiyal topluluk uzaklaştırılmadan ilaveten atık sulara rekombinant bakterilerimiz de inoküle edilerek kültivasyonları sağlanmıştır. Literatür de, karışık mikroorganizma kültürlerinin MYH sistemlerinde daha verimli olduğu bildirilmiştir. Deneylerimizde modellemesi projeye uygun olarak yapılmış özgün bir mikrobiyal yakıt hücresi ile çalışılmıştır. Bu çalışmada; önemli gıda endüstrisi atıklarından olan melas, zeytin kara suyu ve peynir altı suyu, tasarlanan MYH'sinde değerlendirilerek arıtmaları sağlanmış ve eş zamanlı olarak elektrik enerjisi üretimi amaçlanmıştır. Diğer taraftan MYH teknolojisi ile katot bölümüne aktarılan hidrojen iyonlarının oksijen ile birleşmesi sonucu açığa su çıkmaktadır. Böylece bu teknoloji ile sağlanan arıtım sonucu açığa çıkan temiz su da sulama suyu olarak değerlendirilebilir ki bu da çalışmamızın bir başka avantajlı yönünü vurgulamaktadır. Kurulan sistem sayesinde; gıda atıklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesi sağlanarak işletmeler için atık arıtımı maliyetinin azaltılması hedeflenmiştir. Yaptığımız sistemin, ileriki aşamalarda büyük ölçekli uygulamalara uyarlanması sayesinde, gıda işletmelerinin, arıtmadan kaynaklı sorunlarına katkı sağlanabileceği ve aynı zamanda, işletmelerin elektrik ihtiyaçlarının yine kendi bünyesi içerisinde sağlanması öngörülmektedir.

Çalışmamızda; gram negatif bir bakteri olan *Enterobacter aerogenes* bakterisinin patojen olmayan *Vitreoscilla* hemoglobin genini (*vgb*) taşıyan rekombinant suşu [pUC8:15] kullanılmıştır. Mikroorganizmaların açığa çıkarttığı proton oranının üretecekleri elektrik enerjisi miktarıyla doğrusal yönde orantılı olduğu belirtilmektedir. Entegre edildiği sistemlerde *vgb* geninin organizmaların trikarboksilik asit döngüsünü daha verimli olarak kullanmasını sağladığı buna dayalı olarak da bu organizmalarda ATP sentezinin daha yüksek olduğu bilinen bir durumdur. Bu durumun nasıl işlediği kesin olarak çözülmemiş olmasına rağmen, bu mekanizmayı, *vgb*'nin  $NAD^+$  ve  $NADH$  oranlarını önemli ölçüde değiştirerek sağladığı tahmin edilmektedir (Roos vd., 2004:114). *vgb*<sup>+</sup> bakteriler, yüksek enerji verimlilikleri sebebiyle fermentasyon yöntemiyle hidrojen üretiminde ve dolayısıyla da alternatif enerji üretiminde çokça tercih edilen mikroorganizmalardandır (Erenler, 2007). Sözü edilen bu avantajlar sayesinde *vgb*'nin entegre edildiği bakterilerin, MYH sistemine birçok fayda kazandıracağı gayet açıktır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Çalışmada Kullanılan Gıda Endüstrisi Atık Suları

Kullanılacak ham gıda atık suları öncelikle su ile seyreltilerek (Melas için; %1 w/v, PAS ve ZKS için; %10 v/v) pH'ları 7'e ayarlanmıştır.

#### 2.1.1. Zeytin Karasuyunun Hazırlanması

Çalışmamızda; Zeybekler Zeytinyağı İşletmesi-Muğla(Milas)'dan temin edilen Zeytin Karasuyu kullanılmıştır. Alınan Zeytin Karasuyu örnekleri, 20 ml'lik erlenlere bölünüp deneyler boyunca örnekler 4°C'da muhafaza edilmiştir. Zeytin Karasuyunun bileşen bilgisi Tablo 1.'de verilmektedir (www.kimyakongreleri.org, 2008)

**Tablo 1.** Zeytin karasuyunun bileşenleri (g L<sup>-1</sup>) (www.kimyakongreleri.org, 2008)

BİLEŞEN	YAKLAŞIK MİKTAR
Ph değeri	4.9-6.5
Yağ içeriği (mg /L)	1300
Biyolojik O <sub>2</sub> ihtiyacı (mg/L) (* 10 <sup>-3</sup> )	15-120
Kimyasal O <sub>2</sub> ihtiyacı (mg/L) (* 10 <sup>-3</sup> )	30-150
Şeker oranı (%)	2-8
Azot oranı (%)	0,5-2,0
Organik Asit oranı (%)	0,5-1,5
Polialkol miktarı	1-1,5
Pektin-tannin miktarı	1-1,5
Polifenol miktarı (g/L)	1,5-2,4
İnorganik içerik (%)	1,5-2

#### 2.1.2. Peynir Altısuyunun Hazırlanması

Çalışmamızda; Hakkatapan Süt Ürünleri-(Malatya)'dan temin edilen Peynir Altısuyu kullanılmıştır. Alınan atık su örnekleri, 20 ml'lik erlenlere bölünüp deneyler boyunca örnekler 4°C'da muhafaza edilmiştir. Peynir altı suyunun bileşen bilgisi Tablo 2.'de verilmiştir ().

**Tablo 2.** Peynir Altısuyu bileşenleri (g L<sup>-1</sup>) (Güçlü, 2013)

<b>BİLEŞEN</b>	<b>YAKLAŞIK MİKTAR</b>
<b>Kuru öz oranı (%)</b>	<b>3.695</b>
<b>Su oranı (%)</b>	<b>96.30</b>
<b>Yağ oranı (%)</b>	<b>0.1</b>
<b>Yağsız Kuru öz oranı (%)</b>	<b>3.595</b>
<b>Asidite oranı (%)</b>	<b>0.334</b>
<b>pH oranı (%)</b>	<b>5.10</b>
<b>Protein oranı (%)</b>	<b>0.880</b>
<b>Kül oranı (%)</b>	<b>0.469</b>
<b>Laktoz oranı (%)</b>	<b>3.60</b>
<b>Azot oranı (%)</b>	<b>0.137</b>
<b>Fosfor oranı (ppm)</b>	<b>36.30</b>
<b>Demir oranı (ppm)</b>	<b>0.820</b>
<b>Çinko oranı (ppm)</b>	<b>4.316</b>
<b>Mangan oranı (ppm)</b>	<b>0.70</b>
<b>Magnezyum oranı (ppm)</b>	<b>41.75</b>
<b>Potasyum oranı (ppm)</b>	<b>948.5</b>
<b>Kalsiyum oranı (ppm)</b>	<b>280.4</b>
<b>Sodyum oranı (ppm)</b>	<b>233.8</b>

### 2.1.3. Melas Hazırlanması

Çalışmamızda; Şeker Fabrikası-(Malatya)'dan temin edilen Melas kullanılmıştır. Alınan melas örnekleri, 20 ml'lik erlenlere bölünüp deneyler boyunca örnekler 4°C'da muhafaza edilmiştir. Melas'ın bileşen bilgisi Tablo 3.'de verilmektedir (Güçlü, 2013).

**Tablo 3.** Melas bileşenleri (g L<sup>-1</sup>) (Güçlü, 2013)

<b>BİLEŞEN</b>	<b>YAKLAŞIK MİKTAR</b>
Amonyum sülfat	5
Sodyum sülfat	4.13
Potasyum fosfat	25.993
Kalsiyum klorür	2.8
Magnezyum sülfat heptahidrat	0.7
Demir sülfat mono hidrat	0.040
Mangan sülfat mono hidrat	0.017
Çinko sülfat mono hidrat	0.021
Bakır sülfat pentahidrat	0.00152

Pepton	2.67
Borik asit	0.01
Pantotenik asit	0.0010
İnosit	0.125
Pridoksin	0.006
Biotin	0.00025

## 2.2. Çalışmada Kullanılan Bakteriler ve Muhafaza Koşulları

Deneylerde *E.aerogenes* bakterisinin patojen olmayan *vgb* rekombinantı olan *E.a* [pUC8:15] kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan plazmid (pUC8:15) kaynağı; Peoria'daki USDA kültür koleksiyonundan elde edilen *Enterobacter aerogenes* (NRRL B-427)'dir. Plazmid (pUC8:15); 2.4-kb *Vitreoscilla* genomik fragmenti üzerindeki *vgb* genini taşımaktadır.

Çalışmada kullanılan rekombinant bakterilerden, ayda bir LB (Luria Bertani) petri kaplarına bir öze yardımıyla ekim yapılarak optimum büyümeye ulaştığı saate (laboratuvarımızda daha önceki yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir) kadar etüvde üremeleri sağlanmış ve bu saat sonunda petri kaplarının etrafı parafilm ile sarılarak 4 °C'de saklanmıştır. Tüm çalışma boyunca bu stoklardan kullanılmıştır.

## 2.3. Çalışmada Kullanılan Çözeltiler

Deneyler boyunca kullanılan çözeltiler aşağıda verilmiştir:

**Tablo 4.** Sodyum Fosfat Tamponu (pH 7, 0.2 M)

Sodyum monohidrojen fosfat	3.561 g - 100 mL
Sodyum dihidrojen fosfat	3.121 g - 100 mL

Sodyum monohidrojen fosfat karışımından 38 mL alınır, Sodyum dihidrojen fosfat karışımından ise 12 mL alınıp 50 mL'lik bir tampon oluşturulur.

**Tablo 5.** Metilen Mavisi

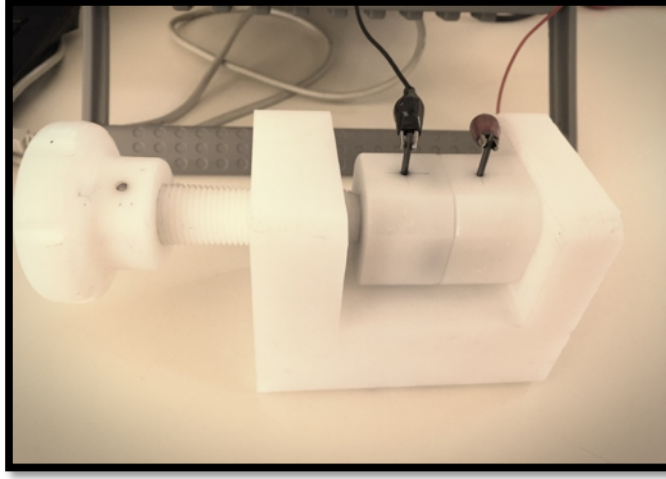
Metilen mavisi	0.375 g/ 25 mL
----------------	----------------

**Tablo 6.** Potasyum Ferrisiyanid Çözeltisi (0.02 M)

Potasyum ferrisiyanid	0.65 g/100 mL
-----------------------	---------------

## 2.4. Çalışmada Kullanılan MYH

Çalışmamızda; tasarımı ve modellemesi ekibimiz tarafından gerçekleştirilen, toplam 10 mL'lik hacim kapasitesine sahip bir MYH kullanılmıştır.



Şekil 3. Çalışmamızda kullanılan MYH

### 2.5. Çalışmada Kullanılan Elektrotlar ve Membran

- Elektrot olarak karbon elektrot kullanılmıştır.
- MYH bölmelerini birbirinden ayıracak olan proton dönüştürücü membran olarak ise "Nafion 211 membran (30×30 cm ebatında)" kullanılmıştır.

### 2.6. Çalışmada Kullanılan MYH Sistemi

Laboratuvarımızda daha önceden oluşturulan rekombinant bakteriler yukarıda belirtilen gıda endüstrisi atık sularına inoküle edilip etüvde gece boyunca çoğalmaları sağlanmıştır.

#### 2.6.1. MYH'nin Anot Bölmesi

- pH dengeleyici unsur olarak; Sodyum fosfat tamponu (~ 1.2 mL)
- Medyator olarak; Metilen mavisi (~ 1.2 mL)
- Bakteri kültürü (Yukarıda belirtilen gıda endüstrisi atık sularında üreyen kültürden ~ 2.3 mL)

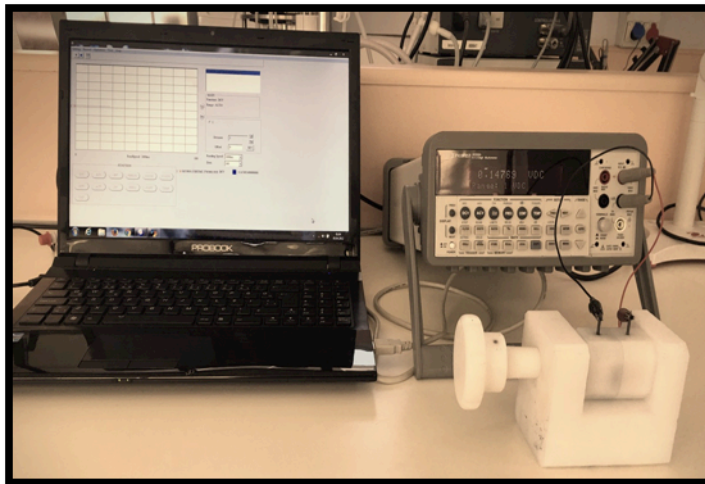
#### 2.6.2. MYH'nin Katot Bölmesi

Bu bölmede; medyator olarak potasyum ferrisiyanid solüsyonu kullanılmıştır (~ 4.5 mL).

Anot ve katot bölmeleri belirtildiği şekilde doldurularak toplam hacim ~ 10 mL'ye tamamlanmıştır ve tüm ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. ( $23 \pm 3^\circ\text{C}$ ).

### 2.7. MYH Sisteminde Üretilen Voltaj Değerinin Ölçülmesi

Rekombinant bakterilerin organik maddeleri oksidasyonu ile üretilen voltaj miktarı, Picotest markasına ait M3500A 61/2 tipi dijital bir multimetre ile ölçülmüştür, her saat başı ölçülen veriler 24 saat boyunca kaydedilmiştir, daha sonra bu veriler "Excel" programından yararlanarak bir grafiğe dönüştürülmüştür.



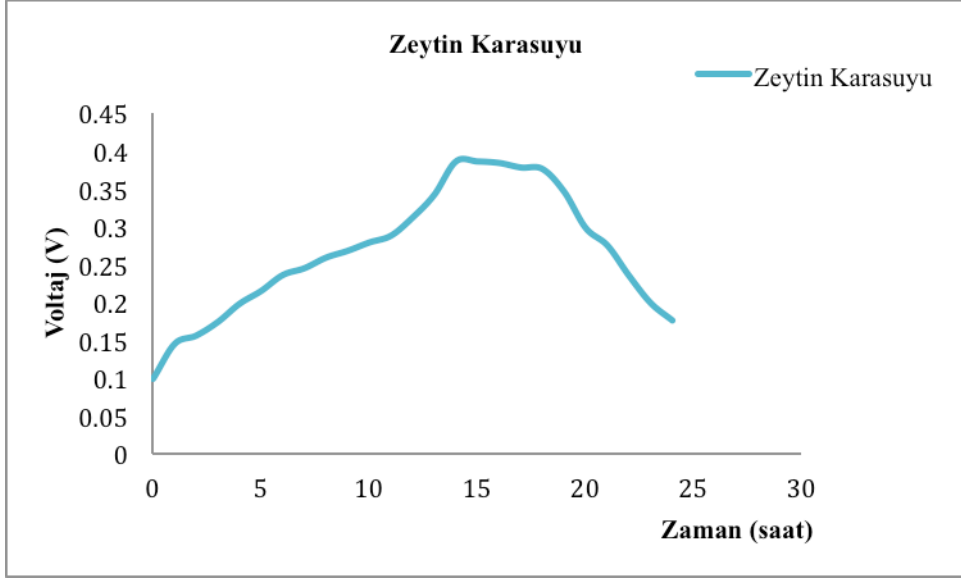
Şekil 4. Çalışmada kullanılan multimetre sistemi



### 3. BULGULAR

Tüm ölçüm deneyleri üç tekrarlı yapılmış olup, üç tekrarın ortalaması alınarak grafik çizimleri yapılmıştır.

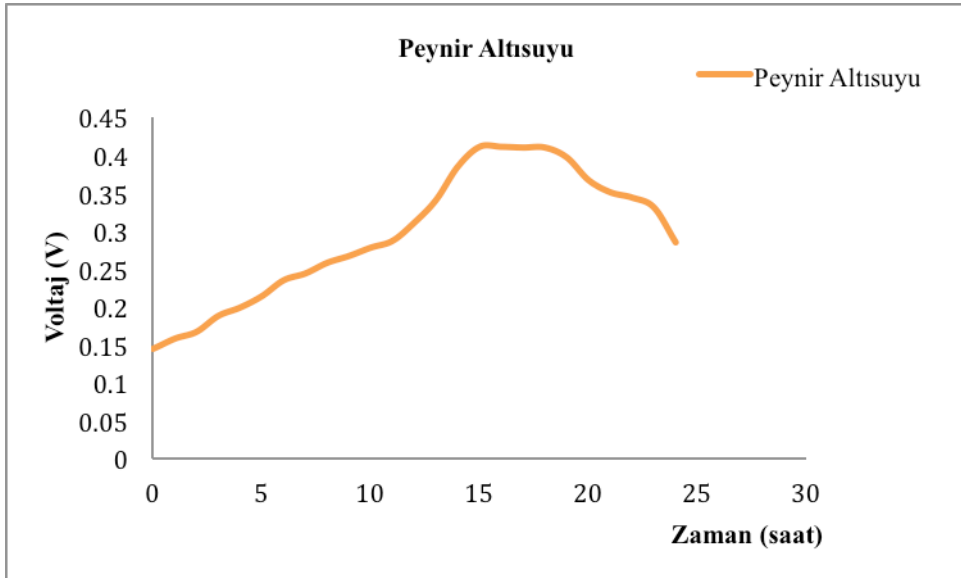
#### 3.1. Zeytin Karasuyu ile Beslenen MYH'de Elektrik Üretimi



Şekil 5. Zeytin karasuyu ile beslenen MYH'de Zaman-Voltaj grafiği

Grafikte; zamana karşı voltajın belirli bir süre boyunca arttığı bir süre sonra sabit kaldığı 24. saatin sonlarına doğru ise düştüğü gözlenmektedir. Zeytin Karasuyu ile yapılan çalışma sonucu maksimum olarak **0.38 V** güç üretilmiştir.

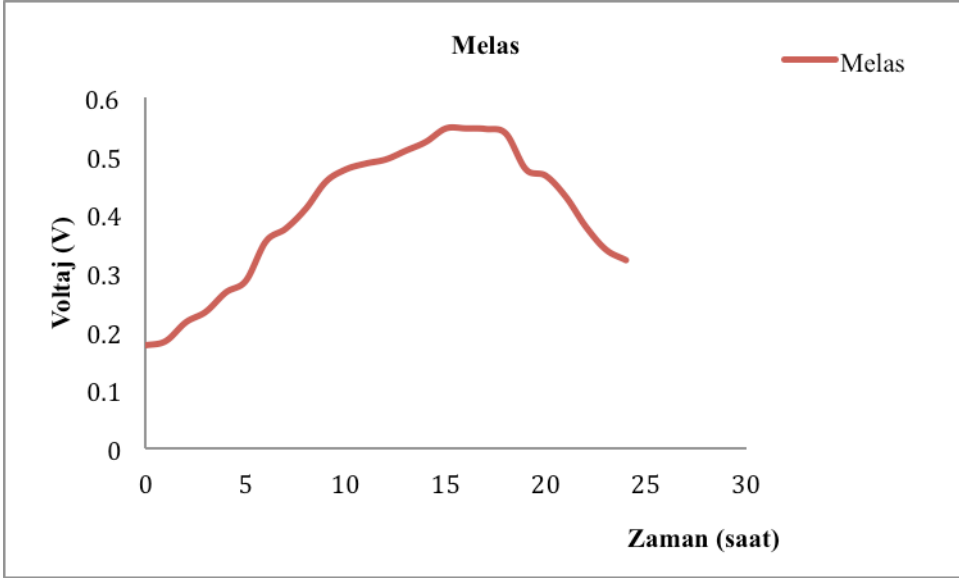
#### 3.2. Peynir Altısuğu ile Beslenen MYH'de Elektrik Üretimi



Şekil 6. Peynir Altısuğu ile beslenen MYH'de Zaman-Voltaj grafiği

Grafikte; zamana karşı voltajın belirli bir süre boyunca arttığı bir süre sonra sabit kaldığı 24. saatin sonlarına doğru ise düştüğü gözlenmektedir. Peyniraltı suyu ile yapılan çalışma sonucu maksimum olarak **0.41 V** güç üretilmiştir.

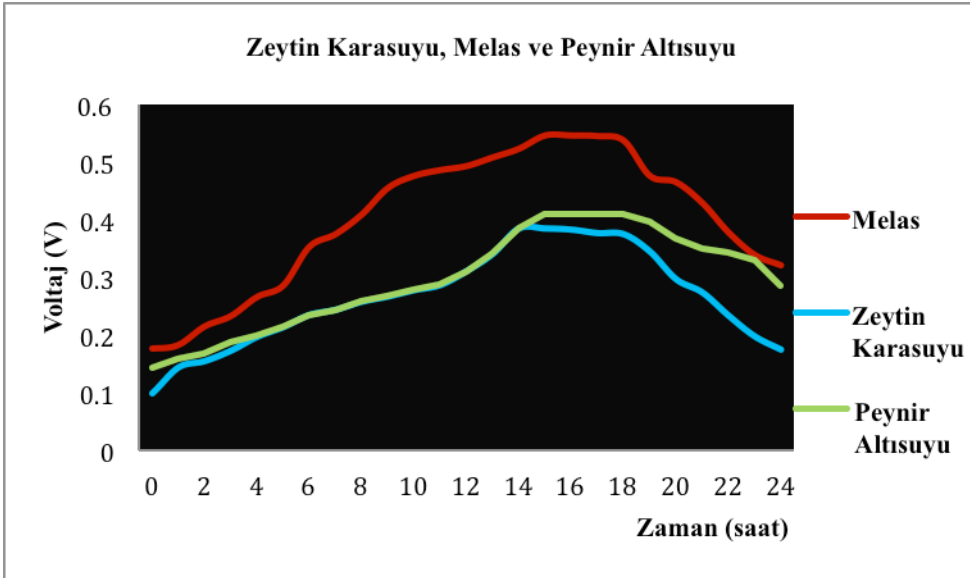
### 3.3. Melas ile Beslenen MYH'de Elektrik Üretimi



Şekil 7. Melas ile beslenen MYH'de Zaman-Voltaj grafiği

Grafikte; zamana karşı voltajın belirli bir süre boyunca arttığı bir süre sonra sabit kaldığı 24. saatin sonlarına doğru ise düştüğü gözlenmektedir. Melas ile yapılan çalışma sonucu maksimum olarak **0.54 V** güç üretilmiştir.

### 3.4. Üç Gıda Endüstrisi Atık Suyu ile Beslenen MYH'de Elde Edilen Voltaj Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 8. Zeytin Karasuyu, Peynir Altısuyu ve Melas ile beslenen MYH'de Zaman-Voltaj karşılaştırma grafiği

Grafik incelendiğinde; en yüksek voltaj verimi Melas'da gözlenmiştir.

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüzde, küresel ekonomik kalkınma ve nüfus artışı ile birlikte gıda sanayisi hızla gelişmiş ve açığa çıkan atık miktarı da önemli ölçüde artmıştır. Birçok ülkede, basit geri dönüşümün ardından gıda sanayi atıkları yakılarak veya doğrudan katı atık depolama sahasına gönderilerek bertaraf edilmeye çalışılmaktadır. Ancak, bu tür uygulamaların çeşitli dezavantajları vardır. Örneğin, yakma; tehlikeli derecede gaz ve kül üreten yüksek enerji yoğunluklu bir işlemdir. Öte yandan, arazi ve yeraltı sularının potansiyel kirlenmesi ve sınırlı arazi mevcudiyeti nedeniyle depolama da uygun bir seçenek olarak görülmemektedir. Ayrıca yakma ve depolama yoluyla hiçbir kaynak ve enerji geri alınamaz, yani geridönüşümden uzak yöntemlerdir. Bu nedenle, gıda atık yönetimi için çevre dostu ve ekonomik olarak uygulanabilir yaklaşımlar olarak kabul edilemezler. Diğer taraftan, gıda atıklarından kompostlaştırma ve biyoyakıt üretimini geliştirmeye yönelik çabalar sürmektedir (Koch vd., 2015:137; Ma vd., 2017:206;

Nicholson vd., 2017:228). Ancak biyoyakıt ayrıştırma ve arıtma işlemleri geniş uygulama alanları için yüksek maliyet gerektirmektedir. Gıda atıklarının yavaş şekilde oluşan kompostlarının ise kompostun düşük değeri, sera gazı emisyonları (örneğin amonyak ve azot oksit) ve nitrat sızdırma gibi nedenlerle büyük bir pazar potansiyeline sahip olamayacağı da bilinen bir gerçektir (Adhikari vd., 2008:28; Nicholson vd., 2017:228). Tüm bu nedenler araştırmacıları atık maddeyi ara aşama olmaksızın doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen MYH' ler hakkında kapsamlı araştırmalar yapmaya yönlendirmiştir (Adekunle vd., 2017:356; Li vd., 2014:7). MYH' lerde, biyoelektrik üretimi; organik madde ve elektron transfer verimliliğinin biyodegradasyon etkinliği ile belirlenmektedir (Song vd., 2015:108). Aslında, MYH'lerin performansı, anot üzerinde yeterli anodik bakteri varlığında daha da geliştirilebilir veya arttırılabilir (Ge ve He, 2016:2). Bu nedenle, bu çalışma; daha etkin bir hidroliz ile hidrojen üretimini buna bağlı olarak da daha verimli bir şekilde enerji üretimini gerçekleştirebilecek rekombinant mikroorganizma kullanılarak, gıda atık yönetimi için bütünsel bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmamızda kullanılan, *vgb* geninin entegre edildiği rekombinant bakterilerin yabancıl tiplere kıyasla yaklaşık olarak 10 kat daha fazla oksijen alım kapasitesine sahip oldukları ve bu hücrelerin daha oksitlenmiş halde buldukları rapor edilmiştir (Tsai vd., 1996:49; Zhang vd., 2002:214). *vgb*<sup>+</sup> rekombinant bakterilerin daha oksitlenmiş durumda olmalarının nedeninin; solunum zincirlerinde yer alan trikarboksilik asit gibi metabolik yolları daha etkin kullanarak daha verimli bir solunum gerçekleştirmelerine dayalı olabileceği açıklanmıştır (Tsai vd., 1996:49). Bu bilgiden yola çıkarak; *vgb*<sup>+</sup> rekombinant bakterilerin yabancıl tiplerine oranla daha yüksek bir düzeyde ATP enerjisi üretimine sahip oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca metabolik yol açısından da *vgb*'nin bir etkisi; bu genin entegre edildiği bakterilerin pentoz fosfat yoluna yönleneren daha yüksek hücre yoğunluğuna ulaşmalarıdır (Erenler, 2007). *vgb*'nin bakteriler üzerinde sağladığı tüm bu avantajlar sayesinde, sisteme entegre *vgb*<sup>+</sup> rekombinant bakterilerin, diğer türlere kıyasla daha yüksek bir hücre yoğunluğuna erişerek buna bağlı olarak da daha fazla elektron ve proton üretimini gerçekleştirerek MYH sisteminin verimini oldukça arttıracığı ve enerji verimliliği çalışmalarına oldukça katkı sağlayacağı açıktır.

Çalışmamızda kullanılan Melas, Zeytin Karasuyu ve Peynir altısuyu ile etkili ve verimli bir elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Melas ile yaptığımız denemelerde maksimum olarak 0,54 V elektrik üretilmiştir. Literatüre göre çalışmamızdan elde ettiğimiz verim oldukça iyi bir düzeyde bulunmuştur. Literatürde Melas ile beslenen bir MYH çalışmasında; büyük hacimli (160 ml kapasiteli) bir MYH kullanılarak 0,5 V güç üretildiği rapor edilmiştir (Zhang vd., 2013:68). Başka bir çalışmada ise 0,28 V değerine ulaşıldığı bildirilmiştir (Öztürk ve Artan, 2017:5). Melas ile yapılan başka bir çalışmada ise 0,1 V elde edildiği belirtilmiştir (Zhang vd., 2011:86). Peyniraltı suyu ile yaptığımız denemelerde maksimum olarak 0,41 V elektrik üretilmiştir. Bu atık ile yapılan bir çalışmada; 0,23 V üretildiği belirtilirken (Antonopoulou vd., 2008), başka bir çalışmada ise; 0,02 V düzeyinde bir voltaj eldesi rapor edilmiştir (Tremouli vd., 2013:131). Çalışmamızda elde ettiğimiz güç değeri literatüre kıyasla oldukça verimli kabul edilebilir. Zeytin Karasuyu ile yapılan güç üretimine dair diğer çalışmalarda (Bermek vd., 2014:30; Sciarria vd., 2013:147) Karasu çeşitli işlemlere tabi tutularak kullanılmış ayrıca ek bileşikler de ilave edilerek verim yükseltilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalarda; maksimum 0.35 V'a ulaşılmışken Karasuyun doğrudan kaynak olarak kullanıldığı deneylerimizde ise voltajı maksimum 0.38 V'a yükseltmeyi başardık. Bu sonuç Zeytin Karasuyunun optimizasyon işlemleri sonrası MYH sistemimiz için uyumlu bir substrat olabileceğini göstermektedir. Substrat olarak atık ile beslenen, önceki MYH çalışmalarının genel bir analizinin tablo olarak sunulduğu çalışmaya göz attığımızda sistemimizin oldukça verimli olduğu görülmektedir (Pant vd., 2010:101).

Çalışmalarımız sonucu en yüksek enerji verimi Melas'da elde edilmiştir. Melas; şeker, pektin ve protein gibi yüksek organik madde içeriğinden dolayı bakteriler için oldukça iyi bir besin ortamı sunmaktadır. Bu besin ortamında çoğalan yüksek mikroorganizma topluluğu enerji veriminin de yüksek olmasını sağlamaktadır. Peynir altısuyu ve Zeytin karasuyunda Melas'a göre daha düşük miktarda enerji

üretiminin olmasının sebebi; bu ortamların sahip olduğu yoğun asidite nedeniyle bakterilerin maksimum hücresel yoğunluğa erişememesi ile açıklanabilir. *E.aerogenes* bakterisi laktozu parçalarken açığa asit çıkartmaktadır. PAS'ın bileşiminde ise laktoz bulunduğundan dolayı bu gıda atık suyunda kültürlenen bakteriler için oldukça asidik koşullar meydana gelmektedir. ZKS içeriğinde ise zaten mevcut halde yoğun organik asitler bulunmaktadır. Dolayısıyla, PAS ve ZKS atıksularında meydana gelen yoğun asidik koşullar, düşük hücre yoğunluğuna sebep olarak biyokütle oranını azaltmaktadır. Biyokütledeki bu azalma MYH'deki enerji verimliliğini doğrudan etkileyecektir. Asit içeriği olan bu tür atık maddeler için uygulanacak pH nötralizasyonu işlemleri ile optimum enerji verimi mümkün olabilecektir. Bundan sonraki çalışmalarımızda tasarladığımız sistemin gıda endüstrisi işletmelerinde büyük ölçekli uygulamasının yapılarak işletmelerin artımdan kaynaklı hem maddi hem de çevresel sorunlarının giderilip aynı zamanda işletmeler için optimum oranda elektrik enerjisi sağlanması hedeflenmektedir.

MYH'leri ile mevcut ayırma, dönüştürme ve işleme teknolojilerinin entegrasyonun, bir akıştan çıkan suyun diğeri için bir besleme olarak kullanımını sağlayarak önemli bir ekonomik katkı sunacağını düşünmekteyiz. Bu çalışmanın; hızlı, verimli enerji ve kaynak geri kazanımı için, gıda atık yönetimine önemli bir bakış açısı sunması ümit edilmektedir. Gelecek yıllarda, bu teknolojiye beklenen iyileşme ve daha düşük maliyetlerle, çeşitli diğer gıda atık maddelerinin de kullanımıyla sürdürülebilir ve ekonomik bir biyoenerji üretimini önermekteyiz.

## 5. KAYNAKÇA

Adekunle, A., Raghavan, V., Tartakovsky, B. (2017). *Carbon source and energy harvesting optimization in solid anolyte microbial fuel cells*. J. Power Sources, 356, 324–330.

Adhikari, B.K., Barrington, S., Martinez, J., King, S. (2008). *Characterization of food waste and bulking agents for composting*. Waste Manage, 28, 795–804.

Antonopoulou, G., Stamatelatos, K., Bebelis, S., Lyberatos, G. (2008). *Electricity generation from cheese whey using a microbial fuel cell*. CHISA - 18th International Congress of Chemical and Process Engineering.

Antonopoulou, G., Stamatelatos, K., Bebelisa, S., Lyberatos, G. (2010). *Electricity generation from synthetic substrates and cheese whey using a two chamber microbial fuel cell*. Biochemical Engineering Journal, 50, 10–15.

Bermek, H. et al. (2014). *Olive mill wastewater treatment in single-chamber air-cathode microbial fuel cells*. World J Microbiol Biotechnol, 30, 1177–1185.

Colombo, A., Schievano, A., Trasatti, S.P., Morrone, R., D'Antona, N., Cristiani, P. (2017). *Signal trends of microbial fuel cells fed with different food-industry residues*. Int J Hydrogen Energy, 42, 1841-1852.

Erenler Özalp, Şebnem. (2007). *L- Asparaginaz Geninin (ANSb) Farklı Gram-Negatif Bakterilere Klonlanması, İzolasyonu Ve Ekspresyonu*. İnönü Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

Gajda, I., Greenman, J., Santoro, C., Serov, A., Melhuish, C., Atanassov, P. et al. (2018). *Improved power and long term performance of microbial fuel cell with Fe-N-C catalyst in air-breathing cathode*. Energy, 144,1073-9. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.135>.

Ge, Z., He, Z. (2016). *Long-term performance of a 200 liter modularized microbial fuel cell system treating municipal wastewater: treatment, energy, and cost*. Environ. Sci. Water. Res. 2, 274–281.

Gebresemati, M., Das, G., Park, B.J, Yoon, H.H. (2017). *Electricity production from macroalgae by a microbial fuel cell using nickel nanoparticles as cathode catalysts*. Int J Hydrogen Energy, 42-29874-80. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.127>.

- Gezginci, M. (2013). *Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Farklı Substrat Kaynaklarının Arıtma ve Yenilenebilir Enerji Üretimi Üzerine Etkileri*. Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 48s.
- Gıda Sanayi Atıkları*. (17.06.2007). www.tuik.gov.tr
- Gonzalez, S. (1996). *The biotechnological utilization of cheese whey: a review*. *Bioresource Technology* (57) 1–11.
- Goud, R.K, Babu, P.S, Mohan, S.V. (2011). *Canteen based composite food waste as potential anodic fuel for bioelectricity generation in single chambered microbial fuel cell (MFC): bioelectrochemical evaluation under increasing substrate loading condition*. *Int J Hydrogen Energy*,36,6210-6218. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.02.056>.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck, A. (2011). *Global food losses and FW: Extent, causes and prevention*. FAO, Rome.
- Güçlü, Esra Nezafed. (2013). *Enterobacter aerogenes ve Rekombinant Suşlarında Mikrobiyal Yakıt Pili Uygulaması*. İnönü Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- He, Z., Angenent, L.T. (2006). *Application of bacterial biocathodes in microbial fuel cells*. *Electroanalysis*, 18(19-20), 2009-2015.
- He, Z., Huang, Y., Manohar, A.K. Mansfeld F. (2008). *Effect of electrolyte pH on the rate of the anodic and cathodic reactions in an air-cathode microbial fuel cel.*, *Bioelectrochemistry*, 74, 78–82.<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.09.069>.
- Hussy, I., Hawkes, F.R., Dinsdale, R., Hawkes, D.L. (2005). *Continuous fermentative hydrogen production from sucrose and sugarbeet*. *Int. J. Hydrogen Energy* 30 (5), 471–483.
- I.Ulusal Zeytin Öğrenci Kongresi*. (2008). www.kimyakongreleri.org.
- Jadhav, D.A, Jain, S.C, Ghangrekar, M.M. (2016). *Cow's urine as a yellow gold for bioelectricity generation in low cost clayware microbial fuel cell*. *Energy*,113,76-84.<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.025>.
- Khanal, S.K., Li, L., Sung, S. (2004). *Biological hydrogen production: effects of pH and intermediate products*. *Int. J. Hydrogen Energy* 29 (11), 1123–1131.
- Koch, K., Helmreich, B., Drewes, J.E. (2015). *Co-digestion of food waste in municipal wastewater treatment plants: effect of different mixtures on methane yield and hydrolysis rate constant*. *Appl. Energy* 137, 250–255.
- Li, H., Tian, Y., Zuo, W., Zhang, J., Pan, X., Li, L. et al. (2016). *Electricity generation from food wastes and characteristics of organic matters in microbial fuel cell*. *Bioresour Techno*, 205, 104-10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.042>.
- Li, W.W., Yu, H.Q., He, Z. (2014). *Towards sustainable wastewater treatment by using microbial fuel cells-centered technologies*. *Energy Environ. Sci*, 7, 911–924.
- Liu, H. ve Logan, B.E. (2004). *Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane*. *Environmental Science & Technology*, 38, 4040-4046.
- Ma, Y.Q., Cai, W.W., Liu, Y. (2017a). *An integrated engineering system for maximizing bioenergy production from food waste*. *Appl. Energy*, 206, 83–89.
- McIlvaine. (2003). www.mcilvainecompany.com/generic\_examples/ food.htm
- Mischopoulou, M., Naidis, P., Kalamaras, S., Kotsopoulos, T., Samaras, P. (2016). *Effect of ultrasonic and ozonation pretreatment on methane production potential of raw molasses wastewater*. *Renewable Energy* 96(Part B) 1078–85 .

- Mohan, Y., Kumar, S., Manoj, M., Das, D. (2008). *Electricity generation using microbial fuel cells*. Int J Hydrogen Energy, 33, 423 – 426.
- Nguyen, H.T.H., Kakarla, R., Min, B. (2017). *Algae cathode microbial fuel cells for electricity generation and nutrient removal from landfill leachate wastewater*. Int J Hydrogen Energ, 42, 29433-42. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.011>.
- Nicholson, F., Bhogal, A., Cardenas, L., Chadwick, D., Misselbrook, T., Rollett, A., Taylor, M., Thorman, R., Williams, J. (2017). *Nitrogen losses to the environment following food-based digestate and compost applications to agricultural land*. Environ. Pollut, 228, 504–516.
- Oh, S.E., Van Ginkel, S., Logan, B.E. (2003). *The relative effectiveness of pH control and heat treatment for enhancing biohydrogen gas production*. Environ. Sci. Technol. 37 (22), 5186–5190.
- Onodera, T., Sase, S., Choeisai, P., Yoochatchaval, W., Sumino, H., Yamaguchi, T. et al. (2013). *Development of a treatment system for molasses wastewater: the effects of cation inhibition on the anaerobic degradation process*. Bioresour Technol (131) 295–302.
- Öztürk, M., Artan Onat, T. (2017). *The Usage of Molasses and Mediators in Microbial Fuel Cells*. JOTCSB,5(sp. is. 1), 77–84.
- Pant, D., Van Bogaert, G., Diels, L., Vanbroekhoven, K. (2010). *A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production*. Bioresource Technology, 101, 1533–1543.
- Rikame, S.S., Mungray, A.A., Mungray, A.K. (2012). *Electricity generation from acidogenic food waste leachate using dual chamber mediator less microbial fuel cell*. Int Biodeterior Biodegrad,75,131-137. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.09.006>.
- Rodrigo, M.A., Canizares, P., Lobato, J., Paz, R., Saez, C., Linares, J.J. (2007). *Production of electricity from the treatment of urban water using a microbial fuel cell*. Journal of Power Sources, 169, 198-204.
- Roos, V., Andersson, C.I., Bülow, L. (2004). *Gene expression profiling of Escherichia coli expressing double Vitreoscilla haemoglobin*. J Biotechnol, 114, 107-120.
- Satyawali, Y., Balakrishnan, M. (2008). *Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: a review*. J Environ Manage, (86), 481–497 .
- Sciarria, T.P., Tenca, A., D’Epifanio, A., Mecheri, B., Merlino, G., Barbato, M., Borin, S., Licoccia, S., Garavaglia, V., Adani, F. (2013). *Using olive mill wastewater to improve performance in producing electricity from domestic wastewater by using single-chamber microbial fuel cell*. Bioresource Technology, 147, 246–253.
- Sobhi, B., Isam, S., Ahmad, Y., Jacob, H. (2007) *Reducing the Environmental Impact of Olive Mill Wastewater in Jordan, Palestine and Israel*. In: Shuval H., Dweik H. (eds) Water Resources in the Middle East. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sobieszuk, P., Zamojska-Jaroszewicz, A., Makowski, L. (2017). *Influence of the operational parameters on bioelectricity generation in continuous microbial fuel cell, experimental and computational fluid dynamics modelling*. J Power Sources, 371,178-187. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.10.032>.
- Sonawane, J.M., Adeloju, S.B., Ghosh, P.C. (2017). *Landfill leachate: a promising substrate for microbial fuel cells*. Int J Hydrogen Energy,42,23794-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.03.137>.
- Song, Y., Xiao, L., Jayamani, I., He, Z., Cupples, A.M. (2015). *A novel method to characterize bacterial communities affected by carbon source and electricity generation in microbial fuel cells using stable isotope probing and Illumina sequencing*. J. Microbiol. Meth, 108, 4–11.
- Speece, R.E. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. Archae Press, Nashville, TN.

- Taşkan E, 2013. Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Farklı Kirleticilere Göre Elektrik Üretim Kapasitesi Ve Mikrobiyal Tür Değişiminin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 271s.
- Tremouli, A., Antonopoulou, G., Bebelis, S., Lyberatos, G. (2013). *Operation and characterization of a microbial fuel cell fed with pretreated cheese whey at different organic loads*. Bioresource Technology, 131, 380–389.
- Tsai, P.S., Nageli, M., Bailey, J.E. (1996). *Intracellular expression of Vitreoscilla hemoglobin modifies microaerobic Escherichia coli metabolism through elevated concentration and specific activity of cytochrome o*. Biotechnol. Bioeng, 49, 151-160.
- Tsioptsias, C., Lionta, G., Deligiannis, A., Samaras, P. (2016). *Enhancement of the performance of a combined microalgae-activated sludge system for the treatment of high strength molasses wastewater*. J Environ Manage 183(Part 1) 126–132 .
- U.S. Environmental Protection Agency. (2011). *Municipal Solid Waste in the United States, Facts and Figures*; EPA530-R-13-001. Office of Solid Waste, Washington, DC, 2010.
- Ulusoy, I., Dimoglo, A. (2018). *Electricity generation in microbial fuel cell systems with Thiobacillus ferrooxidans as the cathode microorganism*. Int J Hydrogen Energy, 43,171-178. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.155>.
- Yağcı, S., Altan, A., Göğüş, F., Maskan, M. (2006). *Gıda Atıklarının Alternatif Kullanım Alanları*. Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs, Bolu.
- Zanbak, C. (2002). *Türkiye’de makro düzey sanayi atıkları yönetim sorunları ve çözüm yaklaşımları*. Tübitak Vizyon 2023 Paneli-Katkı Dökümanı, 1-6.
- Zhang YJ., Yu, H., Shi, Y., Yang, S., Shen, Z. (2002). *Effect of Vitreoscilla hemoglobin biosynthesis in Escherichia coli on production of poly( $\beta$ - hydroxybutyrate) and fermentative parameters*. FEMS Microbiology Letters, 214, 223-227.
- Zhang, Y.J., Sun, C.Y., Liu, X.Y., Han, W., Dong, Y.X., Li, Y.F. (2013). *Electricity production from molasses wastewater in two-chamber microbial fuel cell*. Water Science and Technology Published July, 68 (2), 494-498.
- Zhong, C., Zhang, B., Kong, L., An, X., Jinren, Nia. (2011). *Electricity generation from molasses wastewater by an anaerobic baffled stacking microbial fuel cell*. J Chem Technol Biotechnol, 86, 406–413.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2011/119 nolu proje kapsamında İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından desteklenmiştir.