



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKROBİYAL YAKIT HÜCRELERİNDE FARKLI SUBSTRAT KAYNAKLARININ ARITMA VE  
YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**MEHMET GEZGİNCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİYOMÜHENDİSLİK VE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**KAHRAMANMARAŞ 2013**

**T.C**

**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKROBİYAL YAKIT HÜCRELERİNDE FARKLI SUBSTRAT  
KAYNAKLARININ ARITMA VE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ ÜZERİNE  
ETKİLERİ**

**MEHMET GEZGİNCİ**

**Bu tez,**

**Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalında**

**YÜKSEK LİSANS**

**derecesi için hazırlanmıştır.**

**KAHRAMANMARAŞ 2013**

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mehmet GEZGİNCİ tarafından hazırlanan “MİKROBİYAL YAKIT HÜCRELERİNDE FARKLI SUBSTRAT KAYNAKLARININ ARITMA VE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 03/06/2013 tarihinde oy birliği ile Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Yağmur UYSAL (DANIŞMAN) .....

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç.Dr. İsmail AKYOL(ÜYE) .....

Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Yakup CUCİ (ÜYE) .....

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. M. Hakkı ALMA .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

.....

Mehmet GEZGİNCİ

Bu çalışma KSÜ Bilimsel araştırma projeleri yönetim birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:2011/4-29

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# **MİKROBİYAL YAKIT HÜCRELERİNDE FARKLI SUBSTRAT KAYNAKLARININ ARITMA VE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

## **ÖZET**

Bu araştırmada farklı substratlar ve konsantrasyonlar kullanılarak bunların mikrobiyal komünite üzerine olan farklılarının bulunması amaçlanmıştır. Komünite farklılığı bulma kapsamında; Mersin ve Kayseri evsel atık su arıtım merkezlerindeki birincil temizleme çıkışından elde edilen karışık kültür bakteri popülasyonundan, elektrik üreten bakteri türlerini bulmak için bunlara özgü primer çiftleri kullanarak Polimer Zincir Reaksiyonları için termal cycler ve elektroforezcihazları kullanılmıştır.

Araştırmada farklı substratlar olarak glikoz, etanol ve zeytin karasuyu substrat olarak kullanılmıştır. Konsantrasyon çalışmaları olarak her bir substratın 250-500-1000-2000 ve 3000 mg/L TOK'luk konsantrasyonları kullanılmıştır. Multimeter cihazı ile her bir substratın konsantrasyonun ürettiği voltaj değerleri de ölçülmüştür. Çalışma sonucunda her bir substratın mikrobiyal komünite üzerine farklı etkilerde olduğu gösterilmiştir. En iyi uyum gösteren substrat glikoz olmuşken iken, konsantrasyonlar açısından bakıldığında en iyi olanın 3000 mg/L TOK konsantrasyona sahip olan glikoz setinin olduğu bulunmuştur. Zeytin karasuyu hakkındayapılan araştırmalar sonucunda bu substratın daha önce Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde kullanıldığına dair bir sonuç elde edilememiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar bazı ön çalışmalar yapılarak bu substratın bu sistemlerde giderilebileceğini bir göstergesi olmuştur. Yine yapılan moleküler analizler sonucu sistemde elektrik üretebilme kabiliyetine sahip olan bakterilerin de varlığı gösterilmiştir.

# **THE EFFECT OF DIFFERENT SUBSTRATES ON TREATMENT AND RENEWABLE ENERGY PRODUCTION IN MICROBIAL FUEL CELL**

## **SUMMARY**

In this study it was aimed to find the effect of using different substrates and their concentrations on microbial community. To find microbial community changes; mixed culture microorganisms were taken effluent of primary clarification from Mersin and Kayseri domestic wastewater treatment plants, to find electrically active bacteria; specific primer pairs were utilized for Polymerase Chain Reactions (PCR) using thermal cycler and electrophoresis.

In this thesis glucose, ethanol and oil mill were used as substrates sources. For substrates' concentrations 250-500-1000-2000 and 3000 mg/L TOC of each substrate were chosen. Multimeter was used to measure the voltage values of each substrate's concentrations. The end of the study it was proven that each substrate had had different effect on microbial community. As the most effective substrate was glucose, for concentrations study the best one was found using 3000 mg/L TOC of glucose substrate. Studies about oil mill in MFC were not found. In this study although oil mill results were not good enough, with pre-treatment of this substrates, this substrate would be suggested to promisingly treat in MFC. Molecular analysis results showed that there were electrically active bacteria in MFC.

## TEŞEKKÜR

Araştırma konusunda yakın ilgi ve sabır gösteren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Yağmur UYSAL'a, araştırmanın düzenlenmesi için maddi kaynak sağlayan KSÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığına, reaktör dizaynındaki yardımları için Arş. Gör. M. Burak OKUDUCU'ya, tez yazım esnasında katkıları bulunan Arş. Gör. Elif Gamze GÜNDOĞAN, Arş. Gör. Filiz ATALAY, Arş. Gör. Kübra KIRMACI, Arş. Gör. Burcu KURTULGAN, Arş. Gör. Onur TAŐKIN ve Arş. Gör. Esra BAŐARICI'ya, İlkin KAYA'ya son olarak çalışmam süresince bana güç kaynağı olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet GEZGİNCİ

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET .....	i
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. MYH'nin Tarihçesi .....	2
1.2. MYH'nin Çalışma Prensibi .....	3
1.3. MYH Sistemlerinde Elektron Transfer Mekanizmaları .....	4
1.3.1. Direk elektron transferi (DET) .....	6
1.3.2. Medyator aracılığı elektron transferi (MET) .....	7
1.4. MYH'nin Mikrobiyal Kısmı .....	9
1.5. MYH'de Kullanılan Materyaller .....	11
1.5.1. Anot materyali .....	11
1.5.2. Katot materyali .....	12
1.5.3. Membran .....	13
1.6. Mikrobiyal Yakıt Hücre Konfigürasyonları .....	14
1.6.1. İki bölmeli MYH .....	14
1.6.2. Tek bölmeli MYH .....	16
1.6.3. Yukarı akışlı MYH .....	17
1.6.4. Yığın MYH sistemleri .....	18
1.7. Voltaj ve Güç Üretiminin Temelleri .....	18
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	21
3.1. Materyal .....	21
3.1.1. İki bölmeli MYH sistemi .....	21
3.1.2. Sentetik atıksu .....	22
3.2. Yöntem .....	24
3.2.1. MYH sistemine mikroorganizmaların aşılınması .....	24
3.2.2. MYH sisteminin işletilmesi .....	24
3.2.3. Deneysel plan .....	25
3.2.4. Toplam organik karbon (TOK) analizi .....	26
3.2.5. Elektrokimyasal görüntüleme ve analiz .....	26
3.2.6. Kromozomal DNA izolasyonu .....	26
3.2.7. DNA'nın jel elektroforezi .....	27
3.2.8. Polimeraz zincir reaksiyonları (PZR) .....	27
3.2.9. DNA dizi analizleri .....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	29
4.1. Farklı Substrat Kaynaklarını İçeren Ortamda TOK Giderim Değerleri .....	29
4.2. Substrat Kaynaklarının Elektrik Verimi Üzerine Olan Etkileri .....	31
4.3. MYH Mikrobiyal Komünitenin Belirlenmesi .....	34
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	37
KAYNAKLAR .....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. 1 İki Bölmeli MYH reaktörü .....	3
Şekil 1. 2 Dış membran aracılığı ile elektron taşınımı.....	4
Şekil 1. 3 Nanowire aracılığı ile elektron taşınımı .....	5
Şekil 1. 4 Direkt olarak elektron taşınımı .....	5
Şekil 1. 5 Medyatörler aracılığı ile elektron taşınımı .....	6
Şekil 1. 6 Elektron taşınma yolları.....	7
Şekil 1. 7 Mtr Pathway Proteinleri.....	8
Şekil 1. 8 Medyatör üreten ve üretmeyen türlerin elektron taşıma mekanizmaları.....	8
Şekil 1. 9 Medyatör aracılığı ile elektron taşınımı .....	9
Şekil 1. 10 MYH sistemlerinde kullanılan anot materyalleri.....	12
Şekil 1. 11 MYH sistemlerinde kullanılan membran çeşitleri .....	14
Şekil 1. 12 H tipi MYH sistemleri .....	15
Şekil 1. 13 Kübik MYH sistemleri .....	15
Şekil 1. 14 Düz Levha MYH.....	16
Şekil 1. 15 U Şekilli MYH.....	16
Şekil 1. 16 Katot bölmesi havaya açık olan MYH sistemleri .....	17
Şekil 1. 17 Yukarı Akışlı MYH.....	17
Şekil 1. 18 Yığın MYH .....	18
Şekil 2. 1 Çift bölmeli kübik MYH sisteminin kuruluşu.....	21
Şekil 2. 2 Deneysel Plan.....	25
Şekil 3. 1 Glikoz İçeren Ortamda TOK Derişiminin Zamanla Değişimi.....	29
Şekil 3. 2 Etanol İçeren Ortamda TOK Derişiminin Zamanla Değişimi .....	30
Şekil 3. 3 Zeytin Karasuyu İçeren Ortamda TOK Derişiminin Zamanla Değişimi .....	31
Şekil 3. 4 Glikoz İçeren Reaktörde Voltaj Üretimi .....	31
Şekil 3. 5 Zeytin Karasuyu İçeren Reaktörde Voltaj Üretimi .....	33
Şekil 3. 6 Etanol İçeren Reaktörde Voltaj Üretimi.....	33
Şekil 3. 7 Etanol ve Glikoz İçeren Reaktörde Voltaj Üretimi.....	34
Şekil 3. 8 Glikoz Seti Elektroforez Görüntüleri .....	35
Şekil 3. 9 Etanol Seti Elektroforez Görüntüleri.....	35
Şekil 3. 10 Zeytin Karasu Seti Elektroforez Görüntüleri.....	36

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. MYH reaktörlerin işletme parametreleri .....	22
Çizelge 2.2. Sentetik Atıksu İçerisinde Bulunması Gereken Malzemeler ve Miktarları.....	22
Çizelge 2.3. Mineral Çözeltisinde Bulunan Malzemeler ve Miktarları .....	23
Çizelge 2.4. Vitamin Çözeltisinde Kullanılan Malzemeler ve Miktarları .....	23
Çizelge 2.5. Zeytin Karasu Karakteristiğine İlişkin Literatür Veri Özetleri.....	24

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>MYH</b>	: Mikrobiyal Yakıt Hücresi
<b>FMN</b>	: Flavin Mononükleotit
<b>FAD</b>	: Flavin Adenin Dinükleotit
<b>NR</b>	: Nötral Kırmızı
<b>MB</b>	: Metilen Mavi
<b>MelB</b>	: Meldola'nın Mavisi
<b>hMYH</b>	: H şekilli MYH
<b>kMYH</b>	: kübik MYH
<b>KOİ</b>	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>BOİ</b>	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
<b>PZR</b>	: Polimer Zincir Reaksiyonu
<b>DGGE</b>	: Denatüre edici Gradyan Jel Elektroforez
<b>rDNA</b>	: ribozomal DNA
<b>TOK</b>	: Toplam Organik Karbon

## 1. GİRİŞ

Enerji kaynağı olarak fosil yakıtların yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Fakat bu enerji kaynaklarının çevrede, yalnızca küresel iklimi değiştirmeyip ayrıca önemli problemler yarattığı da bilinmektedir. Bunlara ek olarak, bu yakıtların dünya genelinde tükenmekte olduğu da herkesin aşikâr olduğu bir durumdur. Ancak, günümüzde teknolojik gelişmeler için enerji kaynaklarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Araştırmacılar çalışmalarını, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve enerji ihtiyacını sürdürülebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarından karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynakları bulmaya yöneltmişlerdir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji ve biyoyakıtlar (biyoetanol, biyodizel ve biyohidrojen vb.) gibi birçok yenilenebilir enerji teknolojileri rapor edilmiştir (Catal, 2008). Biyoyakıt proseslerinde, besin maddesi olarak kullanılan organik atık sadece biyoyakıtlara dönüşmemekte aynı zamanda aerobik giderimi için ihtiyaç duyulan enerjiyi de içermektedir. Biyolojik olarak yıkılabilir atıklardan üretilen biyoyakıtlar, ısıtma için yakıt olarak depolanabilirler. Biyoyakıt üretim süreci boyunca, üretilen karbondioksit, organik atık hammadde olarak biyokütle ile sabit tutulduğu için, küresel iklim değişikliği ile ilgili olan sera etkisi gaz emisyonu hemen hemen sıfırdır (Cavdar, 2009).

Mikrobiyal Yakıt Hücreleri (MYH), organik maddelerin sahip olduğu kimyasal enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürmeyi sağlayan reaktörlerdir. MYH sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir, çünkü onlar “karbon-nötr”dürler yani organik maddelerin oksidasyonu sonucu atmosfere sadece kararlı olan karbon salarlar. Son zamanlarda bu özelliğinden dolayı, MYH sistemlerinde daha fazla elektrik enerjisi üretmek için araştırmacılar, özellikle sistemin yapısal özelliklerini değiştirerek, biyokatalist olarak kullanılan mikroorganizmaları tanımlayarak, değişik substratlar deneyerek, çalışmalarını artan bir şekilde sürdürmektedirler.

Verimli güç üretiminin sağlanabilmesi için MYH sisteminde reaktör tasarımında çok sayıda yenilikler yapılmıştır. Bunlardan en yaygın kullanılanları, iki bölmeli ve tek bölmeli MYH sistemleridir. İki bölmeli MYH reaktörleri, bir membranın ayırdığı, anot ve katot bölümlerinden oluşmaktadır (Şekil 1.1). Anot bölümünde anaerobik olarak büyüyen elektrokimyasal olarak aktif mikroorganizmalar bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar kendilerine verilen organik besinleri, kullanarak protonlar ve elektronlar açığa çıkarırlar. Elektronlar, parçalanmaz ve iletken olan, anot elektroda transfer edilip bu elektronların

katot bölümüne geçişi bir dış direnç tarafından sağlanır. Protonlar ise membrandan katot bölümüne geçerler. Seçici geçirgen özelliğinden dolayı membran sadece katyonların geçişine izin verirken, katot bölümündeki oksijenin anaerobik olan anot bölümüne geçişini de engellemektedir. Katot bölümünde ise, dış direnç aracılığı ile katot elektrota aktarılan elektronlar, membrandan geçen protonlar ile burada O<sub>2</sub>'nin H<sub>2</sub>O indirgenmesine yol açmaktadır. İki bölmeli ve tek bölmeli MYH sistemleri arasındaki en önemli fark, tek bölmeli MYH'nin ayrı bir katot bölümü içermemesidir.

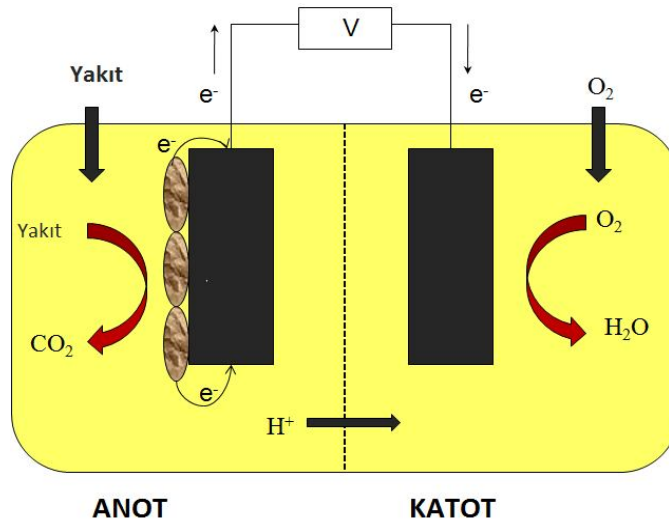
MYH sistemlerinden uygun güç çıkışının sağlanabilmesi için araştırmaların birçoğu MYH sistem dizaynı üzerine odaklanmalarına rağmen, bu sistemde yer alan mikrobiyal süreç iyi bir şekilde tanımlanamamıştır. MYH sistemlerinde baskın olan türler bakterilerdir. Bakteriler de her canlı grubu gibi hayatlarını sürdürebilmek besin kaynaklarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bazı bakteriler sadece belirli substratlarla beslenirken, bazıları ise çevre şartlarına adapte olarak geniş bir aralığa sahip besin kaynaklarını tüketilmektedirler. Substrat kullanım çeşitliliğine göre bazı bakteriler, çevre koşullarına da bağlı olarak buldukları ortamda diğer bakteri türüne göre daha baskın hale gelirken, bazı türler ise ortam şartlarına ayak uyduramayarak ya elemine olmakta ya da çok az sayıda ortamda bulunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, farklı substrat kaynaklarının MYH'lerinde bakteriler tarafından besin maddesi olarak tüketimi ve beraberinde üretilen elektrik enerjisinin tespit edilmesi, bu substrat kaynaklarının zamanla arıtım veriminin değerlendirilmesi ve mikroorganizma popülasyon dinamiğine farklı substrat kaynaklarının ve substrat konsantrasyonlarının etkisini moleküler biyoloji teknikleri ile tanımlamaktır.

### **1.1. MYH'nin Tarihçesi**

Mikroorganizmalardan elektrik enerjisi üretme, yeni bir fikir değildir. Bir bölmede mikroorganizmanın olduğu diğer bölmede ise steril besin tuz solüsyonunun bulunduğu bir sistemde, oluşan potansiyel farktan dolayı elektrik enerjisi üretilebileceğini keşfeden İngiliz araştırmacı Michael C. Potter, 1911 tarihli yayınında, "Mikroorganizmalar tarafından organik bileşiklerin parçalanması, elektriksel enerjinin serbest kalmasıyla birlikte olmaktadır" bulgusunu paylaşarak MYH'de elektrik üretimi üzerine çalışan ilk araştırmacı unvanını almıştır. Bu çalışmada elektrik üretiminin mikroorganizmaların aktivitelerinin sonucu olduğu ve elektriksel etkinin sıcaklık, besin kaynağı ve mevcut olan aktif mikroorganizma sayısından etkilendiğini ifade etmiştir. Çalışmada maksimum 0,3 - 0,5

V'luk elektrik üretimi arasında rapor edilmiştir (Potter, 1911). Potter sonra, 1960'lı yıllara kadar MYH ile ilgili önemli gelişmeler olmamıştır. Bu zaman süresince elektriğin önemli bir güç kaynağı olduğunun farkına varılmasıyla, Young ve ark. (1966), MYH üzerine yoğun çalışmalarda bulunarak, elektrokimyasal ürünlerin üretimi ve giderimi için mikroorganizmaları kullanarak, üç tip biyokimyasal yakıt hücreleri yapmışlardır. 1980'li yılların sonlarına doğru Benotto, yaptığı birçok çalışma ile halen günümüzde de geçerliliğini sürdüren, mikroorganizmalarda gerçekleşen indirgenme ve yükseltgenme prosesini ileri sürmüştür (Bennetto, 1990 ).



**Şekil1.1**İki Bölmeli MYH reaktörü

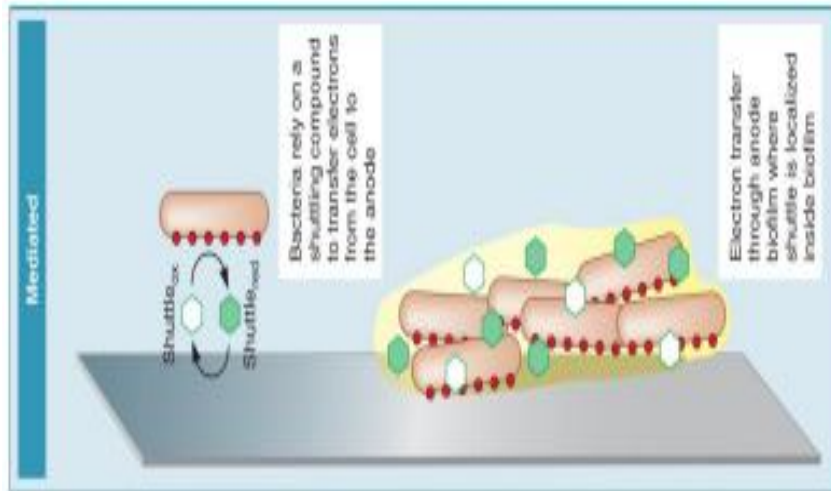
## 1.2. MYH'nin Çalışma Prensibi

MYH, mikroorganizmaların katalitik reaksiyonları sonucunda, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen bir sistemdir. Bu sistemde mikroorganizmaların önemi çok büyüktür. Sistemde, organik maddenin elektriğe dönüşümünü sağlayan bakteriler kullanılmaktadır. Üreme ve metabolizma faaliyetlerini sürdürebilmeleri için asetat, glikoz gibi organik substratları kullanan bakterilerin, bu substratları okside etmeleri sonucunda elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu bakteriler MYH sistemlerinde anot elektrot yüzeyine tutunarak biyofilm yapısı oluştururlar. Oluşan biyofilmin karakteristiği mikrobiyal komünite tarafından belirlenmektedir. Biyofilimde bulunan bakteriler, organik maddelerin oksidasyonu sonucunda indirgenebilen ve yükseltgenebilen birçok ara madde oluşturmaktadırlar. Oksijen, demir, mangan gibi son elektron alıcıların olmadığı ortamlarda bakteriler elektronlarını indirgenebilen bir yapıya aktarmak zorundadırlar.

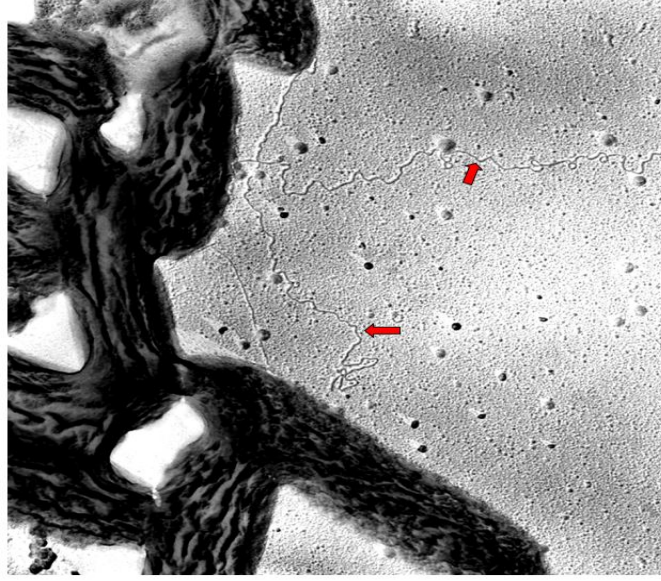
MYH sistemlerinde karbondan yapılmış elektrot, bu elektronları alabilmekte ve katot bölümünde bulunan oksijene bir devre ile aktarabilmektedir.

### 1.3. MYH Sistemlerinde Elektron Transfer Mekanizmaları

MHY sistemlerinde kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşebilmesi için, bakterilerin, substratlarını yıkıma uğrattıktan sonra açığa çıkardıkları elektronları anot elektrotta iletmeleri gerekmektedir. Bu iletim mekanizması, bakteri çeşidine göre çeşitlilik göstermektedir. Filogenetik olarak çeşitli birçok bakterinin, dışarıdan bir elektron yük taşıyıcı (medyatör) eklemeksizin MYH sistemlerinde elektronlarını anot elektrotta taşıyabildikleri ve böylece elektrik enerjisi ürettikleri bilinmektedir. Bu türler; demir-indirgeyen *Geobacter spp* (Bond ve ark. 2002; Bond ve Lovley 2003) *Shewanella spp.* (Gorby ve ark. 2006; Kim ve ark. 1999, 2002) *Rhodospirillum rubrum* (Chaudhuri ve Lovley 2003), *Aeromonas hydrophila* (Pham ve ark. 2003), *Pseudomonas aeruginosa* (Rabaey ve ark. 2004), *Clostridium butyricum* (Park ve ark. 2001), ve *Enterococcus gallinarum* (Kim ve ark. 2005a) türleridir. Mikroorganizmalar ile yapılan çalışmalar medyatörlerin, dış membran c-tipi sitokromların (Şekil 1.2) ve özel bir pili olan nanowire'ların kullanımını ve üretimini içeren (Şekil 1.3) elektron taşıma sistemleri katı ekstraselüler elektron alıcıların indirgenmesi için bilinen mekanizmaların çeşitliliğini ortaya çıkarmıştır (Jung ve Regan, 2007).

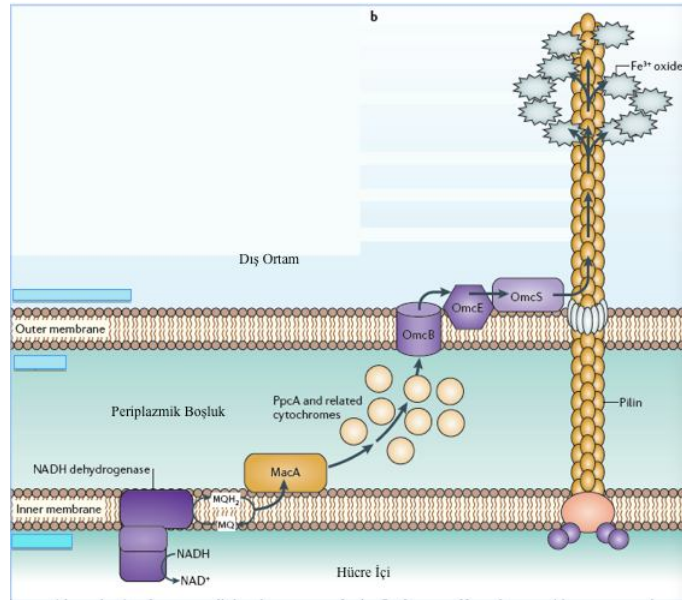


Şekil 1.2Dış membran aracılığı ile elektron taşımını (Wrighton, 2010)

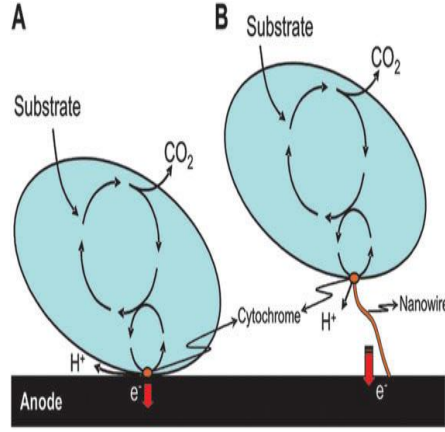


**Şekil 1.3** Nanowire aracılığı ile elektron taşınımı (Lovley, 2005)

MYH sistemlerinde bakteriler tarafından organik materyallerin katalize olması sonucu açığa çıkan elektronların anoda taşınma mekanizmaları iki türlü olmaktadır. Bunlar anot elektrota direk olarak elektron taşıma (Şekil 1.4) ve medyatörler aracılığı ile elektron taşıma (Şekil 1.5) şeklindedir.



**Şekil 1.4** Direkt olarak elektron taşınımı (Lovley, 2006)



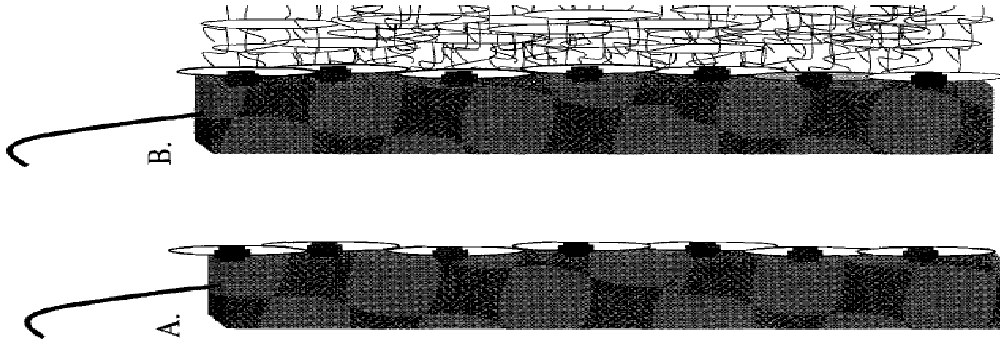
Şekil 1.5 Medyatorlar aracılığı ile elektron taşınımı (Schroder, 2007)

### 1.3.1. Direk elektron transferi (DET)

Direk elektron transferi, mikroorganizmaların hücre membranları ya da pili yapılarıyla anot elektrot yüzeyi ile yapmış oldukları fiziksel temas aracılığı ile yapılan elektron taşınımıdır. Substratların oksitlenmesi sonucu açığa çıkan elektronlar bakterilerin ya c-tipi sitokromları aracılığı ile ya da elektriksel iletkenliğine sahip olan “nanowire” olarak adlandırılan bir pili ile anot yüzeyine taşınmaktadır.

*Geobacter sulfurreducens* ve *Shewanella oneidensis* (Gorby ve ark., 2006) türlerinin nanowire ürettikleri rapor edilmesine rağmen, pilinin çapı ve genişliği bakımından bu yapıların birbirinden farklı olduğu bulunmuştur. Nanowire aracılığı ile elektron iletimi yapan MYH sistemlerinde üretilen elektriğin sitokromlar aracılığı ile yapılan elektron taşımadan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çünkü nanowire üreten bakteriler anot yüzeyinde oluşturulan biyofilmde anot elektrotta çok yakın temasta bulunmadan pilileri aracılığı ile elektronlarını iletebilirken, sitokromlar aracılığı ile elektronlarını ileten bakterilerin bu iletimi yapabilmek için anot elektrotla temas halinde olmaları gerekir. Yakın temas daha ince bir biyofilm yani daha az bakteri demektir (Şekil 1.6). Fakat yine de nanowire aracılığı ile elektronlarını ileten bakterilerin bu iletimi nasıl gerçekleştirdiği tam olarak bilinmemektedir. Çünkü saf kültür çalışmalarında şimdiye kadar gözlemlenmiş en uzun pilinin boyunun 20 µm, biyofilm kalınlığının da 50 µm üzerinde olduğu bulunmuştur. Bunun sonucunda araştırmacılar bu fenomeni açıklamak üzere farklı fikirler öne sürmüşlerdir (Reguera ve ark., 2005). Bunlar, iç içe geçmiş pililerin iletken bir ağ oluşturduğu diğer olasılığın ise nanowireler tarafından elektronların daha alt

tabakada bulunun bakterilere buradan da anot elektrota aktarıldığı şeklindedir (Lovley ve Nevin, 2008).



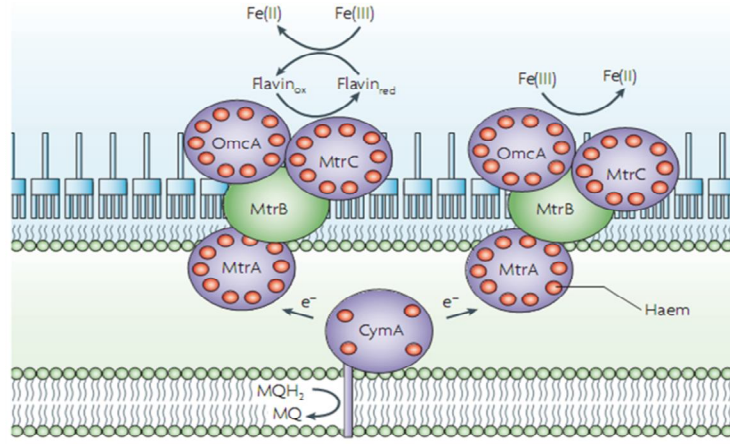
**Şekil 1.6** A) Sitokromlar aracılığı ile elektron taşınımı yapan bakterilerin ve B) Nanowire aracılığı ile elektron taşınımı yapan bakterilerin oluşturduğu biyofilm tabakası ( Lovley ve Nevin, 2008)

c-tipi sitokromlar aracılığı ile elektron transferinin gerçekleşmesi için membran bağımlı elektron taşıma proteinlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu proteinler bakterinin içerisinde yer alan elektronları, hücre dışı membranında yer alan ve dış ortamda bulunan katı elektron alıcıya (metal oksit ya da MYH anodu gibi) elektronların iletilmesine olanak sağlayan bir redoks proteinine iletirler. Bu sistem Mtr solunum pathway'idir. Bu pathway'de 5 ana protein bileşeni, OmcA, MtrC, MtrA, MtrB ve CymA tanımlanmıştır (Şekil 1.7). Karbon kaynağının oksidasyonundan elde edilen elektronlar Menakuinon aracılığıyla, iç membran proteini CymA' ya, burdan periplamik MtrA'ya, son olarak dış membranda bulunan MtrB ile etkileşim halinde bulunan MtrC ve OmcA'ya transfer edilir (Coursolle ve ark., 2009).

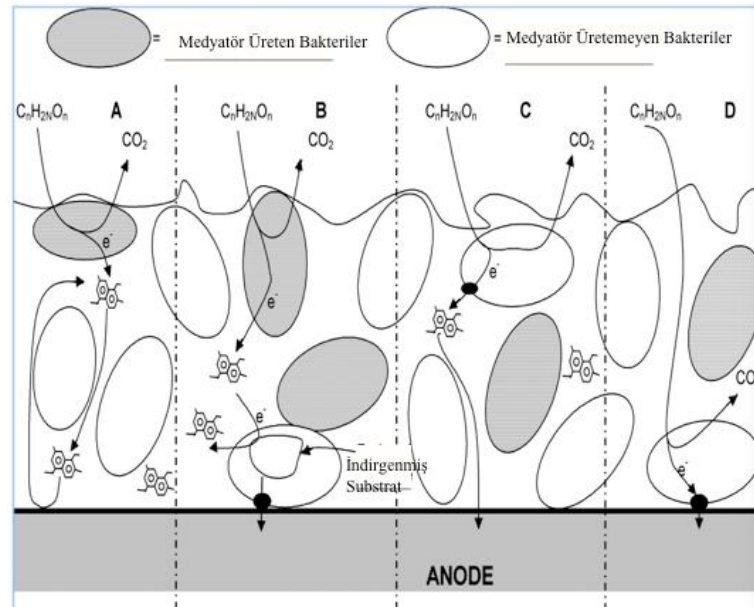
### 1.3.2. Medyatör aracılığı elektron transferi (MET)

MYH sistemlerinde mikrobiyal türlerin çoğunluğunun dış yüzeyi, iletken olmayan bir lipit membrana, ve peptidoglikan tabakaya sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı bu bakteriler, elektronlarını anot elektrota direk olarak aktaramazlar. Bu engeli aşmak için indirgenme ve yükseltgenme gibi özelliklere sahip medyatörlere ihtiyaç duyarlar (Şekil 1.8). Medyatörler, hücre içine kolayca girebilen ve burada elektron taşıma sistemlerinde görev alan elektron taşıyıcılardan elektronları alarak indirgenen taşıyıcılardır. Hücre içine giren medyatörler herhangi bir kimyasal tepkimeye girmeden hücreden çıkarlar ve aldıkları bu elektronları anot elektrota vererek yükseltgenirler. Bu aşamalarda mikroorganizmaya ve

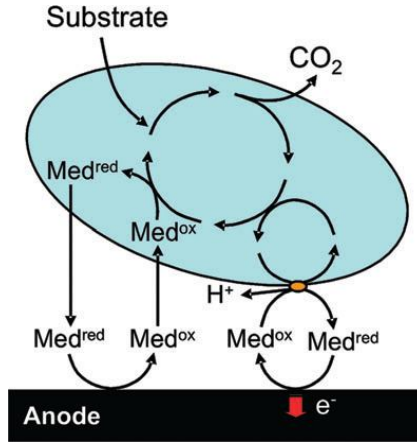
anot elektrota herhangi bir zarar vermezler (Du ve ark., 2007; Ieropoulos ve ark., 2005). *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Proteus*, ve *Bacillus* cinslerine ait türler metabolizma sonucu oluşan elektronları hücre dışına vermede sorun yaşadıkları için, medyatörler bunlar için çok önemlidir. Bazı bakteri türleri kendi medyatörlerini kendilerini sentezleyebilirken (biyolojik medyatörler) (Şekil 1.9), bazı türler için medyatörlerin dışarıdan kimyasal şeklinde (kimyasal medyatörler) verilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.7 Mtr Pathway Proteinleri (Fredrickson ve ark., 2008)



Şekil 1.8 Medyatör üreten ve üretmeyen türlerin elektron taşıma mekanizmaları (Rabaey, 2005)



**Şekil 1.9** Medyator aracılığı ile elektron taşınımı.(Schroder, 2007)

*Shewanella algae* BrY bakterisi tarafından üretilen melanin (Turick ve ark., 2002), *Geothrix fermentans*'ın ürettiği quinone bileşeni (Nevin ve Lovley, 2002), *Shewanella oneidensis* MR1, menaquinon-ilişkili redoks aktif bileşeni (Newman ve Kolter, 2000), *Pseudomonas aeruginosa* KRP1'in ürettiği pyocyanin (Rabaey ve ark., 2005), ve *Shewanella* türlerinin ürettikleri riboflavin, flavin mononucleotide (FMN) ve flavin adenine dinucleotide (FAD) (Velasquez-Orta ve ark., 2009; Canstein ve ark., 2008) biyolojik medyatörlere örnek verilebilir.

Biyolojik medyatörlerin aksine kimyasal medyatörler, toksik olmaları ve de stabil olmamaları nedeniyle MYH sistemlerinde uygulanabilirlik açısından sınırlıdır(Allen ve Bennetto, 1993; Du ve ark., 2007; Ieropoulos ve ark., 2005; Park ve Zeikus, 2000). Kimyasal medyatörler neutral red (NR), methylene blue (MB), thionine, meldola's blue (MelB), 2-hydroxy-1,4-naphthoquinone (HNQ), ve Fe(III)EDTA gibi metalloorganikleri ve boyları içermektedir.

#### 1.4. MYH'nin Mikrobiyal Kısmı

Birçok bakteri, organik maddenin oksidasyonu sonucunda elde edilen elektronları anot elektrota transfer edebilme kapasitesindedir. MYH sistemlerinde kullanılan bakteriler atık sulardan, tatlı su sediment bölgelerinden, topraktan izole edilebilir ve kullanılabilirler. İzolasyonun yapıldığı yerde farklı türlere ait birçok mikroorganizmalar bulunduğu için, MYH sistemleri çalışmalarında genellikle karışık kültür bakterileri kullanılır. Genel olarak deney çalışmalarda kullanılacak olan karışık bakteriler evsel atık su arıtım merkezlerindeki birincil temizleme çıkışından elde edilir.

Doğada çeşitli metallerin dönüşümünde rol oynayan metal indirgeyici bakteriler de MYH sistemlerinde önemli rol oynamaktadır. Fe(III) ve Mn(IV) elementlerinin mikrobiyal olarak kendi içlerinde enzimatik olmayan bir şekilde indirgenmeleri, toksik iz elementlerin, fosfatın dağılımını ve karbonun biyojeokimyasal döngüsünü önemli ölçüde etkilemektedir (Lovley ve ark., 2004). *Geobacteraceae* familyasında yer alan bakterilerin denizlerin sediment kısımlarında yaşayanlarından olan *Geobacter sulfurreducens*, *Geobacter metallireducens*, *Geobacter psychrophilus*, *Desulfuromonas acetoxidans* ve *Geopsychrobacter electrodiphilus* türlerinin bu elementleri direkt olarak indirgemeleri gerektiği fakat bunların elektron yük taşıyıcılar olan medyatörler üretmediği bilinmektedir. Bu türlerin c-tipi sitokromlar aracılığı ile elektronlarını elektroda ilettikleri yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kanıtlanmıştır (Nevin ve Lovley, 2000). MYH sistemlerinde, oluşan elektronların sayısı elektrik üretiminde önemli olduğu için bu türler elektron verici olarak asetat kullandıklarında, bu substratı tamamen karbondioksit kadar parçaladıkları için önemli türlerdir. Bu türler yüksek elektron transfer hızları ile elektrik enerjisi üretimine katkıda bulunmalarına rağmen, düşük büyüme hızı ve substrat spesifikliğinin fazla oluşları bu mikroorganizmaların sahip oldukları dezavantajlarıdır. Ayrıca, bu türler saf kültür olarak kullanıldıkları için, MYH sisteminin yönetimi sırasında istenmeyen bakteriler tarafından kontamine olma riskleri çok yüksektir (Rabaey ve ark., 2003; Rabaey ve Verstraete, 2005).

Bakteri olarak karışık kültür kullanılan MYH sistemleri substrat tüketim hızlarının daha fazla ve substrat spesifikliğinin daha düşük oluşları (basit organik asitten, nişasta, selüloz, protein gibi yüksek yapılı organik bileşikler aralığına sahip olan) bakımından bakteri olarak saf kültür bakterilerinin kullanıldıkları MYH sistemlerine göre daha avantajlıdır. Ayrıca, üretilen güç yoğunluğu da karışık kültür bakterilerinin kullanıldığı sistemlerde daha fazla bulunması da bu bakterilerin MYH'de kullanılmasını cazip hale getirmiştir (Rabaey ve ark., 2004). Bu bakteriler topraktan ya da atık çamur gibi doğal çevremizden kolay bir şekilde elde edilebilirler (Liu ve ark., 2008). Elektrokimyasal olarak aktif olan bakteriler çoğunlukla ya atık su arıtım tesislerinden alınan aktif çamurdan ya da sedimentten alınarak zenginleştirilirler (Bond ve Lovley, 2003; Park ve Zeikus, 2003; Rabaey ve ark., 2004).

*Proteobakter*  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ve  $\delta$  ile *Firmicutes*, *Bakteroidetes*, *Aktinobakter*, *Siyanobakter*, *Spirochaetes*, *Klorofleksi*, *Verrukomikrobiya*, *Asidobakter*, *Klostodiya*, *Sfingobakter*,

*Flavobakter* sınıflarına ait bakterilerin, değişik işletim şartlarında yürütülen MYH sistemlerinin anot bölgesinde buldukları yapılan moleküler teknikler sonucunda anlaşılmıştır (Choo ve ark., 2008; Jang ve ark., 2009; Jiyoung ve ark., 2003; Thu ve ark., 2004).

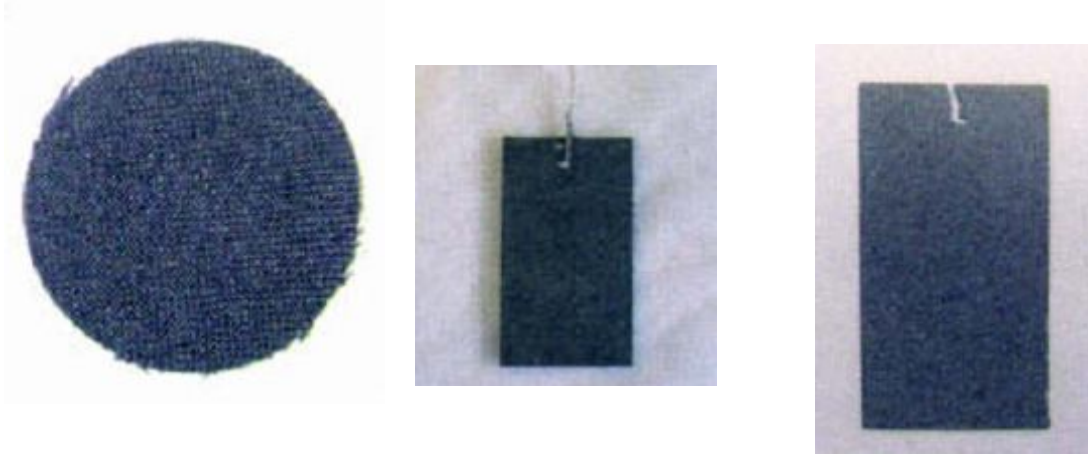
## **1.5. MYH'de Kullanılan Materyaller**

MYH reaktörlerini kurarken dikkat edilmesi gereken parametreler vardır. Bunlar sistemi kurarken seçilecek olan malzemelerin tanımlanması, yüksek enerji çıkışının sağlanması, yüksek kolombik etkinin eldesi, maliyetin düşürülmesi ve daha sonraları yapılacak olan uygulamalara yönelik olan MYH sistemlerinin yaratılmasıdır. Genellikle bir MYH sistemi anot bölümü, katot bölümü ve de seçici geçirgen özellikte olan bir membrandan oluşur.

### **1.5.1. Anot materyali**

Anot materyali öncelikle yüksek derecede iletken olmalıdır. Bunun dışında reaktör içinde bulunan sıvı ile kimyasal olarak reaksiyona girmemeli, anot bölmesinde bulunan ve anot materyali üzerinde biyofilm oluşturan mikroorganizmalara zarar vermemeli, yüksek gözenekliliğe sahip olmalı, bakterilerin içine girip tıkanmasına izin vermemeli, ucuz olmalı ve kolayca yapılıp daha büyük uygulamalar da rahatlıka kullanılabilir. Bakteriler tarafından üretilen elektronların materyalin yüzeyindeki üretim noktasından toplanma noktası olan katot bölümüne aktarılmaya ihtiyaı olacağından bütün kullanılan materyallerin elektrokimyasal olarak iletken olması gerekir ki bu özellik bakımında MYH sistemleri diğer biyofilm reaktörlerinden farklıdır (Logan, 2008). Karbon temelli elektrotların bu sistemlerde kullanılmaları, iletkenliklerinin yüksek oluşları ve mikroorganizmaların yapışarak byyebilecekleri bir yüzey sağladıkları için oldukça yaygındır. Bakır iyi bir iletken olmasına rağmen zamanla aşınması sonucu anot solüsyonuna karışıp bakterilerin yaşaması engelleyebileceğinden bunun yerine paslanmaz elik ya da titanyum kullanılması daha uygundur. Günümüze kadar rapor edilen birçok anot materyali arasında, pahalı olan katı grafitler yerine karbon kumaşın elektrot materyali olarak kullanılabilen raporu edilmiştir (Liu ve Logan, 2004) (şekil 1.10). Heijne ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada 4 farklı elektrot materyalini (platin kaplı titanyum, kaplı olmayan titanyum, pürüzlü grafit ve düz grafit) kıyaslamış ve kaplı olmayan titanyumun elektrot olarak kullanılmasının elverişsiz olduğunu rapor etmişlerdir. Dumas ve ark. (2008) yaygın bulunmaları, uzun süre koroziif olmamaları, makul fiyatlarından dolayı, uzun

dönem işlemler için paslanmaz çeliğin kullanılabilirliğini MYH sistemlerinde incelemişler ve benzer şekilde çalıştırılmış grafitten daha düşük akım yoğunluğu verdiğini bulmuşlardır.



**Şekil 1.10** MYH sistemlerinde kullanılan değişik karbon anot materyalleri (Logan, 2008)

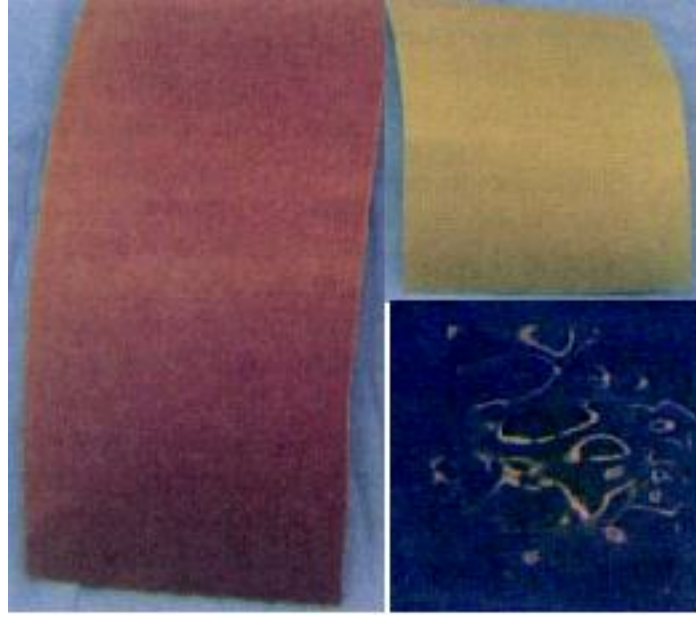
### **1.5.2. Katot materyali**

MYH araştırmalarında diğer bir zorlayıcı etken de, anot bölümünde mikroorganizmaların katot bölümünde ise kimyasal solüsyonun kullanıldığı katalistlerin geliştirilmesidir. Katot materyalin seçimi uygulamaya göre büyük çeşitlilik göstermektedir. Katotta oluşan kimyasal reaksiyon düzenlemek zordur. Çünkü katot bölümünde; katı (katot elektrot), gaz (elektronlar, protonlar ve oksijenin tamamı) ve sıvı (katolit) olmak üzere üç fazlı bir reaksiyon oluşmaktadır. Katalist iletken yüzeyde olmalı fakat farklı fazda olan elektronların ve protonların aynı noktaya ulaşabilmeleri için katalistin hem su hem de hava ile maruz kalması sağlanmalıdır (Logan, 2008). Ferrisiyanür  $[Fe(CN)_6]$  iyi performansı nedeniyle MYH sistemlerinde deneysel elektron alıcısı olarak çok popülerdir. Ferrisiyanürün en büyük avantajı, karbon katot kullanıldığında, elektrotun elektriksel potansiyelleri arasındaki farkının düşük olması yani açık devre potansiyeline yakın potansiyelde çalışmasıdır. Ancak, ferrisiyanür kullanmak, düzenli bir şekilde değiştirilmeye gereksinim duyan katolite ihtiyaç duyması ve oksijenin tekrar oksidasyonun yetersiz olması bakımından dezavantajdır. Sistemin uzun dönem performansı, ferrisiyanür'ün anot bölümüne geçmesi ile etkilenebilir (Logan ve Regan, 2006). Yüksek oksidasyon potansiyeli, maliyetsiz oluşu, sürdürülebilirliği, kimyasal atık üretimi olmaması gibi özelliklerinden dolayı oksijen MYH için en uygun elektron alıcıdır (Freguia ve ark., 2007). Oksijen indirgenme hızını arttırmak için genellikle platin katalistler kullanılır. MYH sistemleri için uygun katalistlerin geliştirilmesi oldukça popüler bir araştırma alanıdır.

Alternatif katot katalisti bulmak için yapılan çalışmalarda düşük üretim maliyete sahip olması nedeniyle platin yerine kurşun dioksitin (Morris ve ark., 2007) ve manganez dioksitin (Zhang ve ark., 2009), MYH sistemlerinde kullanılabileceği önerilmiştir.

### 1.5.3. Membran

MYH sistemlerinde diğer bir bileşen ise membrandır. Membran, katot ve anot bölmelerini fiziksel olarak birbirinden ayırmaktadır (Chae ve ark., 2007). Bu ayırma işleminde membranın özelliği önemli yer tutmaktadır. Eğer membran proton ya da katyon seçici bir membran ise, bu membran sadece pozitif yüklü elementlerin geçişine izin verecektir. MYH sistemlerinde anot bölümünde bulunan mikroorganizmalar anaerobik ortamlarda büyümektedirler. Organik maddelerin mikroorganizma içinde yıkımı sonucunda oluşan elektronlar anot elektrota aktarılıp, bir devre aracılığı ile katot bölümüne gönderilirken, yıkım sonucunda ortamda aynı zamanda da protonlar ortaya çıkmaktadır. Bu protonlar seçici geçirgen özellikte olan membran aracılığı ile katot bölümüne iletilmektedir. Membran katyonların geçişine izin verirken, anaerobik bakteriler için ölümcül tehlike yaratan, katot bölümünde bulunan bir anyon olan oksijenin de anot bölümüne geçişini engellemektedir. Membran ayrıca her iki bölümde bulunan sıvı karışımını da birbirinden ayırmaktadır (Logan, 2008). MYH sistemlerinde membranın kullanılması bir zorunluluk değildir. Membran kullanılıp kullanılmamasına göre MYH sistemleri, Membranlı ve Membransız MYH olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Membransız MYH sistemlerinde protonların taşınması su ile gerçekleşmektedir. Liu ve Logan (2004) yaptıkları çalışmada, membransız MYH sisteminde, membranlı olandan daha fazla güç üretildiğini göstermişlerdir. Bipolar membran, Nafyon, katyon, anyon, ultrafiltrasyon membranları ve nanoporlu polimer filtreler gibi çeşitli membran çeşitleri (Şekil 1.11) denenerek yapılan birçok çalışmada iki bölmeli, membranlı, MYH sistemlerinde en yaygın olarak Nafyon membranının kullanıldığı bulunmuştur. Nafyon membranının popülaritesinin, kimyasal yakıt hücrelerinde kullanıldığında proton iletkenliklerinin ve termal ve mekanik stabilitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Fan ve ark., 2007). Yine aynı araştırmada membranın işletim maliyetini yükselttiği, konfigürasyonu zorlaştırdığı ve üretilen güç yoğunluğunu azalttığı gibi dezavantajları belirtmiştir.



**Şekil 1.11** MYH sistemlerinde kullanılan membran çeşitleri. Sol ve sağ üstte; Katyon, Anyon Değişim Membranları, sağ altta; Nafyon Membran (Logan, 2008)

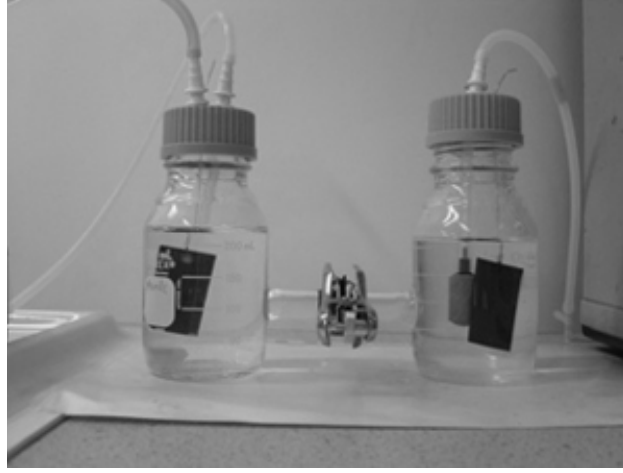
## **1.6. Mikrobiyal Yakıt Hücre Konfigürasyonları**

MYH çalışmaları için günümüze kadar çok farklı konfigürasyonlarda MYH sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan ilki iki bölmeden oluşan, tipik olarak kesikli modda çalıştırılan iki bölmeli MYH sistemleridir. Genellikle laboratuvar çalışmalarında kullanılırlar. Tipik iki bölmeli MYH sistemleri membranla bağlantılı olan bir anot ve bir katot bölümüne sahiptir.

### **1.6.1. İki bölmeli MYH**

İki bölümden oluşan H şekilli MYH (hMYH) sistemi en yaygın olarak kullanılan ve pahalı olmayan bir dizayna sahiptir. Bu sistemde iki cam şişe genellikle katyon membran içeren bir tüp ile birbirine bağlantılı haldedir. hMYH’de, membran, şişeyi bağlayan tüpün ortasında tutturulmuştur (Şekil 1.12) (Logan ve Regan, 2006). Küp şeklinde dizayna sahip olan NCBE tip olarak da adlandırılan kübik MYH (kMYH)’de iki bölmeli MYH reaktörlerindedir (Şekil 1.13). Kesikli olarak çalıştırılmaktadır. hMYH’den en önemli farkı, kullanılan membranın boyutudur. hMYH’de tüp arasına yerleştirilmiş şekilde bulunan membran, anot ve katot bölümlerine oranla çok küçükken, kMYH’de kullanılan membran ile anot ve katot bölümleri eşit büyüklüktedir. Membranın bu özelliği, anot bölümünde oluşan protonların geçişinde hMYH’ye oranla daha sorunsuz bir geçiş

sağlamaktadır. Ancak kMYH’de, kolombik etkinin düşmesine neden olan oksijenin anot bölümüne diffüze olması daha fazla olmaktadır (Kang ve ark., 2003).



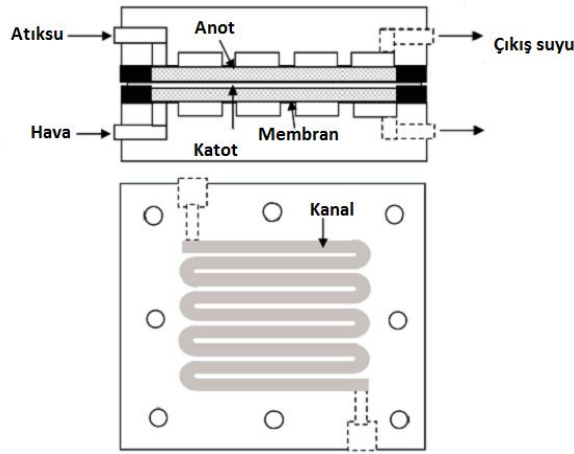
**Şekil 1.12** H tipi MYH sistemleri



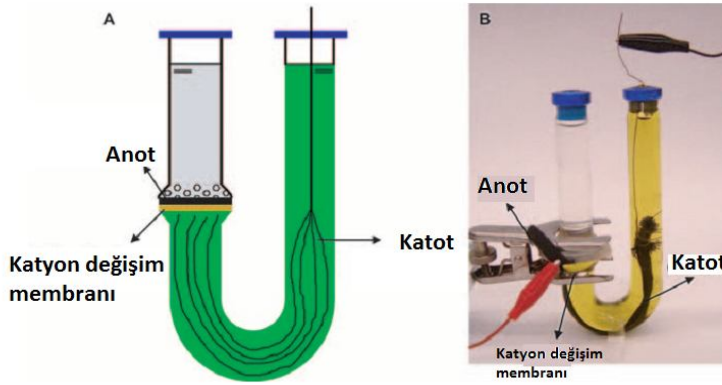
**Şekil 1.13** Kübik MYH sistemleri

Sürekli sistemde çalıştırılan, düz levha MYH sisteminde (Şekil 1.14), anot ve katot bölümlerini ayırmak için bir kanal içeren, iletken olmayan polikarbonat iki levha birleştirilmiştir. Her bir levha yüzey alanını genişletmek için, kıvrımlı bir şekilde, bir dikdörtgen kanal oluşturacak şekilde dizayn edilmiştir. Evsel atık suyun kullanıldığı, farklı parametrelerin değiştirildiği deneylerde, bu MYH sisteminin tipik yürütülen MYH sistemlerine göre daha çok güç yoğunluğu ürettiği gösterilmiştir (Min ve Logan, 2004). MYH sistemlerindeki fonksiyonel, baskın popülasyonların belirlenmesinde kullanılan bir metod olan “yok edercesine seyreltme metodu” temel alınarak yapılan reaktör tipinde, izolasyonla bakterilerin zenginleştirilmesi için U şekilli MYH sistemi geliştirilmiştir (Şekil 1.15) (Zuo ve ark., 2008). Chang ve ark. (2004), BOD sensör olarak kullanılmak üzere geliştirilen MYH reaktörünü, sürekli sistemde çalışabilen, medyatörsüz, katyon değişim

membranı kullanılarak dizayn etmişlerdir. Elektrolit olarak grafit keçe kullanılan sistemde platin tel elektrotlar arasında bağlantı kurmak için kullanılmıştır.



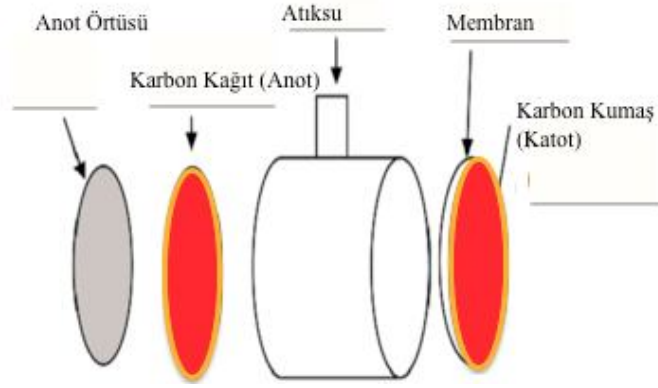
Şekil 1.14 Düz Levha MYH ( Min ve Logan, 2004)



Şekil 1.15 U Şekilli MYH (Zuo ve ark., 2008)

### 1.6.2. Tek bölmeli MYH

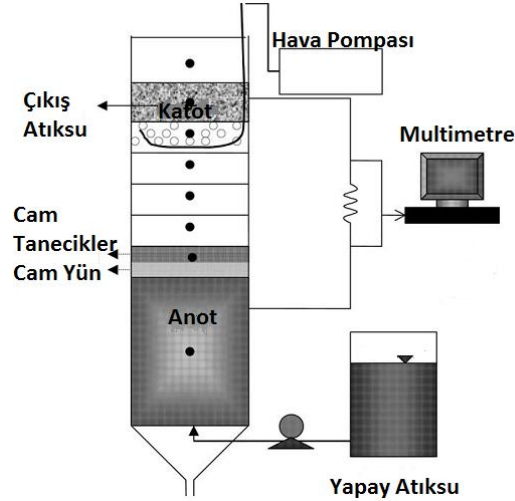
Yalnızca anot bölümüne sahip olan tek bölmeli MYH sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler, dizayn olarak daha basittirler ve havalandırma için ekstra maliyete ihtiyaç duymamaktadırlar (Du ve ark., 2007). Liu ve Logan (2004) yaptıkları tek bölmeli MYH’de, plastik pleksiglas silindirik yapının zıt kutuplarına, herhangi bir katalist içermeyen karbon kâğıttan yapılmış bir anot elektrot, platin katalist içeren ve membrana direkt olarak bağlantılı olan karbon kumaştan bir katot elektrotu yerleştirilerek tek bölmeli MYH reaktörü oluşturmuşlardır (Şekil 1.16).



**Şekil 1.16** Katot bölgesi havaya açık olan MYH sistemleri (Liu ve Logan, 2004)

### 1.6.3. Yukarı akışlı MYH

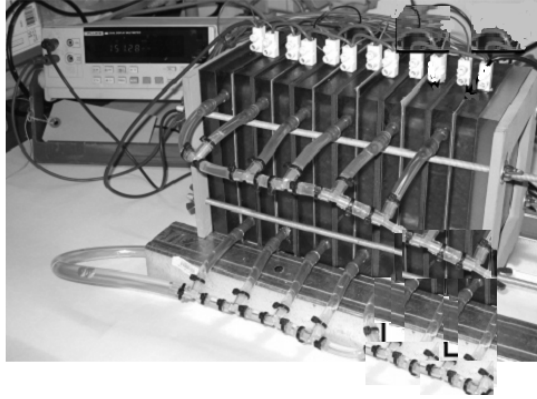
Poliakrilit plastikten yapılmış, silindir şekilli, anot bölümü altta katot bölümü ise yukarıya olan medyatörsüz ve membran yerine cam yün ve cam taneciklerin olduğu iki bölmeli, yukarı akışlı MYH sistemi geliştirilmiştir (Şekil 1.17). Yukarı akışlı MYH sistemlerinde yapılan çalışmada çok miktardaki oksijenin anot bölümüne geçtiği ve dolayısıyla yeterli verimin üretilmediğini gösterilmiştir (Jang ve ark., 2004).



**Şekil 1.17** Yukarı Akışlı MYH (Jang ve ark., 2004)

#### 1.6.4. Yığın MYH sistemleri

Güçlendirilmiş voltaj ya da akım çıkışının, seri ya da paralel olarak bağlanmış kMYH'lerden oluşan yığın MYH sistemleri ile başarılabilceği gösterilmiştir(Şekil 1.18) (Aelterman ve ark., 2006; Du ve ark., 2007).



Şekil 1.18 Yığın MYH (Aelterman ve ark., 2006)

#### 1.7. Voltaj ve Güç Üretiminin Temelleri

Tipik olarak, MYH'nin değerlendirilmesinde ilk adım multimetre kullanarak devre voltajının ölçülmesidir. Voltaj, direncin ve akım (A) fonksiyonudur. Ohm kanunu güç (P), voltaj (V), akım (A) ve direnç (R) arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir kanundur. Bir ohm, iki nokta arasındaki 1 voltluk gerilim farkı altında devreden 1 amperlik akım geçmesini sağlayan direnç değeridir. Güç yoğunluğu MYH performansını değerlendirmenin diğer parametresidir. MYH'nin güç çıkışı (P),  $P = V \cdot I$  formülüne göre hesaplanabilir. Güç çıkışı elde edilen bilgilerle hesaplanmış elektrot yüzey alanı ile ya da MYH hacmine dayalı hesaplamalar ile normalize edilir. Akım yoğunluğu güç yoğunluğu eğrisinin bir fonksiyonu olarak kullanılır. Kolombik verimlilik organik maddeden akım olarak sisteme verilen kurtarılmış elektronlarını hesaplamak için kullanılır. Kolombik verimlilik, substrattan üretilen teorik kolomb'u geçerli zamana entegre edilmesiyle elde edilen kurtarılmış toplam kolombların oranı olarak hesaplanabilir. Enerji geri kazanımı MYH'nin performansının kıyaslanmasında kullanılır ve eklenen organik substratın teorik ısıtma enerjisine, hücre tarafından üretilen güç yoğunluğunun oranıdır. Kimyasal ya da biyolojik oksijen yoğunluğu (KOİ; BOİ), biyokütlenin elektriksel akıma dönüşümü sırasında ve/veya sülfat ve nitrat indirgenmesi sırasında MYH sistemlerinde giderilebilir (Catal, 2008).

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çatal (2008), yaptığı doktora tezinde, lignoselülozik biyokütlelerde bulunan monosakkaritlerden, disakkaritlerden, şeker alkollerinden direkt olarak elektrik üretimi, hava-katot mikrobiyal yakıt hücreleri kullanılarak araştırmıştır. Başlıca on iki monosakkariti, iki disakkariti ve altı şeker alkollerini kapsayan karbon kaynakları ile elektrik üretimi gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, lignoselülozik maddelerden türevli monosakkaritlerin, disakkaritlerin, şeker alkollerinin ve odun türevli maddelerin ön muamele ile mikrobiyal yakıt hücreleri için uygun birer karbon kaynağı olabileceklerini göstermiştir.

Çavdar (2009), tezinde asetat içeren sentetik atıksu ile beslenen iki çift bölmeli MYH'lerin işletilmesi ve akım üretimi farklı anot ve katot materyalleri kullanarak incelenmiştir. Sonuçta, katotdaki demirsiyanür'ün elektron alıcısı olarak kullanıldığı zaman MYH'lerin elektrik akımı ve güç üretimi önemli oranda artış olduğunu göstermiştir.

Eren (2010), yaptığı çalışmada; beş adet benzer Tek-Odalı hava-katot Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinin, okside olabilen bir karbon kaynağı varlığında, sekiz tekstil boyasını (Remazol Black RL, Remazol Brilliant Blue BB Gran 133 %, Remazol Turquoise Blue G 133, Reactive Red 195, Reactive Yellow 145, Reactive Black 5, Remazol Blue RR, Reactive Blue 222) giderme ve eş zamanlı elektrik üretim kapasitesinin gözlenmesi amacıyla kurulmuştur. Bu çalışma; çeşitli boyaların, okside edilebilir bir karbon kaynağı varlığında Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde giderilebileceğini göstermiştir.

Yılmaz (2011), bu çalışmada, 3 farklı tip MYH'de (Çift Bölmeli, Biyo-katot ve Hava-katot) elektrokimyasal aktivite gösteren bakteri türleri 16S rDNA bazlı moleküler teknikler ile tespit edilmiştir. Eş zamanlı PZR deneyleri ile Geobacter türlerinin diğer türlerle miktarsal oranı tayin edilmiş ve bu oranın pil voltajı üretimindeki etkisi incelenmiştir.

Karlıkanovaite (2011), Krom-nikel plaka elektrot kullanılan iki odalı mikrobiyal yakıt hücresinde yakıt olarak arıtma çamuru kullanılarak elektrik üretimi ve karbon giderimini sağlamıştır.

Akoğlu (2011), tez çalışmasında iki bölmeli mikrobiyal yakıt hücresi (MYH) ile karbon kaynağı olarak glikoz kullanılan sentetik atıksudan elektrik üretimi araştırmıştır. Çalışmasında birinde TiO<sub>2</sub> kaplamalı titanyum diğeri grafit elektrot kullanılan iki MYH

kullanmıştır. Sonuçta Ti-TiO<sub>2</sub> elektrotun MYH'lerde güç üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Atamert (2011), tez çalışmasında, mediatörsüz (aracısız) iki bölmeli mikrobiyal yakıt hücresi kullanılarak, elektrik üretimi ve karbon kaynağı olarak sodyum asetat ile beslenen sentetik atıksudaki organik kirleticinin oksidasyonu incelenmiştir. KOİ, UAKM, pH, voltaj (V), akım (I), güç (P), güç yoğunluğu (PAN), ve akım yoğunluğu (IAN) gibi parametrelerini de incelemiştir.

Arslan (2011), tezinde, elektrik üretimi ve iki bölmeli mikrobiyal yakıt hücresi (MYH) kullanılarak karbon kaynağı olarak nişasta ile beslenen bir sentetik atıksu içindeki kirletici maddelerin oksidasyonu incelenmiştir.

Aktan (2011), çalışmasının birinci kısmında iki bölmeli mikrobiyal yakıt hücresinde saf kültür *Shewanella putrefaciens* kullanılarak farklı organik maddelerden elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmasının ikinci kısmında ise tek bölmeli mikrobiyal yakıt hücresinde aklime edilmiş karışık kültür mikroorganizmalar kullanılarak sodyum asetat ile beslenen sistem için elektrik üretimi, akım, kimyasal oksijenihtiyacını (KOİ) giderimi, Kolombik verimliliği bulunmuştur.

Özpek (2012), bu çalışmada, medyatörsüz ortamda iki farklı sentetik atıksu ile mikrobiyal yakıt hücrelerinde üretilen enerji yoğunluklarını araştırmıştır.

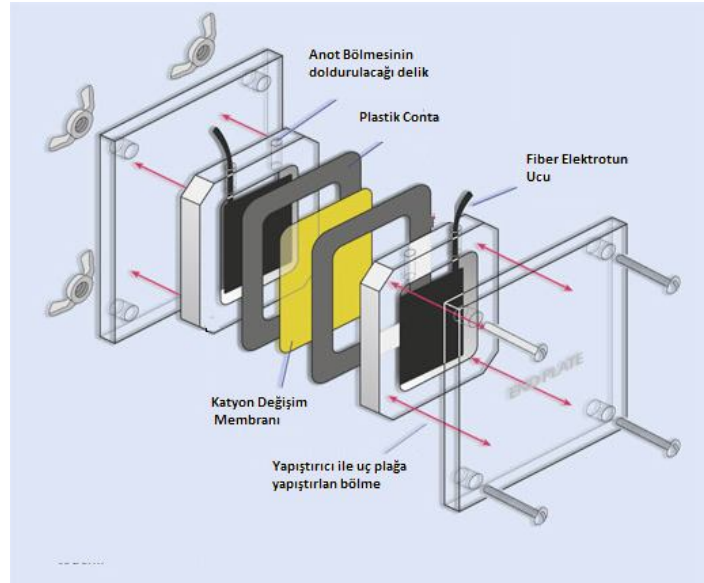
Şahin (2012), çalışmasında, elektrik üretimi ve iki bölmeli mikrobiyal yakıt hücresi (MYH) kullanılarak karbon kaynağı olarak bira atık suyu ile beslenen bir atıksu içindeki kirletici maddelerin oksidasyonu incelenmiştir.

### 3. MATERYAL VEYÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. İki bölmeli MYH sistemi

Çalışmada, iki bölmeli kübik MYH sistemi kullanıldı. Sistemin kurulması için gerekli malzemeler; pleksiglas, karbon elektrotlar, katyon değişim membranı, lastik conta, vidalarıydı. Sistem kurulumundan önce karbon fiber elektrot yapıldı. Bunun için, MYH sisteminde elektrotun yerine uygun olarak ve elektrotun bir kısmınının, akım ve voltajı ölçmeye yarayan voltmetre ile bağlantı kuracak şekilde olması için, fiber şeklinde elektrot kesilerek uzun süreli iletimin sağlanabilmesi için fiber katlandı. Katlanan kısım elektriği ileten metalle kaplandı. Metal kısmın paslanmaması için elektriği geçiren ama paslanmayı önleyen boya, fırça yardımıyla boyandı. Karbon fiber elektrotun yerleştirildiği çember, bir yapıştırıcı ile pleksiglastan yapılmış bir uç plağına tutturuldu. Sırasıyla lastik conta, katyon değişim membranı, lastik conta, katot elektrotun konulduğu çember ve uç plak olacak biçimde sistem dizayn edildi (Şekil 2.1). Sistemin kurulması sonucunda hacimleri eşit olan 300 mL'lik anot ve katot bölmeleri elde edildi. Sistemde kullanılan anot ve katot elektrotların ve katyon değişim membranının ebatları 10x10 cm'dir. Anot ve katot elektrotun fiber yapılan kısımları Keithley 2700 Data Acquisition multimetre cihazına bağlanarak, farklı dış dirençler kullanılarak ve sistemde oluşan voltaj ve akım değerleri ölçüldü. Reaktörler oda sıcaklığında işletildi (Çizelge 2.1).



## Şekil 2.1 Çift bölmeli kübik MYH sisteminin kurulumu

### Çizelge 2.1.MYH reaktörlerin işletme parametreleri

	Reaktör Hacmi(mL )	Sıcaklık (°C)	Elektrot Yüzey Alanı(cm <sup>2</sup> )	Membran Yüzey Alanı(cm <sup>2</sup> )	Substrat konsantrasyonu (mg/L)	pH
kMYH	300	25	100	100	250 -3000	7,2

### 3.1.2. Sentetik atıksu

Bu çalışmada beş adet paralel MYH sistemi kullanıldı ve MYH sistemleri kesikli sistemde işletildi. Çalışmada kullanılan sentetik atıksu olarak Çizelge 2.2, Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’de gösterilen kimyasallar ve miktarlar kullanıldı (Catal ve ark., 2008; Liu ve ark., 2008; Liu ve ark., 2009; Sharma ve Li, 2009). Çalışmada farklı karbon kaynağı olarak glikoz, etil alkol ve ön arıtıma tabi tutulmuş zeytin karasuyu kullanıldı. Substratların başlangıç TOK konsantrasyonları 250-3000 mg/L olacak şekilde 5 farklı konsantrasyonda reaktörlere verildi.

### Çizelge 3.2.Sentetik Atıksu İçerisindekiKimyasallar ve Derişimleri

Kimyasallar	Derişim ( 1L için )
NH <sub>4</sub> Cl	0,31 g
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O	5,84 g
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	15,47 g
KCl	0,13 g
Mineral solüsyonu	12,5 mL
Vitamin solüsyonu	12,5mL

**Çizelge 3.3.** Mineral Çözeltisinde Bulunan Kimyasallar ve Derişimleri

<b>Kimyasal</b>	<b>Derişim (mg/L)</b>
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	1000
ZnCl <sub>2</sub>	70
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	100
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	6
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	130
CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	2
NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	36
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	238

Her iki bölmede pH= 7,2'de sabit tutulabilmesi tampon çözelti (7,78 g/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve 26,22 g/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) kullanıldı. Katot bölümü solüsyonu ise, karbon kaynağı ve mineral solüsyon eklemekten hazırlanan anot çözeltisine elektron akışını sağlamak amacıyla katalizör görevi gören K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> (50 mM) ilave edilmesiyle hazırlandı. Katolit seviyesi azaldığında, gerektiği kadar katolit solüsyonu katot bölmesine eklendi.

**Çizelge 3.4.** Vitamin Çözeltisinde Kullanılan Kimyasallar ve Derişimleri

<b>Kimyasal</b>	<b>Derişim (mg/L)</b>
Biotin	2
Folik asit	2
Pyridoxine HCl	10
Tiamin HCl	5
Riboflavin	5
Nikotonik asit	5
Pantotenik asit	5
Siyanokobalamin	0,1
p-aminobenzoik asit	5

**Çizelge 2.5.** Zeytin Karasu Karakteristiğine İlişkin Literatür Veri Özetleri (Şengül ve ark., 2003)

Parametre	Birim	Pompei (1974)	Fiestas (1981)	Steegmans (1992)	Hamadi (1993)	Andreozzi (1998)
pH	g/L	----	4,7	5,3	3-5,9	5,09
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	g/L	195	----	108,6	40-220	121,8
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	g/L	38,44	----	41,3	23-100	----
Toplam Katı Madde	g/L	----	1-3	19,2	1-20	102,5
Organik Katı Madde	g/L	----	----	16,7	----	81,6
Yağ ve Gres	g/L	----	----	2,33	1-23	9,8
Poli Fenoller	g/L	17,5	3-8	0,002	5-80	6,2
Uçucu Organik Maddeler	g/L	----	5-10	0,78	0,8-10	0,96
Toplam Azot	g/L	0,81	0,3-0,6	0,6	0,3-1,2	0,95

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. MYH sistemine mikroorganizmaların aşılınması

Literatürde, elektrokimyasal olarak aktif karışık kültürlerin çoğunlukla, deniz ve göl sedimentinden, birincil arıtım çıkış suyundan ya da atıksu arıtım tesislerindeki aktif çamurdan elde edildiği rapor edilmiştir. Bu çalışmada, anot bölmede biyokalalist olarak kullanılan bakteriler, Mersin ve Kayseri evsel atıksu arıtım tesislerindeki anaerobik çamurundan alındı. Alınan bakteriler karbon anot yüzeye tuttunduruldu.

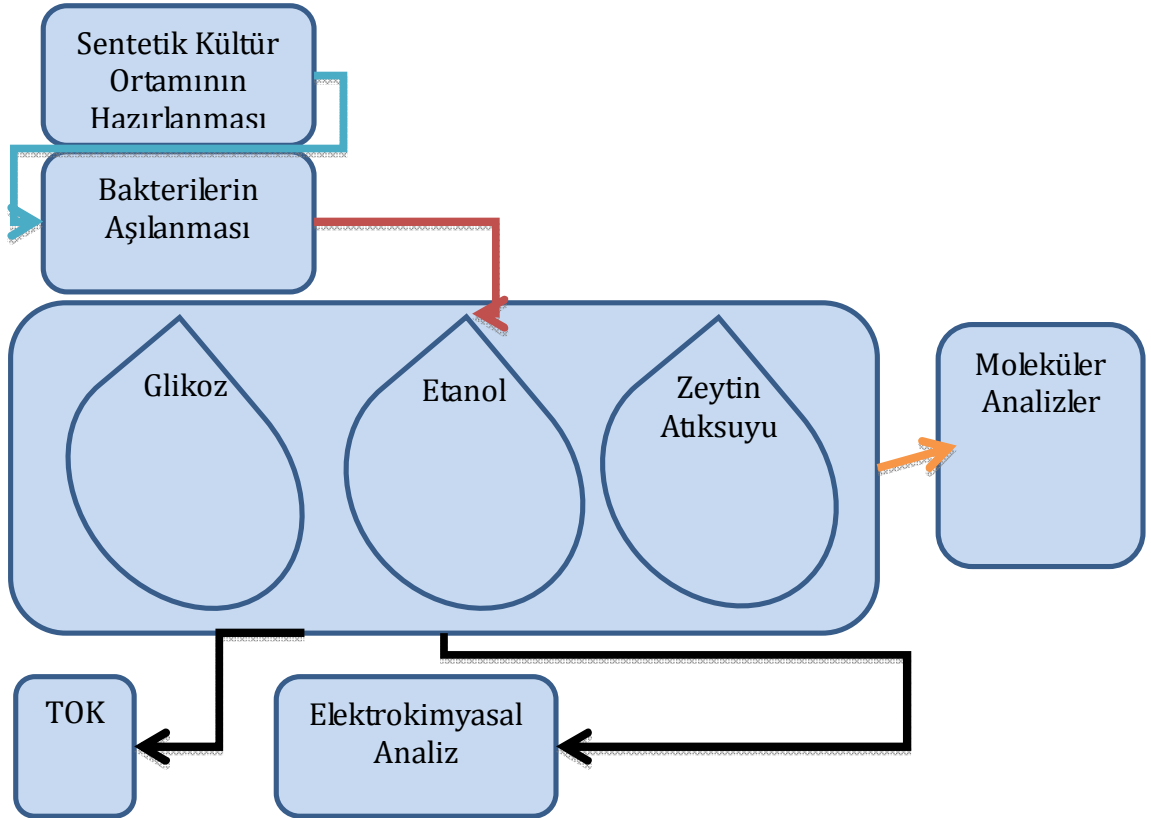
#### 3.2.2. MYH sisteminin işletilmesi

Bu deneyde kullanılan MYH sistemi kesikli olarak çalıştırıldı. Anot bölmesine sentetik atıksu ekleme işlemi, kullanılan substrat kaynağının bakteriler tarafından kullanılarak stabil bir akım üretmesine kadar değiştirilmedi, akım sabitlendiğinde sentetik atık su yenisiyle değiştirildi. Anaerobik koşulların sağlanabilmesi için anot bölmesine N<sub>2</sub> gazı peristaltik pompa yardımıyla sürekli olarak verildi. Diğer yandan, aerobik katot bölmesine hava pompası takılarak sürekli O<sub>2</sub> takviyesi sağlandı. Sistemin çalışma sıcaklığı oda sıcaklığında, pH'ı ise tampon çözelti ile 7,2'de tutuldu.

### 3.2.3. Deneysel plan

Deneysel plan şematik olarak Şekil 3,2’de gösterilmiştir. Deneysel süreç 2 kademedir oluşmuştur. Birinci kademe, mikroorganizmaların anot elektrotta tutunması sağlanıp, sentetik kültür ortamının hazırlanması ile her bir reaktör farklı substrat içerecek şekilde 5 adet MYH sistemi kurulmasını içermektedir. Bu sistemlere farklı konsantrasyonda substrat ilave edildi. Kullanılacak substrat konsantrasyonları en düşükten en büyüğe doğru olacak şekilde 250-3000 mg/L TOK olacak şekilde sisteme verildi. Sistemler çalışırken sistemdeki TOK ve Elektrokimyasal analizler yapıldı. Belirli zaman aralıklarında anot bölmeden örnekler alınarak sistemin TOK giderim verimi takip edildi. Reaktörlerde üretilen akımın tespiti multimetre ile sağlandı.

İkinci kademe olarak, çalışılan her bir substrat değişiminde TOK tüketimi tamamlandıktan sonra ve sistemde üretilen elektrik enerjisi belirli bir mV’un altına düşüp sabit kaldıktan sonra reaktörler bozuldu ve alınan örneklerde moleküler çalışmalar yapıldı. Her bir substrat konsantrasyonundan sonra MYH sistemleri bozularak ve anot bölümünden alınan mikroorganizmaların moleküler analizleri yapıldı.



Şekil 2.2. Deneysel Plan

### 3.2.4. Toplam organik karbon (TOK) analizi

Sisteme belirli konsantrasyonda eklenen ve mikroorganizma tarafından kullanılan substratın zamana bağlı olarak tüketimi, belirlenen zaman aralıklarında alınan numunelerdeki TOK miktarının belirlenmesi ile Toplam Organik Karbon (TOK) (Teledyne Tekmar, Torch, USA) cihazında ölçülmüştür. Cihaz kalibrasyonu, analizi yapılacak numunelerin yaklaşık TOK değeri baz alınarak yapılmıştır. TOK kalibrasyonu için 500 ppm'lik stok çözelti kullanılarak, 10 -500 ppm aralığında 7 noktalı kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur.

### 3.2.5. Elektrokimyasal görüntüleme ve analiz

Anot ve katot elektrotlar, bakır iletken ve harici direnç (100000 Ohm) kullanılarak birbirine bağlandı. Harici direnç, ölçülen en yüksek akım sonucunda belirlendi. Oluşan akım kapalı devre üzerinden multimetre cihazı (Keithley 2700 Data Acquisition) 1 saat ara ile ölçüldü. Ölçülen akım değerleri cihaza bağlanabilen bir bilgisayar yardımı ile kaydedildi. Bu multimetre ile oluşan elektrik, akım (mA) veya voltaj (mV) olarak ölçüldü. Akım, voltaj ve güç değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilen Eşitlik (1) ve (2) kullanıldı.

$$V=AxI \quad (1)$$

$$P = IxV \quad (2)$$

V;Pil Voltajı, A; Akım, I; Direnç, P; Güç

### 3.2.6. Kromozomal DNA izolasyonu

Moleküler biyoloji çalışmaları için gerekli total DNA, anot bölgesinde bulunan bakterilerden, GF-1 Bacterial DNA Extraction Kit (Vivantis) kullanılarak protokole uygun bir şekilde yapılmıştır. Bu bakteriler 5 ml'lik tüplere konularak 6000 x g'de 2 dakika santrifüj edilip süpernatant uzaklaştırılmıştır. Pellet üzerine kite ait Buffer R1 solüsyonundan 100 µl eklenip pipet yardımı ile karıştırılmıştır. Karışım 2 ml tüpe pipet aracılığı ile transfer edilmiştir. Üzerine 20µl lizozim eklenmiş 37 °C'de 20 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Sonrasında 10000 x g'de 3 dakika santrifüj edilmiş, süpernatant uzaklaştırılmıştır. Pellet üzerine 180 µl Buffer R2 solüsyonu eklenmiş, pipet ile karıştırılmış ve karışım 65 °C'de 20 dakika inkübe edilmiştir. 200 µl etanol eklenip, vortekslenmiştir. Tüpteki karışım kite ait 2 ml column tüpe transfer edilip 10000 x g'de 1 dakika santrifüj edilmiştir. Tüpün altında kalan kısım uzaklaştırılmıştır. Bu

işlemden sonra 750 µl Wash Buffer eklenmiş, 10000 x g'de 1 dakika santrifüj edilmiştir. Altta kalan sıvı uzaklaştırılmış santrifüj işlemi tekrar edilmiştir. Kolon yeni steril tüpe transfer edilip üzerine 65 °C'de ısıtılmış Elution Buffer'dan 50 µl eklendikten sonra 2 dakika oda sıcaklığında, tüpler dik durak şekilde bekletilmiştir. Son işlem olarak 10000 x g'de 1 dakika santrifüj edildikten sonra kolon uzaklaştırılmıştır. Elde edilen DNA örnekleri jel elektroforez yöntemiyle gözlemlendikten sonra -20 °C'de saklanmıştır.

### 3.2.7. DNA'nın jel elektroforezi

Agaroz jel hazırlamak üzere; 1,5 g agaroz, 100 ml'lik 1X TBE tampon çözeltisinde [1000 ml TBE (1X) tampon çözeltisi hazırlamak için; 5,5 g Borik asit, 10,8 g Trizma base ve EDTA (500 mM) çözeltisinden 4 ml eklenerek 1000 ml saf su ile karıştırılır] çözdürülmüştür. Analiz edilecek DNA örnekleri 1/5 (loading buffer/DNA) oranında yükleme solüsyonuna [10 ml DNA loading buffer için; 0,025 mg bromofenol blue, %40 sükröz ve 2,5 ml EDTA (100 mM) (pH 8,0)] eklenerek yüklemeye hazırlanmıştır. λ DNA 100 baz çiftlik DNA markörleri (Favorgen) kullanılmıştır. Elektroforez tankında (Bio-Rad), jel 120 V'da 35 dakika koşturulmuştur. Koşturulan agaroz jel Et-Br (0,5 µg/ml) ile 20 dakika boyanmıştır. DNA örnekleri UV ışığı altında görüntülenmiş ve fotoğraflanmıştır.

### 3.2.8. Polimeraz zincir reaksiyonları (PZR)

PZR işlem toplam 50 µl hacimde gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon için; 5 µl buffer (10X) [500 mM Tris-HCl (25 °C'de pH 8,0), 50 mM MgCl<sub>2</sub>, 10 mM DTT], 1 µl dNTP (1mM), ileri(341f-GC: CGC CCG CCG CGC CCC GCG CCC GGC CCG CCG CCC CCG CCC CCC TAC GGG AGG CGA CAG) ve geri (534r: ATT ACC GCG GCT GCT GG) (Ha ve ark., 2007; Jiyoung ve ark., 2003; Muyzer ve ark., 1993; Thu ve ark., 2004) primerlerden 1'er µl(20 pmol), 0,5 µl Taq DNA polimeraz (5 u/µl) [25 mM Tris-HCl (pH 7,5), 0,1 mM EDTA, 1mM DTT ve %50 (v/v) gliserol], 1 µl kalıp DNA ve 50 µl'ye tamamlamak üzere 41,5 µl dH<sub>2</sub>O ile karıştırılarak hazırlanmıştır.

Primerlerin yapışma sıcaklıklarının hesaplanması ve dizi uygunlukları internet tabanlı program (<http://www.sigma-genosys.com/calc/DNACalc.asp>) ile yapılmış ve sonrasında ticari firmalardan sipariş edilmiştir (İontek, İstanbul). PZR işleminde, 1 dakika 94 °C DNA'nın denatürasyonu, 1 dakika 57 °C'de primerlerin yapışması, 3 dakika 72 °C'de uzama sıcaklığı ayarlanmış ve PZR 30 döngü olarak yapılmıştır.

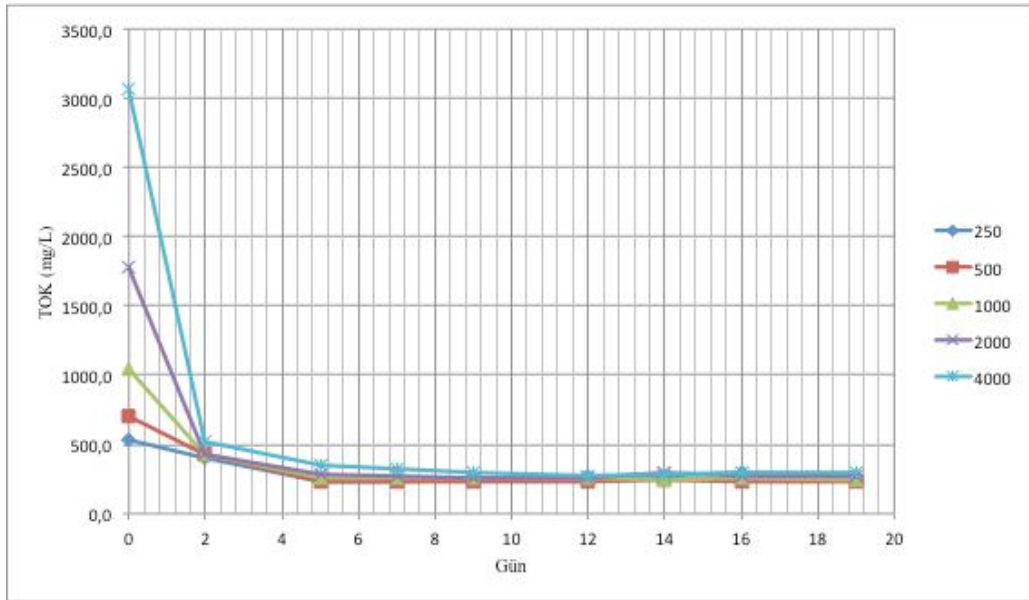
### **3.2.9. DNA dizi analizleri**

PZR sonucu elde edilen bantlardan, elektrik üretimini etkilediği düşünölen bantlar ile farklı konsantrasyonlarda verilen substrat kaynakları sonucu o ortamlarda baskın olduğu düşünölen bantlar DNA dizi analizine gönderilerek bu bantlara ait tür tanımlanması yapıldı. Günümüzde yaygın olarak kullanılan sekans metodu Sanger tarafından bulunmuş olan “zincir-sonlandırma” metodu olduğu için bu yöntem seçilmiştir.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Farklı Substrat Kaynaklarını İçeren Ortamda TOK Giderim Değerleri

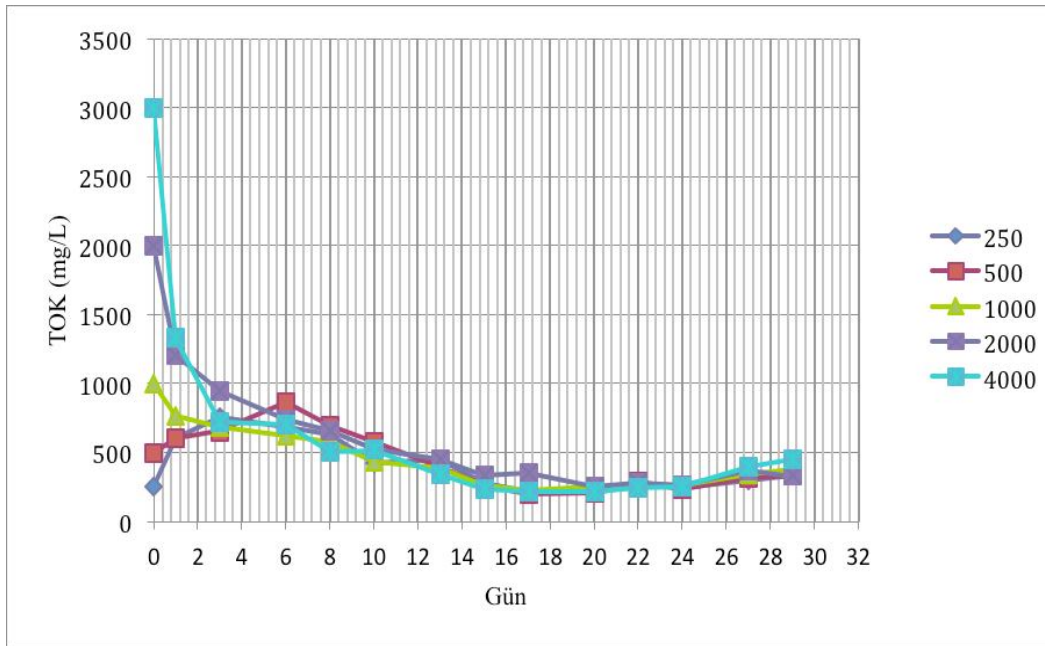
Kullanılan her üç substrat kaynağı da sistemde bulunan mikroorganizmalar tarafından belirli bir seviyeye kadar giderilmiştir. Glikoz ve etanol substratları saf kaynaklar iken, zeytin karasuyu bünyesinde bakterilere zararlı olabilecek bileşenler içerdiğinden (fenolik bileşikler) bu zararı minimum seviyeye çekmek için, saf su kullanılarak deney metodumuza uygun olacak şekilde TOK derişimi 10.000 mg/L olan stok çözeltiden 250-500-1000-2000-3000 mg/L TOK olacak şekilde seyreltilmiştir. Giderim oranları glikoz, etanol ve zeytin karasuyu için ortalama olarak %73,6, %55,5 ve %31,8 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.1. Glikoz İçeren Ortamda TOK Derişiminin Zamanla Değişimi

Sisteme verilen farklı substratlara mikroorganizmaların uyumluluğu da farklı olmuştur. En hızlı uyumu, 5 gün ile glikoz sağlamışken, etanol verilen MYH sistemlerinde bu uyum 15 gün içinde gerçekleşmiştir. Zeytin karasuyuna mikroorganizmaların uyum gösterme süresi ise ortalama 7 gün olmuştur. Bu uyum sürecinden sonra, sistemde substrat giderim yüzdeleri stabil hale gelmiştir. Sistemin stabil halde bulunması, ortamda bulunan bakterilerin ortama iyi uyum sağladığının veya ortamdaki toksik maddeler sonucu bu bakterilerin ölmüş olabileceğinin bir göstergesidir.

Substrat giderim yüzdeleri, sisteme konulan substratların konsantrasyonları ile de doğru orantılı olarak giderilmiştir. En yüksek konsantrasyonda verilen substratın giderim yüzdesi en büyük değerde kalırken, en düşük giderim yüzdesi değerleri sisteme verilen en düşük substrat konsantrasyonunda ölçülmüştür. Bu giderim sisteme verilen en düşük konsantrasyondan en yoğun konsantrasyona doğru, glikoz için %48,5-%67,8-%77,1-%84,5-%90,4; etanol için %44,6-%44,1-%50,2-%72,7-%65,8; zeytin karasuyu için %20,9-%10,9-%37,1-%41,6-%48,7 olarak bulunmuştur. Substrat konsantrasyonu artmasına rağmen giderim yüzdesinin azalması sadece etanol setindeki 3000 mg/L TOK ile 2000 mg/L TOK konsantrasyonları arasında farklılık göstermiştir. Daha yüksek konsantrasyonda verilen substratın (3000 mg/L TOK) giderim yüzdesi, düşük konsantrasyonda verileden (2000 mg/L TOK) daha az ölçülmüştür. Bunun sebebi ölçüm hatasından kaynaklı olabileceği gibi, daha yüksek konsantrasyonda verildiği ortamda mevcut olan mikroorganizmaların uyumunun sağlanmasındaki problem de sebep olmuş olabilir.



**Şekil 3.2.** Etanol İçeren Ortamda TOK Derişiminin Zamanla Değişimi

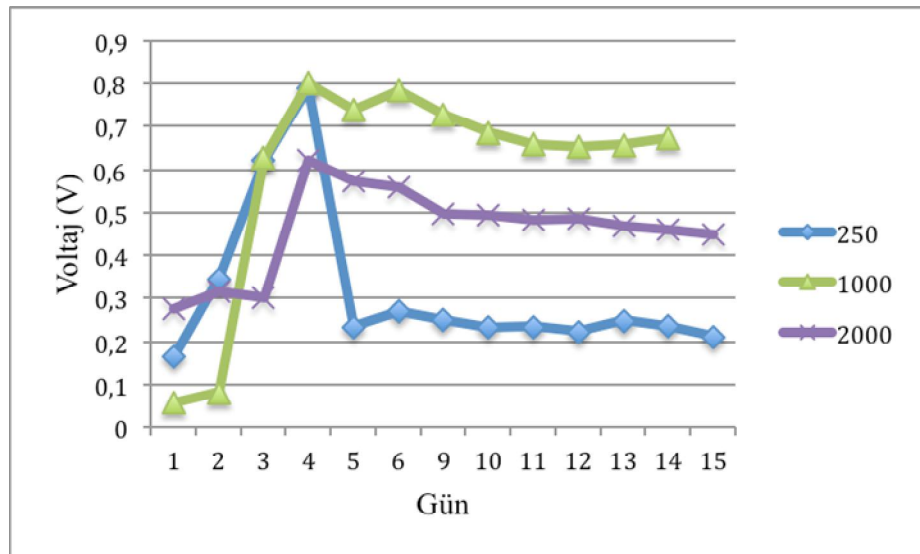
Glikoz bakteriler tarafından hızlı bir şekilde tüketilebilmişken, bakteriler etanolu daha yavaş şekilde tüketebilmişlerdir. En yavaş ve dalgalamanın olduğu substrat ise, zeytin karasuyunun tüketiminde görülmüştür.



Şekil 3.3.Zeytin Karasuyu İçeren Ortamda TOK Derişiminin Zamanla Değişimi

#### 4.2. Substrat Kaynaklarının Elektrik Verimi Üzerine Olan Etkileri

Elektrik devrelerinden kaynaklı problemlerden dolayı volt ölçüm cihazı bazı değerleri aşırı yüksek, bazılarını ise negatif okumuş olduğundan, substrat kaynaklarının elektrik verimi üzerine olan etkileri tam olarak anlaşılamamıştır. Negatif değerlerin pozitif yapıp, aşırı derece okunan değerlerin çıkarılması ile 14 günlük ortalama voltaj değerleri bulunduğunda en iyi değere glikoz substratı sahipken, etanol ve zeytin karasuyunun ortalaması neredeyse eşit şekilde bulunmuştur. Bulunan değerler glikoz, etanol ve zeytin karasuyu için sırasıyla 283, 202 ve 208 mV'tur.



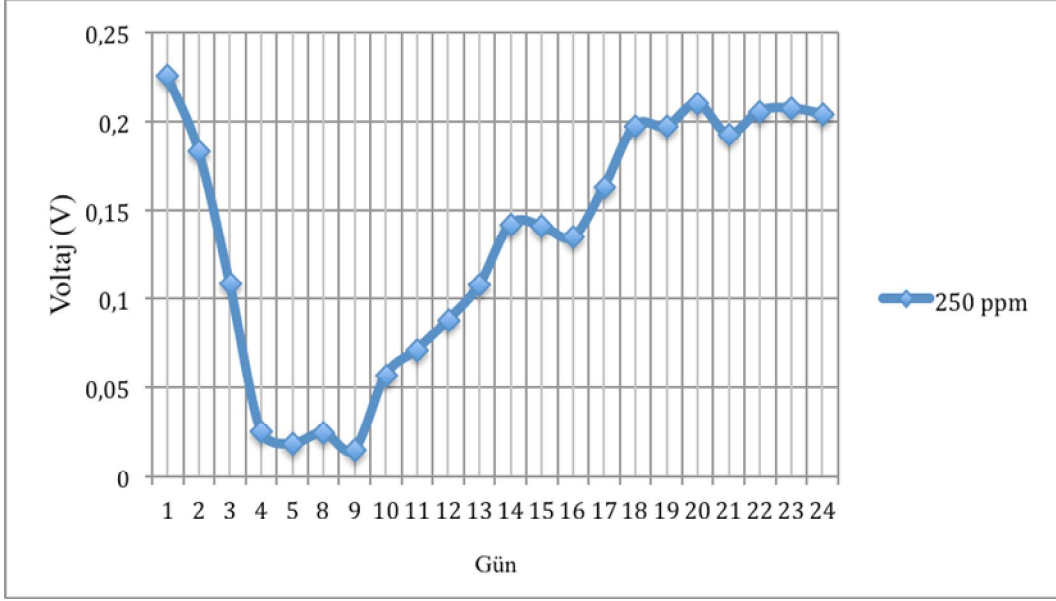
Şekil 3.4.Glikoz İçeren Reaktörde Voltaj Üretimi

Her bir substratın tüm derişimler için genel olarak tüm veriler incelendiğinde (250-3000 ppm aralığı), en iyi ve en kötü değerler glikoz için 0,96254-0,02514 V, etanol için 0,67184-0,00014 V ve zeytin karasuyu için 1,09591-0,01372 V olarak ölçülmüştür.

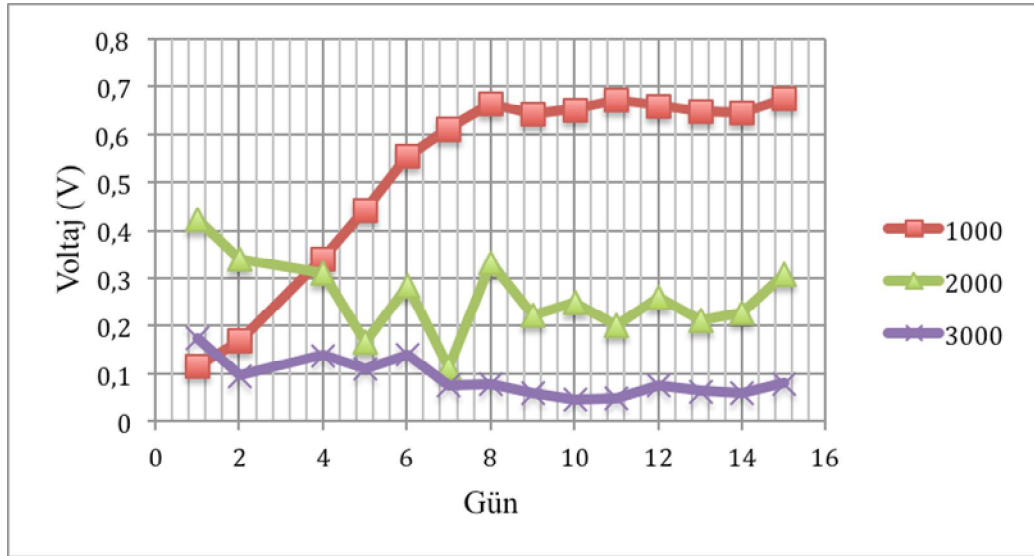
Şekil 3.4. glikoz içeren reaktörde voltaj üretiminin zamana bağlı olarak değişim grafiği gösterilmiştir. Reaktöre bakteri aşılmasının birinci gününden itibaren, mikroorganizmaların herhangi bir adaptasyon süreci geçirmeden glikozun parçalanmasına bağlı olarak elektronları açığa çıkardıkları için bir elektrik akımı ürettikleri görünmektedir. Voltaj eldesi dördüncü güne kadar sürekli bir artış göstererek genel olarak tüm konsantrasyonlarda 4. günde maksimum seviyesine ulaşmıştır. Bunun sebebi, glikozun anaerobik ortamda dördüncü günde parçalanabileceği son ürüne kadar parçalanmasıdır. Bu günden sonra voltaj değerleri 6. güne kadar düşmüş, 6-15 gün aralığında önemli bir değişim göstermemiştir.

Zeytin karasuyundan elde edilen voltaj-zaman grafiği incelendiğinde (Şekil 3.5.) bakteriler reaktöre aşılandıktan sonraki ilk günden itibaren 9. güne kadar voltaj değerlerinin (0,02 V) düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi ortamda bulunan bakterilerin zeytin karasuyunda bulunan fenolik bileşiklerin bu bakteriler üzerinde ölümcül etki yaratmasından kaynaklıdır. 9. günden itibaren ise ortamda bulunan bakteriler Zeytin karasuyu içeren ortama adapte olduklarından, bu substratı tüketerek belirli seviyeye (0,21 V) kadar voltaj üretebilmişlerdir. Çalışmada kullanılan Zeytin karasuyu laboratuvarında uzun süre beklediği için üzerinde fungus üremesi gerçekleşmiştir. Bu sebeple tıpkı bir ön arıtım uygulanmış gibi fungusların karasuyun içindeki bazı fenolik bileşikleri giderdikleri düşünülmektedir. Bunu voltaj üretim grafiğinden anlamak mümkündür. Zeytin karasuyu bakterilerin tamamını öldürmemiş 9. günden sonra tekrar bakteri üremesi devam etmiştir.

Etanol içeren ortamda elde edilen voltaj değerlerinin zaman bağlı grafiği Şekil 3.6.'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere ortamdaki etanol derişiminin artmasıyla voltaj değerlerinde bir azalma gözlemlenmiştir. En iyi akım üretiminin elde edildiği 1000 ppm etanol içeren ortamda voltaj üretimi 1. Günden itibaren artmış, 8. Günde maksimum değerine ulaşmıştır.



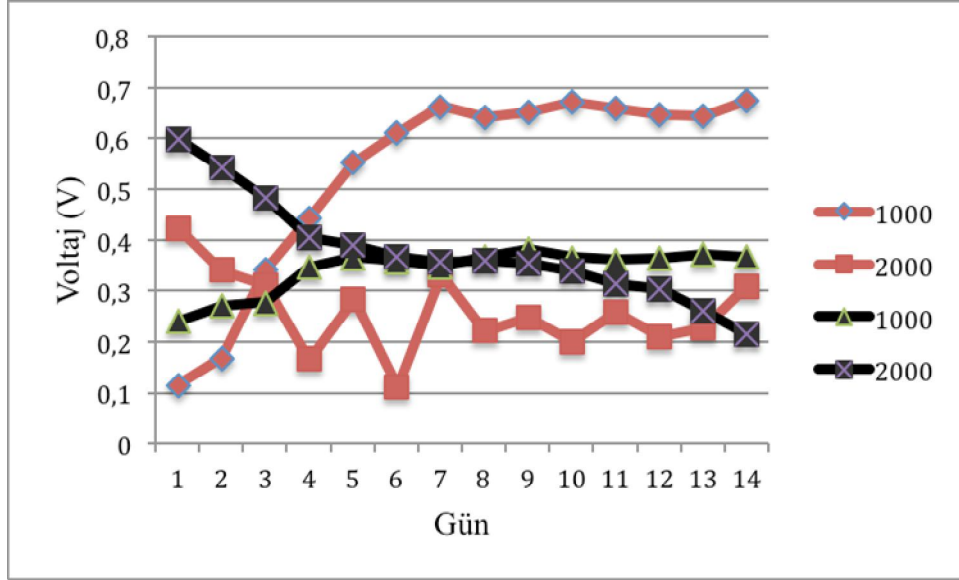
Şekil 3.5. Zeytin Karasuyu İçeren Reaktörde Voltaj Üretimi



Şekil 3.6. Etanol İçeren Reaktörde Voltaj Üretimi

Şekil 3.7. glikoz ve etanol substratlarına ait 1000 ve 2000 ppm konsantrasyonlarındaki voltaj üretimlerinin zamana bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. 1000 ppm için her iki substratta artış gözlemlenirken, 2000 ppm'de ise zamana bağlı olarak voltaj değerlerinde bir düşüş görülmüştür. 1000 ppm'deki substratlar karşılaştırıldığında etanol içeren substratta voltaj üretiminde önemli bir değişme görülmez iken glikoz içeren substratta ise zamana bağlı olarak bu değerde önemli bir artış gözlemlenmiştir. 2000 ppm konsantrasyonları incelendiğinde etanol içeren ortamda üretilen voltaj değerleri başlangıca göre zamanla azalma göstermiştir. 2000 ppm glikoz içeren ortamda ise üretilen voltaj

değerlerinin zamanla değişimi dalgalamalar göstermiş olsa da ortalama olarak önemli bir değişim kaydetmemiştir. Genel olarak bakıldığında 2000 ppm etanol içeren ortamda elde edilen voltaj değerleri glikozdan daha yüksek bulunmuştur.

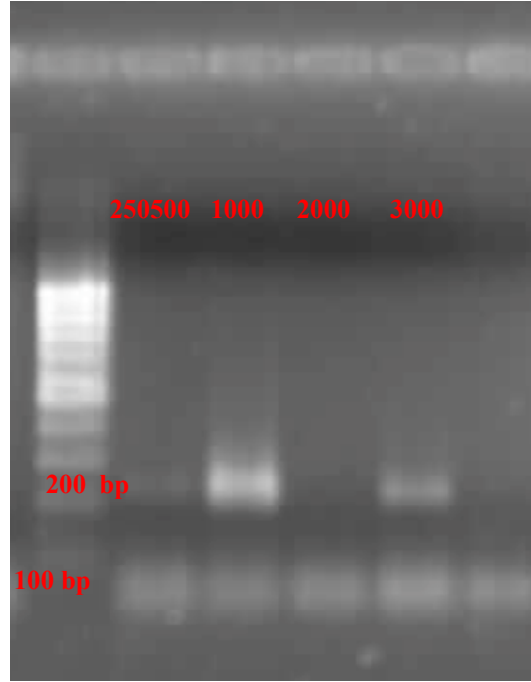


Şekil 3.7. Etanol ve Glikoz İçeren Reaktörlerde Voltaj Üretimi. (Siyah çizgiler etanolü, kırmızı çizgiler glikozu göstermektedir.)

#### 4.3. MYH Mikrobiyal Komünitenin Belirlenmesi

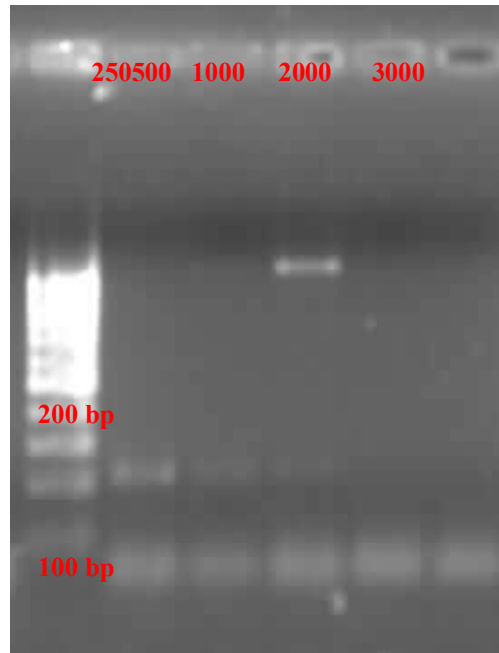
Her substrata ait farklı konsantrasyonlardaki hem anot yüzeyine tutunmuş hem de anolit sıvısında bulunan bakteriler, MYH sistemi bozulduğunda santrifüj tüplerine alınıp, fosfat buffer çözeltisi ile mikrosantrifüj işleminden geçirilmiştir. Bu işlem 3 defa tekrarlanarak bakterilere ortamdan bulaşmış olabilecek kirlilikler giderilmeye çalışılmıştır.

DNA izolasyon kiti kullanılarak DNA'lar izole edilmiş, elde edilen DNA'ların konsantrasyonları nano-drop cihazı ölçülmüştür. Anot yüzeyine tutunma çok gerçekleşmediği için, bu DNA'larda yeterli zenginleştirme gerçekleştirilemediğinden bu DNA'lar mikrobiyal komünite belirlenmesinde kullanılmamıştır. Anolit sıvısından alınan bakteri örneklerinden ise PZR yapılmıştır. Kullanılan primer çifti sayesinde çoğaltılan 16S rDNA bölgesi sistemde elektrik üretebilme yeteneğine sahip olan bakterilerin varlığını göstermiştir. Glikoz setinde 250-500 ve 2000 mg/L TOK konsantrasyonuna sahip MYH sisteminden elde edilen bakterilerden bantlar elde edilmişken, diğer kalan 1000 ve 3000 mg/L TOK konsantrasyonuna sahip olanlardan ise bantlar elde edilememiştir.



**Şekil 3.8.** Glikoz Seti Elektroforez Görüntüleri

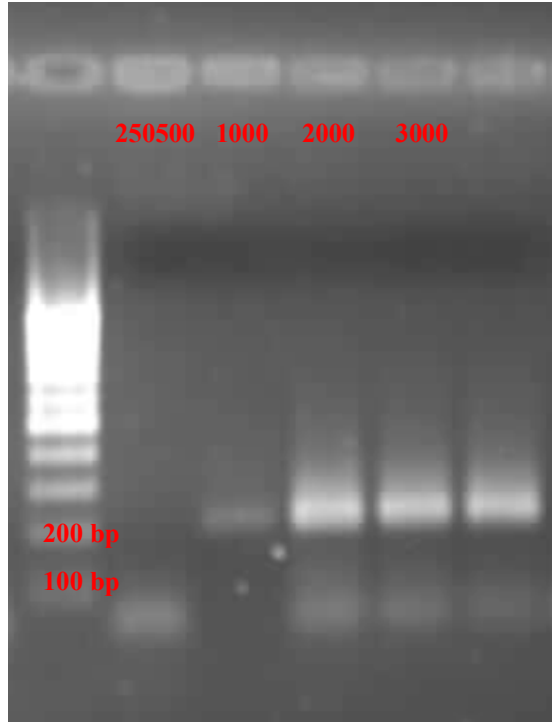
Etanol setinde ise, glikoz setine benzer şekilde 5 farklı konsantrasyonun 3'ünde bant elde edilmiş, diğerlerinde ise elde edilememiştir. Elde edilen bantlar 250-500 ve 1000 mg/L TOK konsantrasyonuna sahip MYH sistemine ait bakterilerin DNA'larından elde edilmiştir. Elde edilen bu bantlardan en iyi olan 250 mg/L TOK konsantrasyonuna ait iken, en belirgin olmayan bant ise 1000 mg/L TOK'a sahip olan bakterilere aittir.



**Şekil 3.9.** Etanol Seti Elektroforez Görüntüleri

Zeytin karasuyunun substrat olarak kullanıldığı MYH sistemlerinden alınan bakterilerin PZR sonuçlarında daha fazla bant edilmiştir. Bant elde edilmeyen tek konsantrasyon 250 mg/L TOK konsantrasyonuna sahip bakterilerden elde edilen DNA'lardır. Bant elde edilen diğer 4 konsantrasyondan ise en zayıf bant 500 mg/L TOK konsantrasyonundan elde edilen bant olurken, diğer konsantrasyonlardan elde edilen bantlar ise oldukça parlak bantlar olmuşlardır.

DNA'nın sekanslanması öncesinde, sekanslamadan doğacak okunamayacak nükleotitleri minimum seviyeye indirebilmek için çoğaltılan 16S rDNA bölgesi klonlanma ile çoğaltılmıştır. Ancak elde edilen PZR bantlarının çok iyi bantlar olmamasından dolayı gen sekans sonucu çıkmamıştır. Yeniden yapılan PZR işlemi sonucu elde edilen bantlar bir önceki sonuçlar ile benzer olduğundan sekanslama sonucu yine bakteriyel komünite çalışmaları sonucustenilen sonuçlara ulaşamamıştır.



**Şekil3.10.**Zeytin Karasu Seti Elektroforez Görüntüleri

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneyler sonucunda farklı substratları içeren MYH sistemlerinde bulunan mikroorganizmaların uyumları farklı olmuştur. Hem substratı tüketme hızı(12 gün), hem de substratı giderme yüzdesi(%73,6) ile glikoz, kullanılan substratlar açısından bakıldığında MYH sistemlerinde mikrobiyal komünite üzerinde en iyi etkiyi göstermiştir. Zeytin karasuyunun substrat olarak kullanıldığı MYH sistemi 14 gün ile stabil hale geldiği halde, sistemin bu substratı giderme yüzdesi %31,8 olarak bulunmuştur. Ortamda yaklaşık %68 oranında substrat bulunmasına rağmen, mikroorganizmaların bunu kullanamaması, bu substratın bu canlılar üzerine olumsuz etki yaptığının göstergesidir. Bu da kuvvetle muhtemel zeytin karasuyu içerisinde bulunan fenolik bileşikler gibi yapıların bu mikrobiyal komünite üzerine uygulamış olduğu negatif etkiden kaynaklanmaktadır. %55,5'lik substrat giderimi ile etanolü substrat olarak kullanan canlılar, bu giderimi 20 gün gibi bir sürede gerçekleştirmişlerdir. Diğer substratlar ile kıyaslandığında, uzun süre etanol ile etkileşim halinde kalabilmeleri, bu substratın bu mikrobiyolojik canlılar üzerinde olumsuz bir etki göstermediğinin bir göstergesidir.

Mikrobiyal komünite üzerinde sadece farklı substratlar değil, aynı substratın farklı konsantrasyonlarının da farklı etkiler gösterdiği bulunmuştur. Konsantrasyonları 250-3000 ppm TOK arasında değişen beş farklı substrat konsantrasyonu denemelerinde gözlemlenen genel sonuç, substrat yoğunluğu arttıkça giderilen yüzde substratın da arttığıdır. Deneyde kullanılan diğer substratlara göre, en iyi substrat giderim yüzdesine sahip olan glikozun farklı konsantrasyonları göz önüne alındığında, en iyi giderim yüzdesi, %90,4 ile 3000 ppm TOK'a sahip MYH sisteminde bulunmuştur. Benzer sonuç, zeytin karasuyunun substrat olarak kullanıldığı MYH sistemlerinde de gözlemlenirken, tek farklılık etanol substratlarının kullanıldığı sistemlerde görülmüştür. 3000 ppm TOK'a sahip olan sistemde giderim yüzdesi %65,8 iken, 2000 ppm TOK'a sahip olan sistemde %72,7'lik etanol giderimi bulunmuştur.

Elektrik voltajı bakımından bakıldığında, elde edilen sonuçlar, beş farklı glikoz derişimi ile beslenen glikoz ile beslenen beş farklı substrat konsantrasyonuna sahip sistemlerin ortalama voltaj değeri 0,28258 V olarak ölçülmüş ve bu değer diğer substratlarda ölçülen değer neredeyse %40'ı kadar fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuç da yine mikrobiyal komünitenin glikoz substratına en iyi uyum sağladığının bir göstergesi olmuştur.

Zhang ve ark.'nın (2011) bütirat, asetat ve glikoz ile yaptıkları deneylerde, glikoz ile hızlı ve daha yüksek elektrik üretildiği gösterilmiştir. Bu sonuç ile bu çalışmada ortaya çıkan sonuç birbiri ile uyumludur. Başka bir çalışmada substrat olarak laktat, asetat ve glikozun kullanıldığı deneylerde en iyi voltaj değeri laktatta bulunmuşken,  $238 \pm 19$  mV ile glikoz en düşük voltajı üreten substrat olmuştur. Bulunan bu değer bu tezde glikoz için ölçülen değer ile (283 mV) örtüşmektedir (Jung ve Regan, 2007). Tek ve çift bölmeli olmak üzere, iki farklı MYH sisteminin düşük molekül ağırlığına sahip olan etanol ve metanolden elektrik üretimi için kullanıldığı çalışmada, metanolün MYH sistemleri için olası substrat olarak incelenmesinin yanı sıra, elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilirliği de araştırılmıştır. Sonuçlar metanolün kayda değer ölçüde elektrik üretmediğini göstermişken, etanolün sürdürülebilir enerji üretimi için kullanılabilirliğini göstermiştir (Kim ve ark., 2007). Rhayour ve ark. (2003) Gram Pozitif ve Gram Negatif bakteriler üzerine fenolik bileşik içeren yağlar ile yaptığı denemde, bu bileşiklerin mikroorganizma yıkımlarını indüklediği, hücre zarına zarar verdiği ortaya konulmuştur. Bu da yapılan çalışmada, zeytin karasuyu içeren ortamda bulunan çok miktardaki substratın neden tüketilemediğinin bir göstergesi olarak gösterilebilir. MYH'lerinde kullanılan farklı substratlar ile yapılan bir derleme makalede basit yapılı substratların (glikoz, asetat, laktat, etanol, v.b.) kolay yıkılabilmeleri nedeniyle voltaj üretiminin artırılmasında daha etkin olduğu gösterilmiştir (Pant ve ark., 2010) Mevcut

Yapılan moleküler tekniklerin sonucu, kullanılan primer çifti sayesinde çoğaltılan 16S rDNA bölgesi, sistemde elektrik üretebilme kabiliyetinde olan bakterilerin varlığını göstermiştir. Farklı substratların ve onların konsantrasyonlarının moleküler komünite üzerine etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için, bir elektroforez çeşidi olan Denatüre edici Gradyan Elektroforez Jel'i (DGGE) ile PZR sonucu elde edilen 16S rDNA bölgesinin görüntülenmesi, sisteme artan miktarlardaki verilen substratlara bakterilerin verdiği tepkilerin gösterilmesi sağlanabilir. Bu artışa bazı türler uyum sağlayıp komünitede baskınlık sağlar iken, bazıları adaptasyon sağlayamayıp komüniteden silineceklerdir. Bir sonraki adımda ise, DGGE sonucu oluşan bantlardan kesilen DNA parçalarının sekanslanması ile bu sistemdeki önemli olabilecek bakterilerin varlığı gösterilebilir.

## KAYNAKLAR

### **Bilimsel süreli yayınlar:**

- AELTERMAN, P., RABAEEK., PHAMH. T., BOONN., VERSTRAETEW. 2006. Continuous Electricity Generation at High Voltages and Currents Using Stacked Microbial Fuel Cells. *Environmental Science & Technology*, 40(10):3388-3394.
- ALLEN, R., BENNETTOH.. 1993. Microbial fuel-cells. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 39-40(1):27-40.
- BENNETTO, H. P. 1990 Electricity generation by microorganisms. *Bio/technology Education*, 1(4):163-168.
- BOND, D. R., LOVLEYD. R.. 2003. Electricity Production by *Geobacter sulfurreducens* Attached to Electrodes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(3):1548-1555.
- BOND, D. R., Holmes D. E., Tender L. M., LOVLEYD. R. 2002. Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science* 295:483-485
- CATAL, T. 2008. Effects of Various Carbohydrates on Electricity Generation in Microbial Fuel Cells. Ph.D., Istanbul Technical University, Turkey -- Istanbul, 104 p.
- CATAL, T., K. LI, BERMEKH., LIUH.. 2008. Electricity production from twelve monosaccharides using microbial fuel cells. *Journal of Power Sources*, 175(1):196-200.
- CATAL, T. SHOUTAO,X., LI,K., BERMEK,H., HONG,L. 2008. Electricity generation from polyalcohols in single-chamber microbial fuel cells. *Biosensors and Bioelectronics*, 24(4):849-854.
- CAVDAR, P. 2009. Use of Microbial Fuel Cells (MFCs) in Organic Wastewater Treatment. M.Sc., Marmara University, Turkey -- Istanbul, 125 p.
- CHAE, K. J., CHOIM., AJAYIF. F., PARKW., CHANGLI. S., KIMI. S.. 2007. Mass Transport through a Proton Exchange Membrane (Nafion) in Microbial Fuel Cells. *Energy & Fuels*, 22(1):169-176.
- CHANG, I. S., J. JANGK., GILG. C., KIMM., KIMH. J., CHOB. W., KIMB. H.. 2004. Continuous determination of biochemical oxygen demand using microbial fuel cell type biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, 19(6):607-613.
- CHOO, Y.-F., LEEJ.-Y., CHANGLI.-S., KIMB.-H.. 2008. Bacterial Communities in Microbial Fuel Cells Enriched with High Concentrations of Glucose and Glutamate. *The Korean Society for Applied Microbiology and Biotechnology*.

- COURSOLLE, D., BAROND. B., BONDD. R., GRALNICKJ. A. 2009. The Mtr Respiratory Pathway Is Essential for Reducing Flavins and Electrodes in *Shewanella oneidensis*. *J. Bacteriol.*, 192(2):467-474.
- DAVIS R. J., GAINER, J. L., ONEAL, G., Wu, I. W. 1994 Photocatalytic decolorization of wastewater dyes. *Water Environ Res* 66:50-53
- DU, Z., LI,H., GU,T. 2007. A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advances*, 25(5):464-482.
- DUMAS, C., BASSEGUY,R., BERGEL,A. 2008. Electrochemical activity of *Geobacter sulfurreducens* biofilms on stainless steel anodes. *Electrochimica Acta*, 53(16):5235-5241.
- FAN, Y., HU,H., LIU,H. 2007. Enhanced Coulombic efficiency and power density of air-cathode microbial fuel cells with an improved cell configuration. *Journal of Power Sources*, 171(2):348-354.
- FREDRICKSON, J. K., ROMINE,M. F., BELIAEV,A. S., AUHTUNG,J. M., DRISCOLL,M. E., GARDNER,T. S., NEALSON,K. H., OSTERMAN,A. L., PINCHUK,G., REED,J. L., RODIONOV,D. A., J. RODRIGUES,L. M., SAFFARINI,D. A., SERRES,M. H., SPORMANN,A. M., ZHULIN,I. B., TIEDJE,J. M. 2008. Towards environmental systems biology of *Shewanella*. *Nat Rev Micro*, 6(8):592-603.
- FREGUIA, S., RABAAY,K., YUAN,Z., KELLER,J. 2007. Non-catalyzed cathodic oxygen reduction at graphite granules in microbial fuel cells. *Electrochimica Acta*, 53(2):598-603.
- GORBY, Y. A., YANINA,S., MCLEAN,J. S., MOYLES,K. M., DOHNALKOVA,D., A., BEVERIDGE,T. J., CHANG,I. S., KIM,B. H., KIM,K. S., CULLEY,D. E., REED,S. B., ROMINE,M. F., SAFFARINI,D. A., HILL,E. A., SHI,L., ELIAS,D. A., KENNEDY,D. W., PINCHUK,G., WATANABE,K., ISHII,S., LOGAN,B., NEALSON,K. H., FREDRICKSON,J. K. 2006. Electrically conductive bacterial nanowires produced by *Shewanella oneidensis* strain MR-1 and other microorganisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(30):11358-11363.
- HA, P. T., TAE,B., CHANG,I. S. 2007. Performance and Bacterial Consortium of Microbial Fuel Cell Fed with Formate *Energy & Fuels*, 22(1):164-168.
- HE, Z., KAN,J., WANG,Y., HUANG,Y., MANSFELD,F., NEALSON,K. H. 2009. Electricity Production Coupled to Ammonium in a Microbial Fuel Cell. *Environmental Science & Technology*, 43(9):3391-3397.

- HEILMANN, J., LOGAN, B. E. 2006. Production of electricity from proteins using a microbial fuel cell. *Water Environment Research*, 78(5):531-537.
- IEROPOULOS, I. A., GREENMAN, J., MELHUIH, C., HART, J. 2005. Comparative study of three types of microbial fuel cell. *Enzyme and Microbial Technology*, 37(2):238-245.
- JANG, J., CHANG, I., HWANG, H., CHOO, Y., LEE, J., CHO, K., KIM, B., NEALSON, K. 2009. Electricity generation coupled to oxidation of propionate in a microbial fuel cell. *Biotechnology Letters*, 32(1):79-85.
- JANG, J. K., T. H. PHAM, I. S. CHANG, K. H. KANG, H. MOON, K. S. CHO, B. H. KIM. 2004. Construction and operation of a novel mediator- and membrane-less microbial fuel cell. *Process Biochemistry*, 39(8):1007-1012.
- JIYOUNG, L., P. NGUYET THU, C. IN SEOP, K. BYUNG HONG, S. HA CHIN. 2003. Use of acetate for enrichment of electrochemically active microorganisms and their 16S rDNA analyses. *FEMS Microbiology Letters*, 223(2):185-191.
- JUNG, S., J. REGAN. 2007. Comparison of anode bacterial communities and performance in microbial fuel cells with different electron donors. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 77(2):393-402.
- KANG, K. H., J. K. JANG, T. H. PHAM, H. MOON, I. S. CHANG, B. H. KIM. 2003. A microbial fuel cell with improved cathode reaction as a low biochemical oxygen demand sensor. *Biotechnology Letters*, 25(16):1357-1361.
- KIELY P.D., CUSICK R., CALL D. F., SELEMO P. A., J. M. REGAN, LOGAN, B. E. 2011. Anode microbial communities produced by changing from microbial fuel cell to microbial electrolysis cell operation using two different wastewaters. *Bioresource Technol* 102:388-394
- KIM, J. R., DEC, J., BRUNS, M. A., LOGAN, B. E. 2008. Removal of Odors from swine wastewater by using microbial fuel cells. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(8):2540-2543.
- KIM, J. R., JUNG, S. H., REGAN, J. M., LOGAN, B. E. 2007. Electricity generation and microbial community analysis of alcohol powered microbial fuel cells. *Bioresource Technology*, 98(13):2568-2577.
- LIU, H., 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(14):4040-4046.

- LIU, H., RAMNARAYANAN,R., LOGAN,B.E. 2004. Production of Electricity during Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Environmental Science & Technology*, 38(7):2281-2285.
- LIU, Y., F. HARNISCH, K. FRICKE, R. SIETMANN, U. SCHRODER. 2008. Improvement of the anodic bioelectrocatalytic activity of mixed culture biofilms by a simple consecutive electrochemical selection procedure. *Biosensors and Bioelectronics*, 24(4):1006-1011.
- LIU, Z.D., J. LIU, S.P. ZHANG, Z.G. SU. 2009. Study of operational performance and electrical response on mediator-less microbial fuel cells fed with carbon- and protein-rich substrates. *Biochemical Engineering Journal*, 45(3):185-191.
- LOGAN, B. E. 2008. *Microbial Fuel Cells*. A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- LOGAN, B. E., J. M. REGAN. 2006. Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Trends in Microbiology*, 14(12):512-518.
- LOVLEY, D. R., K.P. NEVIN. 2008. Electricity production with electricigens. ASM Press, Washington, DC, Chapter 23, 295-306 p.
- LOVLEY, D. R., HOLMES,D. E., K. P. NEVIN, POOLE. 2004. Dissimilatory Fe(III) and Mn(IV) Reduction, p. 219-286, *Advances in Microbial Physiology*. Volume Volume 49. Academic Press.
- MIN, B., KIM,J. R., OH,S. E., REGAN,J. M., LOGAN,B. E. 2005. Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells. *Water Research*, 39(20):4961-4968.
- MIN, B.,LOGAN,B.E. 2004. Continuous Electricity Generation from Domestic Wastewater and Organic Substrates in a Flat Plate Microbial Fuel Cell. *Environmental Science & Technology*, 38(21):5809-5814.
- MORRIS, J. M., JIN,S., WANG,J., ZHU,C., URYNOWICZ,M. A. 2007. Lead dioxide as an alternative catalyst to platinum in microbial fuel cells. *Electrochemistry Communications*, 9(7):1730-1734.
- MUYZER, G., E.C. DE WAAL, A.G. UITTERLINDEN. 1993. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59(3):695-700.
- NEVIN, K.P., D.R. LOVLEY. 2000. Lack of Production of Electron-Shuttling Compounds or Solubilization of Fe(III) during Reduction of Insoluble Fe(III) Oxide by *Geobacter metallireducens*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66(5):2248-2251.

- NEVIN, K. P., D.R. LOVLEY. 2002. Mechanisms for Accessing Insoluble Fe(III) Oxide during Dissimilatory Fe(III) Reduction by *Geothrix fermentans*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68(5):2294-2299.
- NEWMAN, D. K., and R. KOLTER. 2000. A role for excreted quinones in extracellular electron transfer. *Nature*, 405(6782):94-97.
- NGUYET THU, P., L. JIYOUNG, K. KUI HYUN, C. IN SEOP, G. GEOFFREY MICHAEL, K. BYUNG HONG. 2004. Analysis of microbial diversity in oligotrophic microbial fuel cells using 16S rDNA sequences. *Fems Microbiology Letters*, 233(1):77-82.
- PANT, D., G. VAN BOGAERT, L. DIELS, K. VANBROEKHOVEN. 2010. A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology*, 101(6):1533-1543.
- PARK, D. H., ZEIKUS, J. G. 2000. Electricity generation in microbial fuel cells using neutral red as an electronophore. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(4):1292-1297.
- PARK, D. H., ZEIKUS, J. G. 2003. Improved fuel cell and electrode designs for producing electricity from microbial degradation. *Biotechnology and Bioengineering*, 81(3):348-355.
- POTTER, M.C. 1911. Electrical Effects Accompanying the Decomposition of Organic Compounds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 84(571):260-276.
- RABAEY, K., BOON, N., HAFTE, M., VERSTRAETE, W. 2005. Microbial Phenazine Production Enhances Electron Transfer in Biofuel Cells. *Environmental Science & Technology*, 39(9):3401-3408.
- RABAEY, K., BOON, N., SICILIANO, S.D., VERHAEGE, M., VERSTRAETE, W. 2004. Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(9):5373-5382.
- RABAEY, K., G. LISSENS, S.D. SICILIANO, W. VERSTRAETE. 2003. A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency. *Biotechnology Letters*, 25:1531-1535.
- RABAEY, K., W. VERSTRAETE. 2005. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology*, 23(6):291-298.
- REGUERA, G., K.D. MCCARTHY, T. MEHTA, J.S. NICOLL, M.T. TUOMINEN, D.R. LOVLEY. 2005. Extracellular electron transfer via microbial nanowires. *Nature*, 435(7045):1098-1101.

- Rhayour, K., Bouchikhi, T., Tantaoui-Elaraki, A., Sendide, K., Remmal, A. 2003. The mechanism of bactericidal action of oregano and clove essential oils and of their phenolic major components on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. *Journal of Essential Oil Research*, 15(4), 286-292.
- SCHRODER, U. 2007. Anodic electron transfer mechanisms in microbial fuel cells and their energy efficiency. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 9(21):2619-2629.
- SHARMA, Y., B.K. LI. 2009. The variation of power generation with organic substrates in single-chamber microbial fuel cells (SCMFCs). *Bioresource Technology*, 101(6):1844-1850.
- TER HEIJNE, A., H. V. M. HAMELERS, M. SAAKES, C. J. N. BUISMAN. 2008. Performance of non-porous graphite and titanium-based anodes in microbial fuel cells. *Electrochimica Acta*, 53(18):5697-5703.
- TURICK, C.E., L. S. TISA, F. CACCAVO, JR. 2002. Melanin Production and Use as a Soluble Electron Shuttle for Fe(III) Oxide Reduction and as a Terminal Electron Acceptor by *Shewanella algae* BrY. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68(5):2436-2444.
- VELASQUEZ-ORTA, S., HEAD, I., CURTIS, T., SCOTT, K., LLOYD, J., VON CANSTEIN, H. 2009. The effect of flavin electron shuttles in microbial fuel cells current production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5):1373-1381.
- CANSTEIN VON, H., OGAWA, J., SHIMIZU, S., LLOYD, J.R. 2008. Secretion of Flavins by *Shewanella* Species and Their Role in Extracellular Electron Transfer. *Appl. Environ. Microbiol.*, 74(3):615-623.
- WRIGHTON, K. Following electron flow: From a Gram-positive community to mechanisms of electron transfer. Ph.D., University of California, Berkeley, United States California, 113 p.
- YOU, S., ZHAO, Q., ZHANG, J., JIANG, J., WAN, C., DU, M., ZHAO, S. 2007. A graphite-granule membrane-less tubular air-cathode microbial fuel cell for power generation under continuously operational conditions. *Journal of Power Sources*, 173(1):172-177.
- YOUNG, T.G., HADJIPETROU, L., LILLY, M. D. 1966. The theoretical aspects of biochemical fuel cells. *Biotechnology and Bioengineering*, 8(4):581-593.
- ZHANG, L., LIU, C., ZHUANG, L., LI, W., ZHOU, S., ZHANG, J. 2009. Manganese dioxide as an alternative cathodic catalyst to platinum in microbial fuel cells. *Biosensors and Biosource Technology*, 24(9):2825-2829.

- ZHANG, Y., MIN,B., ZHUANG,L., LIPINGH., ANGELIDAKI,I., ZHANG,J. 2011. Electricity generation and microbial community response to substrate changes in microbial fuel cell, 102 (2011) 1166–1173.
- Zuo, Y., Xing, D., REGAN,J. M., Logan, B. E. 2008. Isolation of the Exoelectrogenic Bacterium Ochrobactrum anthropi YZ-1 by Using a U-Tube Microbial Fuel Cell. Appl. Environ. Microbiol., 74(10):3130-3137

**Tezler:**

- Şahin, S. 2012. Mikrobiyal yakıt hücresinde bira atıksuyunun kullanıldığı şartlarda karbon giderimi ve elektrik üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 95s.
- Atamert, B.H. 2011.İki-bölmeli mikrobiyal yakıt hücresi kullanarak karbon giderimi ve elektrik üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 95s.
- Karlıkanovaite, A. 2011. Arıtma çamuru kullanan iki bölmeli mikrobiyal yakıt hücresinde karbon giderimi ve elektrik üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 83s.
- Aktan, S. 2011. Mikrobiyal yakıt hücrelerinde kullanılan antibiyotik ve hormonların elektrik üretimi üzerine etkileri. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 148s.
- Arslan, Ö. 2011. Mikrobiyal yakıt hücresinde nişastanın sübstrat olarak kullanıldığı şartlarda karbon giderimi ve elektrik üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 66s.
- Eren, H. 2010. Tek-odali hava-katot mikrobiyal yakıt hücrelerinde eşzamanlı elektrik üretimi ve tekstil boyalarının dekolorizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 86s.
- Çavdar, P. 2009. Mikrobiyal yakıt hücrelerinin (MYH) organik atıksu arıtımında kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 125s.
- Çatal, T. 2008. Çeşitli karbonhidratların mikrobiyal yakıt hücrelerinde elektrik üretimine etkileri. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 104s.

- Özpek, Ö. 2012. Atıksu kullanılarak mikrobiyal yakıt hücresi ile elektrik üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 138s.
- Yılmaz, E. 2011. Mikrobiyal yakıt hücrelerinde (MYH) bulunan aktif türlerin tespiti. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 125s.
- Akoğlu, B. 2011. Mikrobiyal yakıt hücresi teknolojisi ile doğrudan elektrik üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 126s.

## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel Bilgiler**

Adı, soyadı : MehmetGEZGİNÇİ  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 14.06.1982 - Gaziantep  
Medeni hali : Bekar  
Telefon :0533 456 42 18  
Faks :  
e-posta :mehmetgezginci@gmail.com

### **Eğitim**

<b>Derece</b>	<b>Eğitim Birimi</b>	<b>Mezuniyet tarihi</b>
Yüksek lisans	KSÜ / Biyomühendislik ABD	2013
Lisans	Gaziantep Üniversitesi / Biyoloji Bölümü	2007
Ön Lisans	Dicle Üniversitesi / Bilgisayar Prog. Bölümü	2002
Lise	Gaziantep19 Mayıs Lisesi	1999

### **Yabancı Dil**

İngilizce

### **Yayınlar**

•Kılıç A., Uysal Y., Gezginci M., Çınar Ö. 2010 Electrical Energy Generation From Industrial Wastewaters By Using Microbial Fuel Cells, 2nd International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources 4-7 July Ankara, Turkey

• Cırık K., Aydogmus D., Ozdemir S., Gezginci M., Çınar Ö., 2010. Parameters Affecting Polyhydroxyalkanoate Synthesis from Wastewaters 2nd International Symposium on Sustainable Development International Burch University (IBU).

•Gezginci M., Uysal Y., Kılıç A., Çınar Ö., 2010. Extracellular Electron Transfer in Microbial Fuel Cells, Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi 4 (2): 81-85.

### **Hobiler**

Fotoğrafçılık, Sinema, Tiyatro, Müzik, Gezi.