



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

MİKROBİYAL YAKIT HÜCRELERİNDE ELEKTRİKSEL AKTİVİTEDE FARKLI
MEDYATÖRLERİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

MERVE ÖZTÜRK

Ocak 2018

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

MİKROBİYAL YAKIT HÜCRELERİNDE ELEKTRİKSEL AKTİVİTEDE FARKLI
MEDYATÖRLERİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

MERVE ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Tuba ARTAN ONAT

Ocak 2018

Merve ÖZTÜRK tarafından **Yrd. Doç. Dr. Tuba ARTAN ONAT** danışmanlığında hazırlanan “**MİKROBİYAL YAKIT HÜCRELERİNDE ELEKTRİKSEL AKTİVİTEDE FARKLI MEDYATÖRLERİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Doç. Dr. Emel BAYOL (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Afşin Yusuf ÇETİNKAYA (Aksaray Üniversitesi)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Tuba ARTAN ONAT (Danışman) (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Merve ÖZTÜRK

ÖZET

MİKROBİYAL YAKIT HÜCRELERİNDE ELEKTRİKSEL AKTİVİTEDE FARKLI MEDYATÖRLERİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

ÖZTÜRK, Merve

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji AnaBilim Dalı

Danışman

:Yrd. Doç. Dr. Tuba ARTAN ONAT

Ocak 2018, 52 sayfa

Mikrobiyal Yakıt Hücresi (MYH) günümüz araştırmalarında temiz bir enerji kaynağı olarak önemli bir yere sahiptir. Mikrobiyal Yakıt Hücresi, organik materyaldeki kimyasal bağ enerjisinin mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri ile elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar ve atık su arıtımı ve elektrik üretimi için çözümler temin eder. Melas çok yüksek Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve düşük pH değerlerine sahiptir ve çevreyi kirleten 17 atık su arasında bulunur.

Bu çalışmada, çift bölmeli MYH'de; anotta melaslı besiyerinde medyatörlerin (nötral kırmızı (NK) ve metilen mavisi (MM) etkisi, sistemde üretilen voltaj belirlenerek araştırılmıştır. Anot bölmesinde yer alan mikrobiyal komünite kesikli beslemeli olarak melas ile beslenmiş ve KOİ değeri yaklaşık 14g olarak hesaplanmıştır. 30 günlük inkübasyon periyodunun sonunda voltaj değerleri; medyatörsüz melas ortamında 281 mV NK içeren ortamda 463 mV ve MM içeren ortamda 477 mV olarak belirlenmiştir. Ayrıca, NK ve MM için renk giderim oranları tespit edilmiştir. Renk giderme verimi NK için %86 ve KOİ'nin giderilme oranı ise %50 olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, 30 günlük inkübasyon periyodu sonunda, renk giderme verimi MM için %86 ve KOİ'nin giderilme oranı ise %80 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Mikrobiyal yakıt hücreleri, melas, mikrobiyal topluluk, biyoelektrik

SUMMARY

THE EFFECT OF DIFFERENT MEDIATORS OF ELECTRICAL ACTIVITY ON MICROBIAL FUEL CELLS

ÖZTÜRK, Merve

Nigde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biology

Supervisor :Assistant Professor Dr. Tuba ARTAN ONAT

January 2018, 52 pages

Microbial Fuel Cells (MFCs) have an important role in today's research as a clean energy sources. Microbial Fuel Cells, enable the conversion of the chemical bond energy in organic materials to electrical energy by metabolic activities of microorganisms and, ensure solutions for wastewater treatment and electricity generation. The molasses has very high Chemical Oxygen Demand (COD) and low pH values and is located between 17 wastewater polluting the environment.

In the study, molasses medium was used in the anode in dual chamber MFC, the effect of neutral red(NR) and methylene blue(MB) were investigated.as mediator on voltage. The bacterial community of MFC was fed with fresh molasses medium in fed-batch system and the COD value was calculated as 14 g/L. At the end of the 30-day incubation period, the voltage values were determined as 281 mV, 463 mV, 477 mV in the mediatorless molasses medium, with NR and MB sequentially. Also, the decolorization of mediator dyes were determined for NR and MB. Decolorization yield of NR and COD removal rate were determined as %86 and %50 sequentially. In addition to this the decolorization yield and COD removal of MB were determined as %86 and %80 at 30 days incubation period.

*Keywords:*Microbial fuel cells, molasses, microbial community, bioelectricity

ÖN SÖZ

Yüksek Lisans tez çalışmamın yürütülmesi sırasında çalışmalarına yön veren bilgi ve deneyimini esirgemeyen, bana her türlü desteği sağlayan ve literatür taramasında yardımcı olan değerli danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Tuba ARTAN ONAT'a,

Tez çalışmalarım boyunca laboratuvar çalışma arkadaşlarım Ömer ÖZDÖVER ve Ahmet ÖZKUL'a, ayrıca her zaman iyi niyeti ve yardımlarıyla yanımda olan değerli arkadaşım Cihan DÜŞGÜN'e,

Ve son olarak başarılarımın yanında olmakla birlikte başarısızlıklarımın da yanında olan, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, hayattaki en büyük şansım ailem Nihat, Emine, Ali ÖZTÜRK ve Fatma BAYRAM'a,

Sonsuz teşekkürler eder ve en içten sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Enerji	3
2.2 Türkiye’de Enerji Kullanımı	4
2.3 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	7
2.3.1 Yenilenemeyen enerji kaynakları	7
2.3.2 Yenilenebilir enerji kaynakları	7
2.3.2.1 Güneş enerjisi	7
2.3.2.2 Rüzgâr enerjisi	8
2.3.2.3 Jeotermal enerji	8
2.3.2.4 Hidroelektrik enerjisi	8
2.3.2.5 Deniz kökenli yenilenebilir enerji	9
2.3.2.6 Hidrojen enerjisi	9
2.3.2.7 Biyokütle enerjisi	9
2.4 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantaj ve Dezavantajları	10
2.5 Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Mikrobiyal Yakıt Hücreleri	11
2.5.1 Mikrobiyal yakıt hücresi (MYH)	11
2.5.2 Mikrobiyal yakıt hücresi ve kısımları	12
2.5.3 Medyator bileşikler	14
2.5.4 Atık su ve özellikleri	15
BÖLÜM III MATERYAL VE METOT	18
3.1 Materyal	18
3.1.1 Pil hücresi ve elektrotlar	18

3.1.2 Kullanılan besiyeri ve diğer çözeltilerin bileşimi.....	19
3.1.2.1 Fosfat tampon çözeltisi	19
3.1.2.2 Melaslı besiyeri bileşimi (anot bölgesi).....	19
3.1.2.3 Tampon çözelti (katot bölgesi)	19
3.1.2.4 Tuz köprüsü	19
3.1.2.5 Bakteriyel kültür	20
3.1.2.6 Medyator bileşikler	20
3.2 Metot.....	21
3.2.1 Mikrobiyal yakıt hücresinin hazırlanması	21
3.2.2 Renk giderim deneyleri.....	22
BÖLÜM IV BULGULAR.....	23
4.1 Melaslı Besiyerine Ait Araştırma Bulguları	23
4.1.1 Voltaj üretimi.....	23
4.1.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı	24
4.1.3 Mikrobiyal komünite gelişimi	25
4.2 Medyator Olarak Metilen Mavisi İçeren Melaslı Besiyerine Ait Araştırma Bulguları	26
4.2.1 Voltaj üretimi.....	27
4.2.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı.....	28
4.2.3 Mikrobiyal komünite gelişim grafiği	28
4.2.4 Metilen mavisinin konsantrasyon grafiği.....	29
4.3 Medyator Olarak Nötral Kırmızı İçeren Melaslı Besiyerine Ait Araştırma Bulguları	29
4.3.1 Voltaj üretimi.....	30
4.3.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı	31
4.3.3 Mikrobiyal komünite gelişim grafiği.....	31
4.3.4 Nötral kırmızı konsantrasyon grafiği.....	32
4.4 Medyator Bileşiklerin Kesikli Sistemde Giderim Deneyleri	32
4.4.1 Metilen mavisine ait dekolorizasyon verileri	33
4.4.2 Nötral kırmızısına ait dekolorizasyon verileri	34
BÖLÜM V TARTIŞMA VE SONUÇ.....	35
5.1 Voltaj Üretiminde Medyator Bileşiklerin Etkisi.....	35
5.2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı	37
5.3 Mikrobiyal Komünite Optik Yoğunluk Değerleri	38

5.4 Medyatör Bileşik Konsantrasyonu.....	39
5.5 Medyatör Bileşik Renk ve KOİ Giderimi.....	39
KAYNAKLAR	42
ÖZ GEÇMİŞ	51
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER	52



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	4
Çizelge 2.2. Atık suların özellikleri	16



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 2015 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları	3
Şekil 2.2. 2016 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	5
Şekil 2.3. 2016 Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin dağılımı.....	6
Şekil 2.4. Mikrobiyal yakıt hücresi yapısı	12
Şekil 3.1. Cam mikrobiyal yakıt hücresi.....	18
Şekil 3.2. Karbon elektrotlar.....	18
Şekil 3.3. Deneylerde kullanılmış olan mikrobiyal yakıt hücresi.....	22
Şekil 4.1. Melaslı besiyerinde 30 günlük inkübasyon periyodu boyunca üretilen voltaj grafiği	23
Şekil 4.2. Melaslı besiyerinde inkübasyon periyodunun son 10 gününde üretilen voltaj grafiği	24
Şekil 4.3. Melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince KOİ giderimi grafiği	25
Şekil 4.4. Melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince mikrobiyal optik yoğunluk grafiği	26
Şekil 4.5. Metilen mavisi içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince üretilen voltaj grafiği.....	27
Şekil 4.6. Metilen mavisi içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince üretilen voltaj grafiği.....	27
Şekil 4.7. Metilen mavisi içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince KOİ giderimi grafiği.....	28
Şekil 4.8. Metilen mavisi içeren melaslı besiyeri inkübasyon periyodu süresince mikrobiyal optik yoğunluk grafiği	28
Şekil 4.9. Metilen mavisi içeren melaslı besiyeri inkübasyon periyodu süresince konsantrasyon grafiği	29
Şekil 4.10. Nötral kırmızı içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince üretilen voltaj grafiği.....	30
Şekil 4.11. Nötral kırmızı içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince üretilen voltaj grafiği.....	30

Şekil 4.12. Nötral kırmızı içeren melaslı besiğinde inkübasyon periyodu süresince KOİ grafiği	31
Şekil 4.13. Nötral kırmızı içeren melaslı besiğinde inkübasyon periyodu süresince Mikrobiyal optik yoğunluk grafiği	31
Şekil 4.14. Melaslı besiğinde nötral kırmızı konsantrasyonu grafiği	32
Şekil 4.15. Mikrobiyal kominiteye ait MM KOİ giderim değerleri (İnkübasyon periyodu: 16 gün).....	33
Şekil 4.16. Mikrobiyal kominiteye ait MM renk giderim değerleri (İnkübasyon periyodu: 16 gün).....	33
Şekil 4.17. NK varlığında KOİ giderim değerleri (İnkübasyon periyodu: 8 Gün).....	34
Şekil 4.18. Mikrobiyal kominiteye ait NK renk giderim değerleri (İnkübasyon periyodu: 8 Gün).....	34
Şekil 5.1. MYH'de üretilen voltaja medyatörlerin etkisi (İnkübasyon periyodu: 720 saat)	35
Şekil 5.2. MYH'de üretilen voltaja medyatörlerin etkisi (İnkübasyon periyodu: 480-720 saat)	36
Şekil 5.3. Medyatör bileşikler varlığında KOİ değerleri (İnkübasyon periyodu: 30 gün)	37
Şekil 5.4. Medyatör bileşikler varlığında mikrobiyal kominite optik yoğunluk değerleri (İnkübasyon periyodu: 30 gün)	38
Şekil 5.5. MYH anot bölgesinde yer alan medyatör bileşik konsantrasyonu (İnkübasyon periyodu: 30 gün)	39
Şekil 5.6. Mikrobiyal kominiteye ait medyatör bileşik renk giderim değerleri (İnkübasyon periyodu NK için 8 gün, MM için 16 gün)	40
Şekil 5.7. Mikrobiyal kominiteye ait KOİ giderim değerleri (İnkübasyon periyodu NK için 8 gün, MM için 16 gün)	40

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

mL	Mililitre
mg	Miligram
μ L	Mikrolitre
mV	Milivolt
cm	Santimetre
mM	Mili Molar
M	Molar
g/L	Gram/Litre
L	Litre
Nm	Nanometre
°C	Santigrat Derece
pH	Alkalilik ve Asitlik Faktörü
%	Yüzde

Kısaltmalar

MYH	Mikrobiyal Yakıt Hücresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MM	Metilen Mavisi
NK	Nötral Kırmızı
GWh	Giga Watt Hours
$K_3[Fe(CN)_6]$	Potasyum Ferrisiyanit

BÖLÜM I

GİRİŞ

Geride bıraktığımız yüzyılda bilimde, teknolojiye ve sanayide ortaya çıkan birçok yenilikle birlikte doğal çevreye büyük oranda zarar verilmiştir. Endüstrileşmenin ve sanayileşmenin, hava, su ve toprak kirliliği, iklim koşullarının değişmesi, atıkların doğru bir şekilde değerlendirilmemesi gibi birçok çevre sorununun ortaya çıkmasına ve artmasına neden olduğu ifade edilmektedir (Demir ve Yalçın, 2014).

Çevre kirliliği, insan etkinlikleri sonucunda ekolojik dengenin bozulması, kirletici ve maddelerin doğal çevrede çok yüksek miktarlarda birikmesi ve buna bağlı olarak doğal çevrenin bozulması biçiminde tanımlanmaktadır. Çöpler, su, besin ve toprak kirliliği, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri, endüstriyel ve nükleer atıklar ve radyoaktif kirlenme gibi direkt olarak çevre kirliliğinin neden olduğu sorunların doğal yaşamı ve insanların sağlıklarını bozacak hale gelmesi ile birlikte çevre sorunlarını en aza indirmek için çeşitli çalışmaların yapılması gerekmektedir (Akdur, 2005).

Dünya nüfusunun ve küresel enerji ihtiyacının artışı karşılamak amacıyla fosil yakıtlar sıklıkla kullanılmakta ve hızla tükenmektedir. Fosil yakıtların yüksek oranda kullanılmasıyla çevre zarar görmekte ve bu nedenle çevreyi kirlletmeyecek aynı zamanda da enerji ihtiyacına cevap verebilecek güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjisi gibi hem yenilenebilir hem de sürdürülebilir enerji kaynakları üzerine odaklanılmaktadır (Mansoorian vd., 2013).

Çeşitli kaynaklardan gelen organik atıklar yüksek oranda enerji içermektedirler ve mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılarak madde ve enerji çevrimine katılmaktadırlar. Mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri ile organik maddelerde yer alan kimyasal bağ enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesini sağlayan Mikrobiyal Yakıt Hücresi (MYH), atık arıtımı ve elektrik üretme konularında aynı anda çözüm sunmaktadır.

Mikrobiyal yakıt hücrelerinde karbon kaynağı olarak çeşitli bileşikler kullanılabilir. Melas çok yüksek Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değeri, koyu kahverengi rengi ve düşük pH değerleri ile çevreyi yüksek oranda kirleten 17 atık su

bileşeni arasında yer almaktadır. Mikroorganizmalar kullanılarak yenilenebilir enerji üretimi ve çevresel atık arıtımı bu tezin temel amacını oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi kampüs alanında bulunan Akkaya baraj dip çamuru başlangıç inokulum olarak kullanılmış ve bu çamurda yer alan mikrobiyal komunitenin MYH’de kullanımı test edilmiştir. Besiyerinde melas karbon kaynağı olarak kullanılmış ve farklı medyatör bileşiklerin MYH’deki voltaj üretimine etkisi üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca mikrobiyal komunitenin kullanılan medyatör bileşiklerin (metilen mavisi ve nötral kırmızısı) gideriminin üzerindeki etkisi de belirlenmiştir.

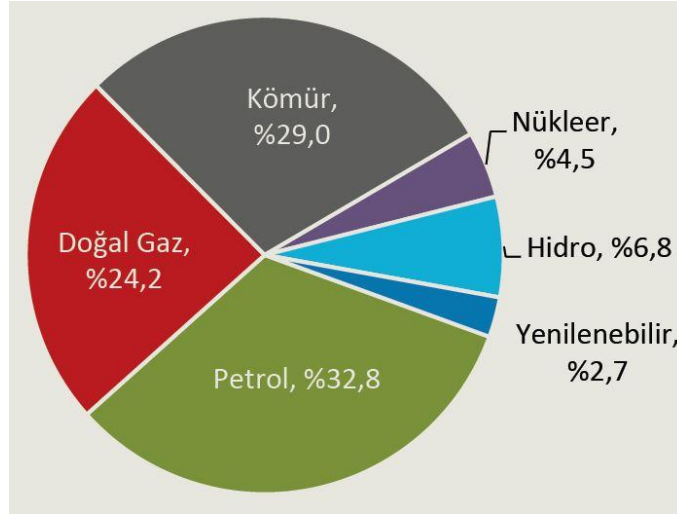


BÖLÜM II

KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Enerji

Dünya’da yaşayan tüm canlı organizmalar varlıklarını sürdürebilmek ve nesillerinin devamlılığını sağlayabilmek için harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Yeşil bitkiler fotosentez için güneş enerjisine ihtiyaç duyarken, hayvanlar ise metabolik faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için ihtiyaç duyduğu kimyasal enerjiyi gıda tüketimi ile karşılamaktadır. İnsanlar ise yaşamsal faaliyetlerini devam ettirmek için gereken kimyasal enerjinin dışında ulaşımdan üretime, sağlıktan eğitime, ve bunun yanısıra birçok temel ihtiyacını karşılamaya yönelik olarak harici enerjiye ihtiyaç duymaktadır (Nizami vd., 2017). Ayrıca, enerji kullanım düzeyi, kullanılan enerjinin çeşitliliği ve kalitesi gelişimin temel göstergesi ve gelişmeyi doğrudan etkileyen bir unsurdur (Kumar vd., 2015). Enerji, ekonomik ve toplumsal yaşamın her noktasında vazgeçilmez bir ihtiyaç olup, toplumsal sürekliliğin devamı enerjinin varlığına ve büyük ölçüde yenilenebilir olmasına bağlıdır (Koltukçu, 2010).



Şekil 2.1. 2015 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları (Anonim, 15 Haziran 2017)

Endüstrileşme ve kentleşme için gereken enerjinin elde edilmesi ve sürdürülebilirliği dünyanın en önemli sorunlarından biridir. Fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen ya da nükleer enerji gibi zararları öngörülemeyen kaynakların dengesizce kullanılması sonucu çevre ve atmosfere verilen zararlar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemini

ortaya çıkarmaktadır. Şekil 2.1 ve Çizelge 2.1.’de Dünyanın enerji elde etmekte kullandığı kaynaklar gösterilmiştir. Son yılların önemli bilimsel araştırma konusunu ise artan enerji ihtiyacını yenilenebilir ve sürdürülebilir yollardan temin etmek oluşturmaktadır (Stigka vd., 2014).

Çizelge 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Keskin, 2006)

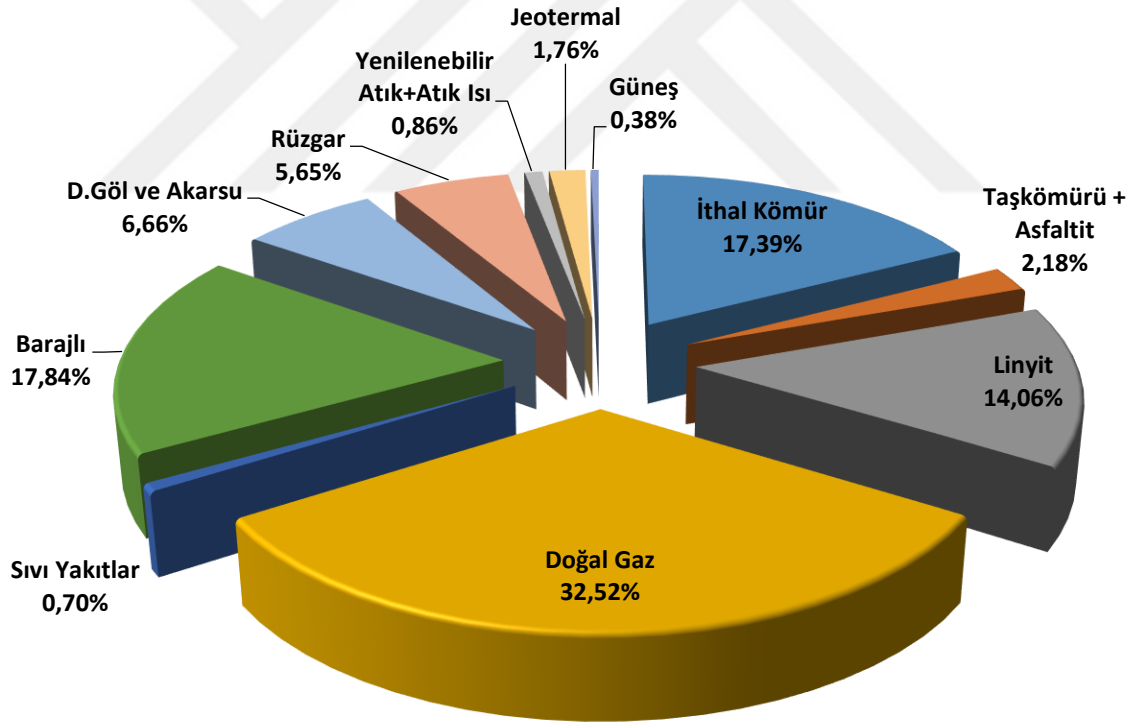
Birincil enerji kaynağı			İkincil enerji kaynağı
Yenilenebilir Enerji	Rüzgâr		Elektrik enerjisi Hidrojen enerjisi
	Hidrolik		
	Güneş		
	Jeotermal		
	Biyokütle		
	Dalga		
Yenilenemeyen Enerji	Fosil	Petrol	
		Doğalgaz	
		Kömür	
	Nükleer	Uranyum	
		Toryum	

2.2 Türkiye’de Enerji Kullanımı

2016 yılı verilerine göre Türkiye’nin yıllık elektrik üretimi 274.407,7 GWh’dır. Bu üretim miktarları ve kaynakları Çizelge 2.2’de verilmiştir. 2016 yılı verilerine göre Türkiye genelinde enerji ihtiyacının %32,52’si doğal gaz kaynaklarında sağlanmaktadır. İkinci en büyük kaynak ise %17,84’lük enerji ihtiyacına katkısı ile barajlardır. Bunun yanında ise enerji ihtiyacının giderilmesinde en az yararlanılan alan %0,70 ile sıvı yakıtlardır. Yenilenebilir atık ve atık ısı ile enerji ihtiyacının %0,86’sı karşılanmaktadır (Şekil 2.2).

Çizelge 2.2. 2016 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretimi miktarı ve kaynakları (TEİAŞ, 20 Ekim 2017)

KAYNAK	ÜRETİM (GWh)	KATKISI (%)
İthal Kömür	47.717,9	17,39
Taşkömürü + Asfaltit	5.985,3	2,18
Linyit	38.569,9	14,06
Doğal Gaz	89.227,1	32,52
Sıvı Yakıtlar	1.926,3	0,70
Barajlı	48.962,1	17,84
D.Göl ve Akarsu	18.268,8	6,66
Rüzgâr	15.517,1	5,65
Yenilenebilir Atık+ Atık Isı	2.371,6	0,86
Jeotermal	4.818,5	1,76
Güneş	1.043,1	0,38
TOPLAM	274.407,7	100,00

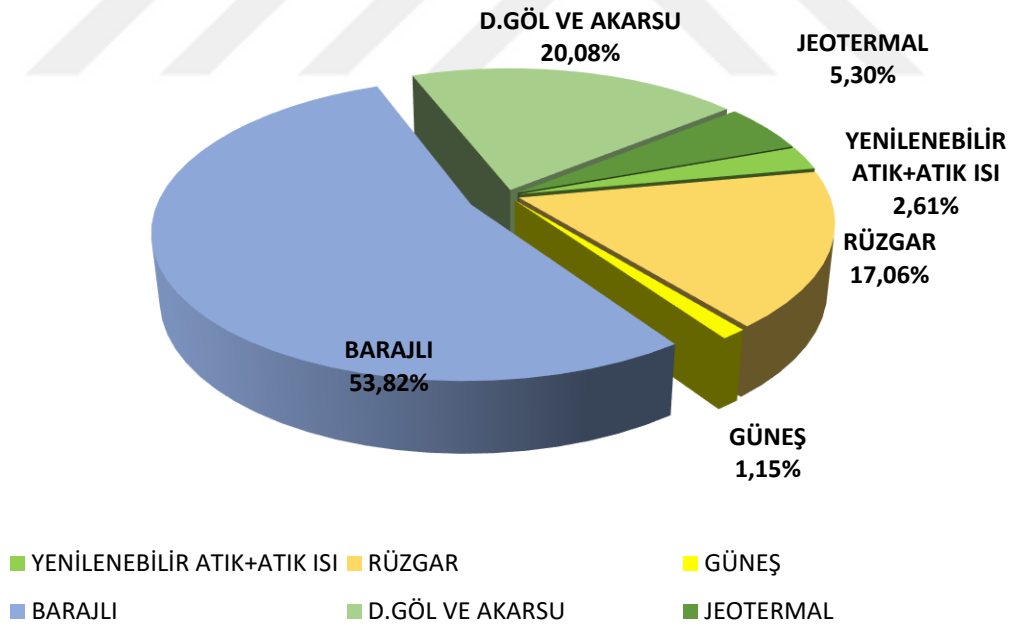


Şekil 2.2. 2016 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (TEİAŞ, 20 Ekim 2017)

Türkiye enerji ihtiyacının %33,15'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktadır (Şekil 2.3, Çizelge 2.3). Ancak burada en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynağını göl ve akarsu kaynaklarının oluşturduğu görülmektedir. Atık ve atıktan elde edilen ısı enerjisi kullanımı ise çok düşük düzeyde kalmaktadır.

Çizelge 2.3. 2016 yılı yenilenebilir enerji üretim miktarları ve kaynakları (TEİAŞ, 20 Ekim 2017)

	GWh	%
Yenilenebilir atık+atık ısı	2.371,6	2,61
Rüzgâr	15.517,1	17,06
Güneş	1.043,1	1,15
Barajlı	48.962,1	53,82
D.göl ve akarsu	18.268,8	20,08
Jeotermal	4.818,5	5,30
Toplam	90.981,3	100,00



Şekil 2.3. 2016 Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin dağılımı (TEİAŞ, 20 Ekim 2017)

2.3 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

2.3.1 Yenilenemeyen enerji kaynakları

Doğada bulunan enerji kaynaklarının kendini yenileyebilme yeteneği vardır. Ancak bu enerji kaynaklarının bazılarının kendini yenilemesi için milyonlarca yıl geçmesi gerekmektedir. Bu nedenle bazı kaynaklar yenilenemez enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Fosil yakıtlar (doğalgaz, petrol, kömür) ve nükleer enerji bu tür enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Günümüzde en yüksek oranda yenilenemeyen bu tür kaynaklardan enerji elde edilmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları aynı zamanda çevreye zarar vermektedir. Bu zararların başında yol açtıkları hava kirliliği, küresel ısınma, asit yağmurları, iklim değişiklikleri ve açığa çıkan zehirli gazların insanlar tarafından solunmasından kaynaklanan kronik hastalıklar olarak yer almaktadır. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç günden güne artmaktadır (Laslett vd., 2017; Mohan vd., 2008; Rodrigo vd., 2007; Stigka vd., 2014).

2.3.2 Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğanın kendi evrimi içinde, çok kısa zamanda eski haline gelebilen enerji kaynağıdır (Subbarao ve Dhananjaya, 2017).

Yenilenebilir enerji, herhangi bir üretim sürecinden geçmeden doğada var olan kaynaklardan sürekli devinim ile elde edilen ve çevreye zararı minimum olan enerji olarak bilinmektedir (Ünal, 2006). Yenilenebilir enerji kaynakları, dünya ve ülkemiz için düşük çevresel etkileri ve ulusal nitelikleri ve güvenilir enerji yolu olmaları ile önemli bir yere sahiptir (Apergis ve Payne, 2012; Frijns vd., 2013; Gandhar vd., 2016; Mohan vd., 2008; Perez-Collazo vd., 2015; Rabaey vd., 2004; Rodrigo vd., 2007; Weitemeyer vd., 2015; Young, 1967).

2.3.2.1 Güneş enerjisi

Güneş, yerküreyi ısıtmasıyla ve bitkilerde fotosentezde rol oynamasıyla dolaylı ya da dolaysız olarak temel enerji kaynağı olmaktadır (Baran vd., 2017). Dünyaya ulaşan güneş enerjisi ısıya dönüştürülerek (toplaçlar) ve elektrik enerjisine (güneş hücreleri-güneş pilleri) çevrilerek değerlendirilebilmektedir (Sahay vd., 2015). Güneş enerjisini doğrudan

elektrik enerjisine çeviren sistemler fotovoltaik hücrelerdir (PV hücreler-güneş hücreleri) ve çevreyi kirletmeyen, herhangi bir mekanizma gerektirmeyen ve gürültüsüz sistemlerdir(Baran vd., 2017).

2.3.2.2 Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr, yeryüzündeki farklı yüzeylerin, güneşin yerküreyi ısıtmasıyla farklı hızlarda ısınıp soğumasıyla oluşmaktadır. Rüzgâr, hareket halindeki havanın kinetik enerjisidir ve havanın yatay hareketleridir (Ellabban vd., 2014).

Rüzgârdan elektrik enerjisi rüzgâr türbinleri yardımıyla elde edilmektedir, Rüzgâr türbinleri ise mekanik veya güç elektroniği devreleri ile otomatik olarak kontrol edilmektedir. Rüzgâr hızının sürekli ve belirli ortalama hızın üzerinde olduğu alanlarda Rüzgâr enerji santralleri kurulmaktadır (Ellabban vd., 2014; Khare vd., 2016; Weitemeyer vd., 2015). Rüzgâr enerjisi, en kolay, temiz ve çabuk dönüştürülen yenilenebilir enerji kaynağıdır (Khare vd., 2016).

2.3.2.3 Jeotermal enerji

Jeotermal therme (ısı) ve geo (yeryüzü) kelimelerinden oluşturulmuş olup yer ısısı ya da yeryüzü ısısı anlamına gelmektedir. Bütün yeryüzü kayaçları içerisinde bulunan radyoaktif elementlerin bozulması sonucunda açığa çıkan ısının sürekli olarak yenilenmesiyle oluşmaktadır. Yani jeotermal enerji, dünyanın derinliklerindeki sıcak kaya ve akışkanların ısının yeryüzüne ulaşmasıyla elde edilen enerjidir (Lund ve Boyd, 2016; Nielsen vd., 2017). Jeotermal enerji, elektrik üretimi, ısıtma, kimyasal ve biyolojik (kurutmacılık, tarım, seracılık, kültür balıkçılığı) üretim ve termal turizm gibi alanlarda kullanılmaktadır. (Lund ve Boyd, 2016).

2.3.2.4 Hidroelektrik enerjisi

Hidroelektrik santraller akarsuların kinetik enerjisi ve akış gücünü elektriğe dönüştürürler. Akarsular çok yüksek bir noktadan düştüğünde veya büyük nehirler halinde yüksek miktarda enerji elde edilmektedir. Bu kinetik enerjiyi değerlendirmek için kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane biçiminde kolları olan türbinlerin dönmesiyle ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine

dönüştürülmektedir ve enerji üretiminde en büyük paya sahiptir (Bellotti vd., 2015; Madani vd., 2014; Melikoglu, 2017).

2.3.2.5 Deniz kökenli yenilenebilir enerji

Dünyada oluşan rüzgârlar ve rüzgâr nedeniyle oluşan dalgaların kinetik enerjisinin türbinler vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilmesini sağlayan enerji kaynağıdır. Avrupa ülkelerinde yeni yeni kullanılmaya başlayan bu enerji kaynağı yenilenebilir enerji kaynakları içinde en yüksek yoğunluğa sahip olmaktadır (Perez-Collazo vd., 2015).

2.3.2.6 Hidrojen enerjisi

Hidrojen, bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahip olan evrenin en basit ve en çok bulunan elementidir. Ancak doğada serbest halde bulunmaz ve birim enerji başına hacmi yüksektir(Cipriani vd., 2014). Yakıt hücreleri, Hidrojenin kimyasal enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine çevrildiği sistemlerdir ve enerji kaynağı olan hidrojen ya doğrudan ya da hidrojen salan bir kaynak yardımı ile sisteme verilmektedir (Karellas ve Tzouganatos, 2014).

2.3.2.7 Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi, canlı biyolojik kaynaklardan (tarım atıkları, bitkisel atıklar, mayalanma prosesleri) elde edilen enerjidir. Enerji, tarım ürünlerinden, kentsel atıklardan, tarımsal endüstri atıklarından yakma işlemi ya da farklı teknikler kullanılarak katı, gaz ve sıvı yakıtlara çevrilerek biyokütle yakıt elde edilmesi, ısı ve elektrik üretilmesi mümkün olmaktadır. Bitkisel, hayvansal ya da kentsel atıklar gibi biyokütlelerden alternatif katı, sıvı, gaz yakıtların elde edilmesi ise biyokütle enerji teknolojileri ile mümkün olmaktadır. Biyokütle teknolojileri kısaca termik santrallere benzeyen bir sistem kullanmaktadır ve bu sistemlerde anaerobik fermentasyonu temel alan proses uygulanmaktadır (Lauri vd., 2014), (Kumar vd., 2015).

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde rüzgâr ve güneş enerjisinin aksine sürekli enerji sağlayabilen ve bu özelliği ile büyük bir potansiyele sahip olan biyokütle kolay depolanabilir olmasıyla da diğer enerji kaynaklarından daha avantajlı konuma

geçmektedir. Ayrıca küresel ısınmaya katkıda bulunmaz ve kuramsal olarak en temiz ve sürdürülebilir enerjidir (Laslett vd., 2017).

Biyoyakıt kullanımının avantajları, petrol ithalatını azaltması, kırsal kesimin sosyo-ekonomik yapısının iyileşmesi ve enerji tarımının gelişmesi, doğal enerji kaynaklarının ve çevrenin korunması ve Sürdürülebilir enerjiye destek olması olarak sayılabilmektedir. Ayrıca biyokütle özellikle enerji hatlarından uzak bölgelerde modern işletmeler ile kendi kendine yeten bölgelerin oluşturulmasını sağlayabilmektedir (Ellabban vd., 2014; Mathiesen vd., 2015; Umar vd., 2013).

2.4 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantaj ve Dezavantajları

Yenilenebilir enerjilerin dikkati çeken pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunlar:

- Hava, su kirliliğini ve küresel ısınmayı ve etkisini azaltmaları
- Biyoçeşitliliğin ve çevrenin korunması ve Ekolojik olmaları
- Yerli ve ekonomik olmaları
- Toplumsal ve güvenlik maliyetlerinin az olması
- İşletme ve ikincil atık maliyetlerinin az olması
- Ekonomik olmaları, istihdam olanaklarının fazla olması
- Modern olmaları ile enerji sektöründe ülkenin bağımsız olmasını sağlaması
- Toplumsal ve ekonomik gelişmeyi desteklemesi ve gelecek nesilleri koruması
- Nükleer enerji ile ortaya çıkan kirliliği ve nükleer silahların çoğalma riskini azaltması

Yukarıda madde madde verilmiş olan avantajların olmasına rağmen yenilenebilir enerji yatırımları yeterli ölçüde değildir. Bunun nedeni ise ekonomik açıdan pahalı kabul edilmeleri, kredi ve finansman düzeneklerinin yetersiz olması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, bunu dengeleyecek yeterli kredi ve finansman düzeneklerinin bulunmaması gibi maliyete dayalı dezavantajlardır. Ayrıca yasal ve yönetsel düzenlemelerin yetersizliği, teknolojiler, ekonomik ve toplumsal yararları konusunda yetersiz bilgi, üretime yönelik alt yapının henüz tam oluşmamış ve standartların gelişmemiş olması ve fosil yakıtları destekleyen dolaylı ve dolaysız düzeneklerin faaliyetlerinin çokluğu gibi nedenlerle ulusal enerji plan ve politikalarında dikkate

alınmaması gibi yönetsel dezavantajları bulunmaktadır. (Koltukçu, 2010; Kumar vd., 2015; Lauri vd., 2014; López vd., 2013; Mathiesen vd., 2015; Young, 1967).

2.5 Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Mikrobiyal Yakıt Hücreleri

2.5.1 Mikrobiyal yakıt hücresi (MYH)

Mikroorganizmalardan elektrik enerjisi üretme, yeni bir fikir değildir. Bir bölmede mikroorganizmanın olduğu diğer bölmede ise steril besin tuz solüsyonun bulunduğu bir sistemde oluşan potansiyel farktan dolayı elektrik enerjisi üretilebileceğini keşfeden İngiliz araştırmacı Michael C. Potter, 1911 yılında “Mikroorganizmalar tarafından organik bileşiklerin parçalanması ile elektriksel enerjinin serbest kalmasıyla birlikte olmaktadır” bulgusunu paylaşarak Mikrobiyal Yakıt Hücresi (MYH) elektrik üretimi üzerine çalışan ilk araştırmacı olmuştur. Bu çalışmada elektrik üretiminin mikroorganizmaların aktivitelerinin sonucu olduğu ve elektriksel etkinin sıcaklık, besin kaynağı ve mevcut olan aktif mikroorganizma sayısından etkilendiğini ifade edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 0,3 - 0,5 V'luk bir enerji varlığının tespit edildiği rapor edilmiştir (Potter, 1911).

Potter'dan sonra, 1960'lı yıllara kadar MYH ile ilgili önemli gelişmeler olmamıştır. Bu zaman süresince elektriğin ekonomik gelişmeler için gerekli bir güç kaynağı olduğunun farkına varılmasıyla, Young vd., MYH üzerine yoğun çalışmalarda bulunarak, elektrokimyasal ürünlerin üretimi ve giderimi için mikroorganizmaları kullanarak, üç tip biyokimyasal yakıt pil hücresi yapmışlardır (Young, 1967). 1980'li yılların sonlarında mikroorganizmalarda gerçekleşen indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları açıklanmıştır (Bennetto, 1990).

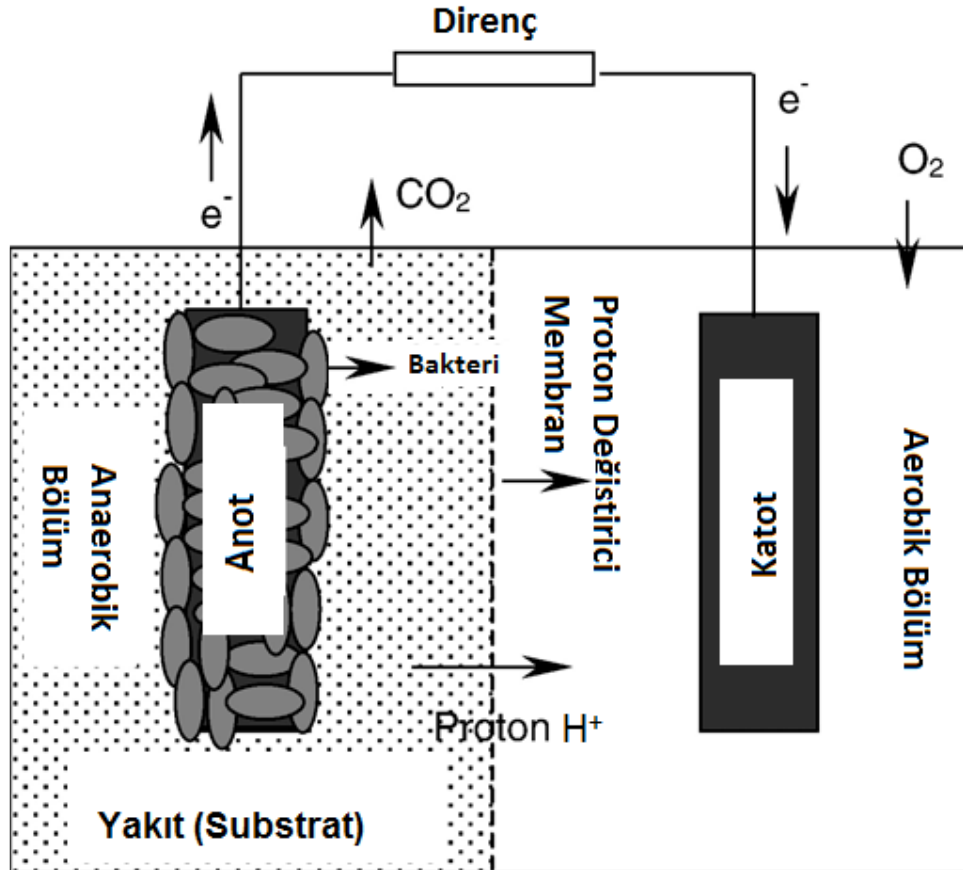
Mikrobiyal yakıt hücreleri, fermantatif bakteriler ile biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerde depolanan kimyasal enerjiyi elektrokimyasal teknoloji kullanarak elektrik enerjisine dönüştürebilen biyokimyasal katalizli bir sistemdir. Mikrobiyal yakıt hücreleri, “karbon-nötr” olma özellikleri ile yenilenebilir, sürdürülebilir ve temiz enerji kaynaklarından biridir. Atık sular içerdikleri organik maddeler nedeniyle arıtım için harcanan enerjiden daha fazla enerji içermektedir ve MYH'de atıklarda yer alan kimyasal bağ enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Yani MYH hem atık arıtmını

hem de enerji üretimini gerçekleştirmektedir. İnorganik ve organik bileşiklerde yer alan kimyasal bağ enerjisi anot ve katot arasında kimyasal oksidasyon-redüksiyon mekanizması ile dönüştürülmektedir (Allen ve Bennetto, 1993; Du vd., 2007).

Mikrobiyal yakıt hücreleri basit karbonhidratları, evsel veya gıda ve tarım endüstrisi atıklarını, kompleks organik bileşikleri parçalayarak açığa çıkan biyokimyasal enerjiyi kullanmaktadır. Mikroorganizmalar tarafından katalizlenen reaksiyonlar ile hem atık arıtım maliyetleri düşmekte hem de atıklarda saklı kalan enerji kullanılabilir hale gelmektedir (Çatal vd., 2009; Demir ve Gümüş, 2016).

2.5.2 Mikrobiyal yakıt hücresi ve kısımları

Şekil 2.4’de klasik bir MYH’nin şematik gösterimi verilmiştir. MYH, katot ve anot adı verilen ve birbirinden proton değiştirici membran (seçici geçirgen zar veya tuz köprüsü) ile ayrılan iki bölmeden oluşan bir sistemdir.



Şekil 2.4. Mikrobiyal yakıt hücresi yapısı (Du vd., 2007)

Anot bölmesi, mikroorganizmaların gelişmesi için uygun koşulların sağlandığı kısımdır. Bu bölmede mikroorganizmaların gelişimi için besiyeri ve elektronların aktarılması için elektrot bulunur. Mikroorganizmalar bu bölmede organik molekülleri parçalayarak elektron ve protonlar açığa çıkarırlar. Elektronlar, elektrot üzerinden anottan katoda doğru ilerler (Potter, 1911).

Katot bölmesi, anot bölgesinde oluşan elektron ve protonların oksijen molekülleri ile birleştiği kısımdır. Bu bölmede tampon çözelti ve elektrot bulunur. Ayrıca alternatif elektron alıcısı olarak ferrisiyanit bileşiği kullanılabilir. Bu bölmede elektronlar ve protonlar O_2 'nin H_2O 'ya indirgenmesine yol açar (Mohan vd., 2008).

Anot ve katot bölmesi arasında protonların geçişini sağlayan ara bağlantılar vardır. Genellikle daha fazla güç çıkışı sağladığı için proton değişim zarı (Nafyon) kullanılmaktadır (Logan, 2008). Ancak pahalı bir madde olduğu için alternatif olarak tuz köprüsü (Min vd., 2005), ultrex (Rabaey vd., 2004), kaolinden yapılmış porselen septumlar (Park ve Zeikus, 2001), ve sırsız çömlek duvarı (Behera vd., 2010) kullanılabilir. Seçici geçirgen özelliğinden dolayı bu membranlar sadece katyonların geçişine izin verirken, katot bölümündeki oksijenin anaerobik olan anot bölümüne geçişini de engellemektedir.

Genel olarak MYH çalışmaları, iki bölmeli ve tek bölmeli sistemlerde yapılmaktadır. Ancak çalışmanın amacına yönelik olarak MYH sisteminde değişiklikler yapılabilmektedir. Bundan dolayı iki bölmeli kübik reaktör (Cheng vd., 2006), tek bölmeli hava katot şişe reaktör (Logan, 2008), boru şeklinde tek bölmeli hava katot reaktör (Liu vd., 2004), düz plaka MYH reaktörü (Min vd., 2005), iki bölmesi doğrudan bir kelepçe ile birbirine bağlı olan U şeklinde MYH reaktörü (Milliken ve May, 2007), mini MYH (Ringeisen vd., 2006), grafit granüllü silindirik MYH reaktörü (Rabaey vd., 2005) gibi sistemler ortaya çıkmıştır.

Mikrobiyal yakıt hücrelerinde genellikle karışık mikrobiyal kültürler kullanılmaktadır. Bu durum ise bakterilerin saf kültürleri kullanıldığında ya sadece basit karbonhidratları kullanmaları nedeniyle etkin atık arıtımı yapamamaları (örneğin *Geobacter*), ya mikrobiyal saf kültürlerin fermentatif yolla elektrik üretememeleri (örneğin *Pseudomonas*), ya da anaerobik koşullar altında organik asitlerin asetata tam olarak okside edilmemeleri ve verimin sınırlanması (örneğin *Shewanella*) gibi çeşitli operasyonel zorluklardan kaynaklanmaktadır.

Karışık mikrobiyal komünite kullanımıyla daha etkin ve yüksek verimde elektrik üretimi mümkün olmaktadır. Bu nedenle çok farklı atık sulardan ve mikrobiyal kaynaklardan (evsel atık su, endüstriyel atık su, dip sedimentleri gibi) elde edilen mikrobiyal kültürler MYH’de kullanılmaktadır (Çatal vd., 2009; Haddadi vd., 2014; Taskan vd., 2014).

2.5.3 Medyatör bileşikler

Hücre zarında yer alan elektron taşıma zincirleri ile bunların zarındaki yerleşimleri protonların elektronlardan ayrılmasını sağlamaya uygundur. NADH gibi bir molekülde uzaklaştırılan 2 elektron ve 2 proton özgül taşıyıcılar aracılığıyla zincirin başından sonuna doğru taşınırlar. Bu sırada protonlar hücre dışına pompalanır elektronlar ise son elektron alıcısına aktarılır. Bakterilerle kurulan mikrobiyal yakıt hücrelerinde NADH yerine medyatör bileşikler kullanılabilir ve bu medyatör bileşikler elektronları son elektron alıcısına kadar taşırlar (Logan, 2007; Madigan vd., 1997).

Mikrobiyal yakıt hücrelerinde elektrotlara elektron transferi çok düşük verimlilikte gerçekleştiği gözlemlenmiştir. İki bölmeli MYH’de elektronların anottan katoda doğru taşınmasında direkt elektron taşınımı ve medyatör bileşikler aracılığıyla elektron taşınımı yapılabilmektedir. Mikrobiyal hücrelerden MYH sisteminde yer alan elektrotlara elektron aktarımı çok düşük düzeyde olmaktadır ve bu nedenle sistemde medyatör bileşik denilen bu elektron taşıyıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Nötral kırmızı veya metilen mavisi gibi elektron medyatörleri daha kararlı yapıları ile elektronları mikrobiyal oksidasyonda proton motiv güçte kullanılmasını sağlar. (Gezginci vd., 2011; Lin vd., 2014; Park vd., 1999; Park ve Zeikus, 2001).

Mikroorganizmalar hücre duvar yapılarından ötürü elektronları anot elektroda direkt olarak aktaramazlar ve bu elektronları hücre içinde alıp taşıyacak ara bileşiklere gereksinim duyarlar. Bu bileşikler medyatör olarak adlandırılır ve hücre içine girerek elektronlara bağlanan ve elektronlarla indirgenerek hücreden çıkıp anotta elektronu kaybederek yükseltgenen bileşiklerdir. Medyatör bileşikler elektron kulesinde oksidasyon redüksiyon çiftlerini yerini alan mimetik bileşiklerdir. Mikrobiyal yakıt hücrelerinde, bir elektron medyatörünün bakteriyel oksidatif metabolizma ile birleşmesini ve bir de elektron medyatörünün katot yüzeyinde elektron alıcısının azalmasını eşleştirmek için iki redoks çiftine ihtiyaç vardır. Mikrobiyal yakıt

hücrelerindeki elektron transfer verimleri, daha uygun elektron medyatörleri kullanıldığında artırılabilir (Bennetto, 1990; Gezginci vd., 2011; Lin vd., 2014; Park ve Zeikus, 2001).

Yapılan literatür taramalarında pek çok araştırmacının farklı medyatör bileşikler üzerinde araştırmalar yaptıkları ve bu medyatör bileşiklerin elektrik üretimini arttırdığı görülmüştür (Ieropulos vd., 2005, Park ve Zeikus, 2000, Park ve Zeikus, 2001, Lin vd., 2014, Taşkan vd., 2014). Önceki araştırmacılar, mikroorganizmalar tarafında üretilen metabolik indirgenme enerjisinin bazı elektron medyatörlerini kullanarak elektriğe dönüştürülebileceğini ve kimyasal medyatörlerin hücre duvarı ve anot elektrot arasında elektron transferini artırarak MYH'nin performansının arttırdığını belirlemişlerdir. Bu bileşikler arasında metilen mavisi, nötral kırmızı, meldoa mavisi gibi kimi boyalar, tionin, ferrisiyanit, antrokinon 2,6-disülfat gibi bileşikler yer alabilmektedir (Gezginci vd., 2011). Medyatör bileşiklerin kullanımı MYH performansının 10 kata kadar artırabilmektedir (Park ve Zeikus, 2001).

2.5.4 Atık su ve özellikleri

Atık, herhangi bir madde veya mal üretilirken açığa çıkan ve çevreyi olumsuz yönde etkileyerek kirliliğe neden olan her türden maddedir. Atıklar oluştukları yerlere, kimyasal ve fiziksel yapılarına göre gruplandırılırlar. Ülkemizde her geçen yıl atık üretim miktarı ciddi anlamda artış göstermektedir (Karasu, 2013).

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile birlikte hızlı kentleşme, nüfus artışı ve modern hayatın sürdürülmesi amacıyla doğal kaynaklar kullanılmakta ve yerine konulamamaktadır. Bunun yanı sıra tüketim ürünleri hızla eskiyerek çöp sınıfına konulmaktadır. Doğanın tahribatı ve çevre kirliliği, doğal kaynakların hızla tükenmesi ve tüketimden kaynaklanan atıkların giderilme sorunları, maliyetleri ve depolamada yer ihtiyacının doğurduğu sorunlar atık sorunları olarak gruplandırılmaktadır. (Kilochytska vd., 2016; Lüy vd., 2007).

Çoğu endüstri kuruluşu üretim aşamasında yüksek miktarda su kullanmaktadır. Su; üretim aşamasında; hammadde, temizlik maddesi, çözücü, yardımcı madde, reaksiyon bileşeni ve enerji taşıyıcı olarak görev alır. Kullanım sonucunda özelliği değişmiş sular,

“atık su” olarak adlandırılır ve alıcı ortama verilmeden önce arıtılmaları gerekir (Frijns vd., 2013).

Atık sular aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

- Evsel atık su
- Kurumsal atık sular
- Endüstriyel atık sular
- Kanalizasyon içine süzülme
- Yağmur suyu
- Çöp sızıntı suyu

Çizelge 2.2. Atık suların özellikleri (Akyürek, 2009)

Fiziksel özellikleri	Kimyasal özellikleri	Biyolojik özellikleri
✓ Toplam katı madde	✓ Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	✓ Bitkiler
✓ Sıcaklık	✓ Kimyasal Oksijen İhtiyacı	✓ Hayvanlar
✓ Koku	✓ Toplam Organik Karbon	✓ Fungi
✓ Bulanıklık	✓ pH	✓ Protozoa
	✓ Alkalinite	✓ Virüsler
	✓ Azot, fosfor, kükürt, klorür vb.	✓ Bakteriler
	✓ Ağır Metaller ve Zehirli Bileşikler	✓ Algler gibi mikroorganizmalar
	✓ Gazlar	

Atık maddelerin içerdiği enerjinin geri kazanılmasıyla hem yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimi azaltılmakta hem de ikincil hammaddelerin üretimi sırasında enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Aydın, 2007).

Atık sularda bulunan an kirleticiler arasında yer alan ve organik madde, renk pigmenti yüksek olan melas ciddi sorunlara neden olmaktadır. Yüksek KOİ ve BOİ değerleri ve kolayca parçalanamayan pigment maddeleri nedeniyle melasın giderimi zor olmaktadır (Satyawali ve Balakrishnan, 2008; Tondee vd., 2008).

Atık sulardaki boyaların giderimi fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri ile yapılmaktadır. Biyolojik yöntemler ekonomik ve doğa dostu olması sebebiyle daha fazla araştırılmakta ve kullanım sıklığı artmaktadır. Biyolojik sistemlerde bakteriler, algler, bitkiler veya mantarlar kullanılabilir. Mikrobiyal yakıt hücresi mikroorganizmalar kullanılarak kirleticilerin giderildiği yöntemlerden biridir (Behera vd., 2010; Frijns vd., 2013; Park ve Zeikus, 2001).



BÖLÜM III

MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Pil hücresi ve elektrotlar

Yapılan tez çalışmasında 300 mL anot ve 300 mL katot bölmesi hacmine sahip olan ve arada 150 mL tuz köprüsü ile bağlantı sağlanan özel yapım cam mikrobiyal yakıt hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.1). Hücrede voltaj takibinde elektron ileticisi olarak 10 cm uzunluğunda ve 0,8 cm çapında karbon elektrotlar kullanılmıştır (Şekil 3.2). Sistem kurulduktan sonra mikrobiyal komunitenin metabolik faaliyetleri sonucu oluşan voltaj farkı PeakTech 4390 multimetre ile takip edilmiştir (Deval ve Dikshit, 2013; Logan, 2008).



Şekil 3.1. Cam mikrobiyal yakıt hücresi



Şekil 3.2. Karbon elektrotlar

3.1.2 Kullanılan besiyeri ve diğer çözeltilerin bileşimi

3.1.2.1 Fosfat tampon çözeltisi

Yapılan çalışmada anot bölgesinde melaslı besiyeri ve katot bölgesinde son elektron alıcısı çözelti hazırlamak için 50 mM fosfat tampon çözeltisi kullanılmıştır. Bu amaçla 0.36 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 2.452 g/L NaH_2PO_4 ve 4.576 g/L Na_2HPO_4 ile fosfat tamponu hazırlanmış ve pH değeri 0.1 M H_2SO_4 ve 0.1 M NaOH ile pH 7'ye ayarlanmıştır. Bunun yanı sıra çözeltinin iletkenliğini artırmak için 0.13 g/L KCl ilave edilmiştir (Logan, 2008; Mohan vd., 2008).

3.1.2.2 Melaslı besiyeri bileşimi (anot bölgesi)

Çalışmada kullanılacak olan melasın hazırlanması şu şekilde yapılmıştır. Ham melas 60 g tartılarak üzerine 200 mL çeşme suyu eklendikten sonra 3 mL H_2SO_4 eklenir ve bünzen beki alevinde kaynatılmıştır. Kaynama başladıktan sonra 10 dakika daha kaynatılır ve oda sıcaklığında soğutulmuştur. Soğuyan melas örneği filtre kâğıdı ile süzülerek ve pH 7'ye ayarlanmıştır. Hazırlanan melas örneği çalışma için stok solüsyon olarak kullanılmıştır.

Çalışmada bakteriyel gelişmenin sağlanabilmesi için Dönmez'in 2002 yılında kullanmış olduğu melaslı besiyeri modifiye edilmiştir. Besiyerinin hazırlanması için 80 mL/L melas çözeltisi, 1.0 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve 0.5 g/L KH_2PO_4 1 L fosfat tamponuna eklenmiştir. Besiyeri pH'ı 7'ye ayarlanmıştır (Dönmez, 2002).

3.1.2.3 Tampon çözelti (katot bölgesi)

Bakteriyel metabolizma tarafından üretilen elektronların yakalanabilmesi için son elektron alıcısı olarak ferrisiyanit bileşimi kullanılmıştır. 1 L fosfat tamponu çözeltisine 50 mM $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ eklenmiştir (Logan, 2008; Zhang vd., 2011).

3.1.2.4 Tuz köprüsü

Çalışmada anot ve katot bölmeleri arasındaki bağlantıyı sağlamak amacıyla, proton değişim zarı olarak kullanılan nafyonun yüksek maliyeti (400 avro/m²) nedeni ile çok daha ucuz bir yöntem olan tuz köprüsü kullanılmıştır (Üçgül ve Çakır, 2012). Tuz

köprüsü anot ve katot arasındaki bağlantı borusunu tamamen doldurmak amacıyla 150 mL hazırlanmıştır ve yüzey alanı 10,17 cm² dir. 11.16 g KCl ve 4.5 g agar agar 150 mL distile su içinde çözündürülmüş ve steril edilerek kullanılmıştır (Min vd., 2005; Rodrigo vd., 2007).

3.1.2.5 Bakteriyel kültür

Yapılan tez çalışmasında mikrobiyal yakıt hücresinde Akkaya Baraj gölünden alınan dip çamuru başlangıç inokulum olarak kullanılmıştır. Dip çamuru temmuz ayında temin edilmiş ve +4°C’de muhafaza edilmiştir. Mikrobiyal komunitenin gelişimi ise spektrofotometrik olarak 600 nm’de belirlenmiştir.

3.1.2.6 Medyatör bileşikler

Tez çalışmasında elektron aktarımı artırmak amacıyla Metilen Mavisi ve Nötral Kırmızı kullanılmıştır. Boyalar ile hazırlanan standart stok çözeltilerden pil hücresinde son konsantrasyon MM için 200 µM ve NK için 50 µM olacak şekilde eklenmiştir. Metilen mavisi konsantrasyonu spektrofotometrik olarak 665 nm’de, NK konsantrasyonu ise 525 nm’de belirlenmiştir (Lin vd., 2014; Rahimnejad vd., 2011).

Tez çalışmasında deney sisteminde kirlilik giderimi kimyasal oksijen ihtiyacının takibi (KOİ) ile yapılmıştır. Bu amaçla KOİ standart potasyumdikromat parçalama tekniği ile belirlenmiştir (Zhang vd., 2015). Kimyasal oksijen ihtiyacının belirlenmesinde kullanılan reaktif ve çözeltiler aşağıda verilmiştir.

1. Reaktif - standart potasyum dikromat çözeltisi

167 mL H₂SO₄ içinde 33.3 g HgSO₄ çözündürülür. 4.913 g K₂Cr₂O₇ bir miktar suda çözündürülür ve civa sülfatlı sülfürik asit çözeltisi ile karıştırılır. Çözelti soğuduktan sonra distile su ile 1000 mL’ye tamamlanır.

2. Reaktif - gümüş sülfatlı sülfürik asit çözeltisi

7.59 g AgSO₄ 750 mL derişik H₂SO₄ içinde çözündürülür.

3. Reaktif – demir amonyum sülfat çözeltisi

49 g $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ bir miktar suda çözündürülür. 20 mL derişik H_2SO_4 eklendikten sonra 500 mL'ye tamamlanır.

4. Reaktif-ferroin belirteç çözeltisi

1.485 g 1,10 fenontrolin monohidrat ve 695 mg $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 100 mL diřtile suda çözündürülür.

Reaktiflerin hepsi koyu renkli şişeye konur ve buzdolabında saklanır.

3.2 Metot

3.2.1 Mikrobiyal yakıt hücresinin hazırlanması

Tez çalışması H tipli iki bölmeli mikrobiyal yakıt hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Anot bölgesinde melaslı besiyeri ve inokulum olarak Akkaya Baraj gölü çamuru, katot bölgesinde ise son elektron alıcısı olarak ferrisiyanit içeren fosfat tampon çözeltisi kullanılmıştır. Anot ve katot bölgesi arasında bağlantıyı sağlamak amacıyla tuz köprüsü kullanılmıştır. Sistem 48saat arayla 50 mL taze melaslı besiyeri ile beslenmiş ve anot hücresindeki melas miktarı, medyatör bileşik konsantrasyonu belirli bir seviyede tutularak mikrobiyal gelişmenin hızlı üreme döneminde kalması ve voltaj üretiminin yüksek seviyede tutulması sağlanmıştır. Mikrobiyal gelişiminin ve MYH ile ilgili diğer parametrelerin takip edilmesi için inkübasyon 25°C 'de 30 gün boyunca devam ettirilmiştir. Bu esnada anot bölgesinin oksijen ile teması kesilmiş ve katot bölgesi ise sürekli olarak havalandırılmıştır. Sisteme taze besiyeri eklenirken 50 mL örnek alınmış ve örnekten mikrobiyal optik yoğunluk, kimyasal oksijen ihtiyacı ve medyatör olarak kullanılan bileşiklerin konsantrasyon takibi yapılmıştır. Mikrobiyal yakıt hücresine dair voltaj takibi deneyin başından itibaren tüm inkübasyon periyodu boyunca 20 dakikada bir kez kayıt alınarak yapılmıştır. Tüm deneyler iki paralel olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılmış olan mikrobiyal yakıt hücresi

3.2.2 Renk giderim deneyleri

Tez çalışmasında bakteriyel komunitenin medyatör bileşikler üzerinde renk giderimi yaptığı tespit edilmiş ve bu nedenle kesikli sistemde MM için 200 ve 300 μM ve NK için 50 ve 100 μM konsantrasyonlarda medyatör bileşiklerin dekolorizasyonu %giderim oranıyla tespit edilmiştir. Bu amaçla 300 mL olarak hazırlanan melaslı besiyerine sözü geçen konsantrasyonlarda boya eklenmiş gün aşırı örnek alınmış ancak taze besiyeri eklenmemiştir. Bu örneklerden mikrobiyal gelişimin belirlenmesi için optik yoğunluk takip edilmiş, kirlilik giderimi için KOİ tayini yapılmış ve renk giderimi ise spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Deneyler iki paralel olarak yapılmıştır.

BÖLÜM IV

BULGULAR

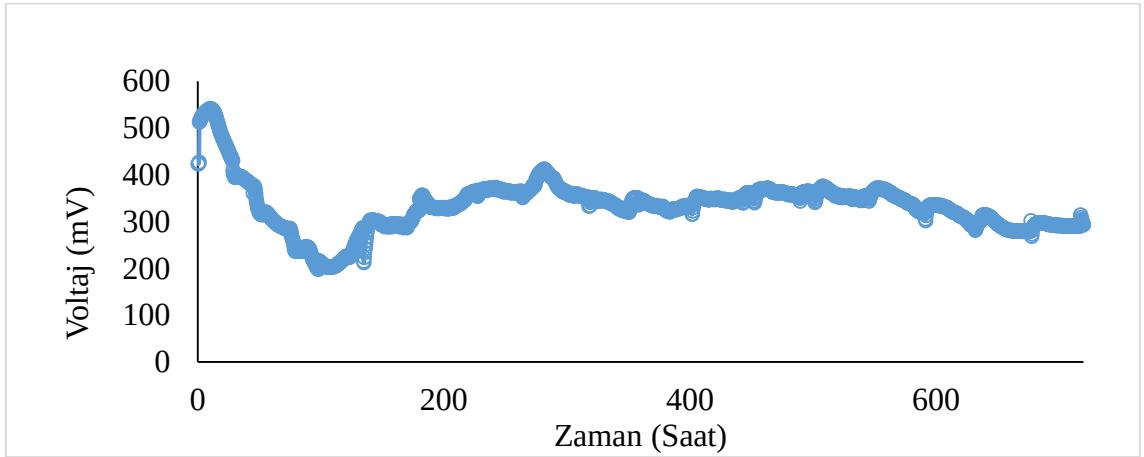
Yapılan tez çalışmasında MYH hücresi materyal ve metotta anlatılan şekilde hazırlanmış ve 30 gün boyunca 25 °C’de inkübe edilmiştir. İnkübasyon periyodu boyunca MYH hücresinde üretilen voltaj 20 dakikada bir kez kayıt yapan multimetre ile takip edilmiştir. Ayrıca alınan örneklerden KOİ, mikrobiyal komüniteye ait optik yoğunluk, medyatör bileşik miktarı gibi parametreler belirlenmiştir.

4.1 Melash Besiyerine Ait Araştırma Bulguları

Tez çalışmasında öncelikle herhangi bir medyatör bileşik eklenmeden melash besiyerinde üretilen voltaj belirlenmiş ve alınan örneklerden KOİ ve mikrobiyal komüniteye ait optik yoğunluk gibi mikrobiyal gelişime ait veriler incelenmiştir.

4.1.1 Voltaj üretimi

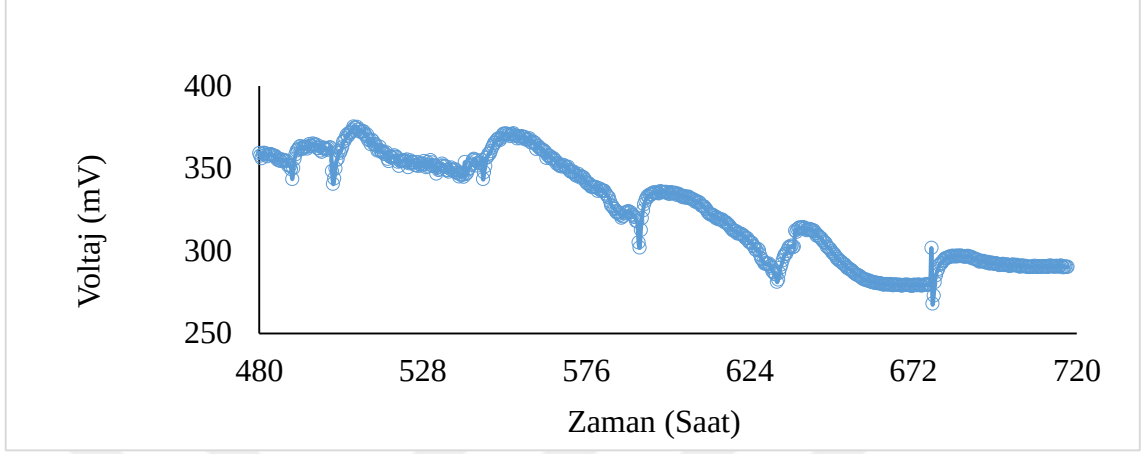
Aşağıdaki grafiklerde (Şekil 4.1. ve 4.2) 30 günlük inkübasyon periyodunun tamamında üretilen voltaj ve sistem dengeye ulaştıktan sonra üretilen voltaj değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Melash besiyerinde 30 günlük inkübasyon periyodu boyunca üretilen voltaj grafiği

Sistem 20 gün içinde dengeye ulaşmaktadır ve inkübasyon periyodunun bu aşamasından sonra besleme yapılan saatlerde voltaj değişimi ve sistemin tekrar dengeye ulaştığı net

olarak görülmektedir. Bu durum ise mikrobiyal metabolizma ile açığa çıkan elektron akışının taze besiyeri eklenmesiyle yeniden artması olarak açıklanabilir (Haddadi vd., 2014).



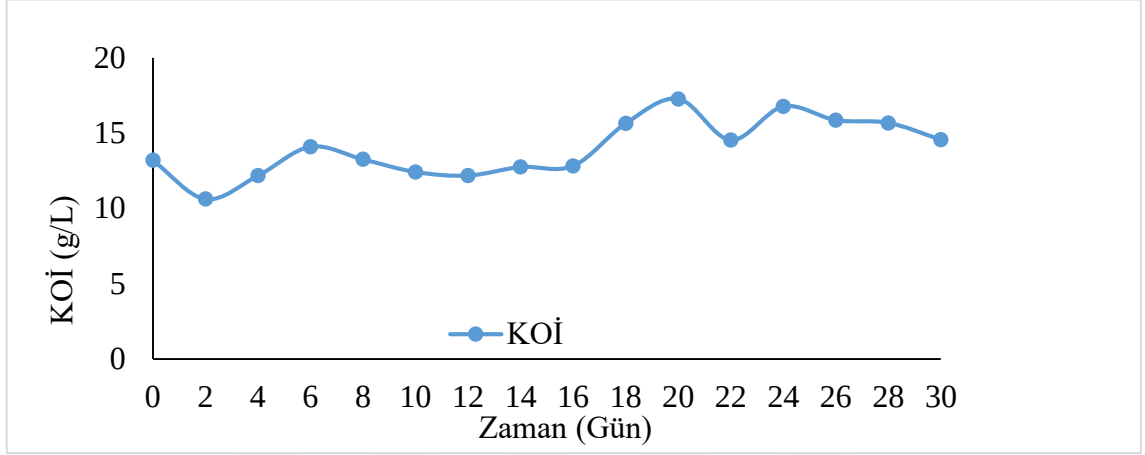
Şekil 4.2. Melaslı besiyerinde inkübasyon periyodunun son 10 gününde üretilen voltaj grafiği

Yukarıdaki grafikte inkübasyon periyodunun son 480-720 saatleri arasında kaydedilen voltaj değerleri verilmiştir. 480. Saatte voltaj değeri 359,3 mV iken deney süresinin bitiminde voltaj değeri 290,5 olarak kaydedilmiştir. Tez çalışmasında sistem dengesi sağlandıktan sonra 340,6, 343,5, 302, 281,25, 268,1 mV değerlerinde besleme yapılmış ve besiyeri eklenmesi sonucunda voltaj değerleri 372,5, 368,25, 334,85, 312,6, 296,8 mV değerlerine yükselmiştir. Sonuçlarından anlaşıldığı üzere melaslı besiyeri eklendikten sonra voltaj değeri yaklaşık olarak 30 mV artmakta ve sistemin voltaj dengesi ise 300 ila 350 mV aralığında görülmektedir. Ancak inkübasyon periyodunun son günlerinde mikrobiyal komünitenin ürettiği voltaj değerlerinin düşmesine bağlı olarak elektroaktif mikroorganizmaların öldüğü düşünülmüş ve dolayısıyla inkübasyon periyodu 30 gün ile sınırlandırılmıştır.

4.1.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı

Gerçekleştirilen tez çalışmasında sistemde yer alan kirliliğin giderilmesi tezin en önemli amaçlarından birini oluşturmaktadır. Aşağıdaki grafikte 30 günlük inkübasyon periyodu boyunca takip edilen KOİ değerleri gösterilmiştir (Şekil 4.3). 48 saatte taze besiyeri eklenmesi nedeniyle KOİ değerleri 13–15 g/L olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın 6 ila 16 günlük inkübasyon döneminde besiyeriyle eklenen kirleticinin mikrobiyal

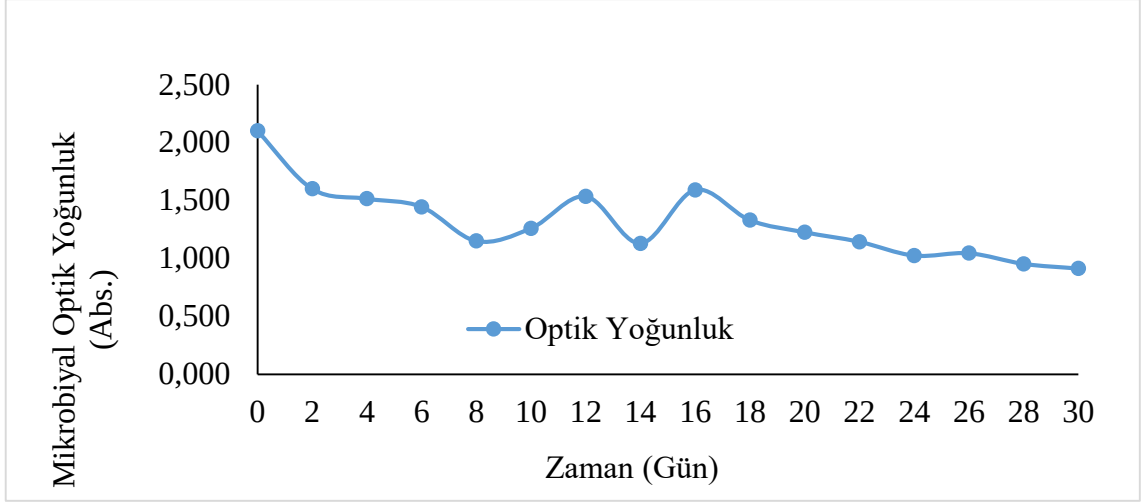
metabolizma tarafından kullanılmış olduğu ve KOİ değerinin yaklaşık aynı kaldığı görülmektedir. Bu inkübasyon döneminden sonra ise KOİ değeri yavaş yavaş artış eğiliminde olmuştur. Bu durum melasın neden olduğu kirliliği ve melasın mikrobiyal komünite tarafından substrat olarak kullanımının azaldığını göstermektedir. Bu ise mikrobiyal komünitede yer alan mikroorganizmaların canlılığının azalmasından kaynaklanabilmektedir.



Şekil 4.3. Melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince KOİ giderimi grafiği

4.1.3 Mikrobiyal komünite gelişimi

Tez çalışmasında Akkaya Baraj Gölü dip sedimenti başlangıç inokulum olarak kullanılmıştır. İnkübasyon periyodu boyunca mikrobiyal komünitenin gelişimi spektrofotometrik olarak takip edilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.4). Grafikte görüldüğü üzere mikrobiyal komüniteye ait optik yoğunluk 1 ila 1,5 absorbans değerinde belirlenmiştir ancak inkübasyon periyodunun son günlerinde mikrobiyal gelişimin yavaşladığı ve ölümlerin arttığı düşünülmektedir. İnkübasyon periyodunun başlangıcında görülen yüksek optik yoğunluğun dip çamurundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



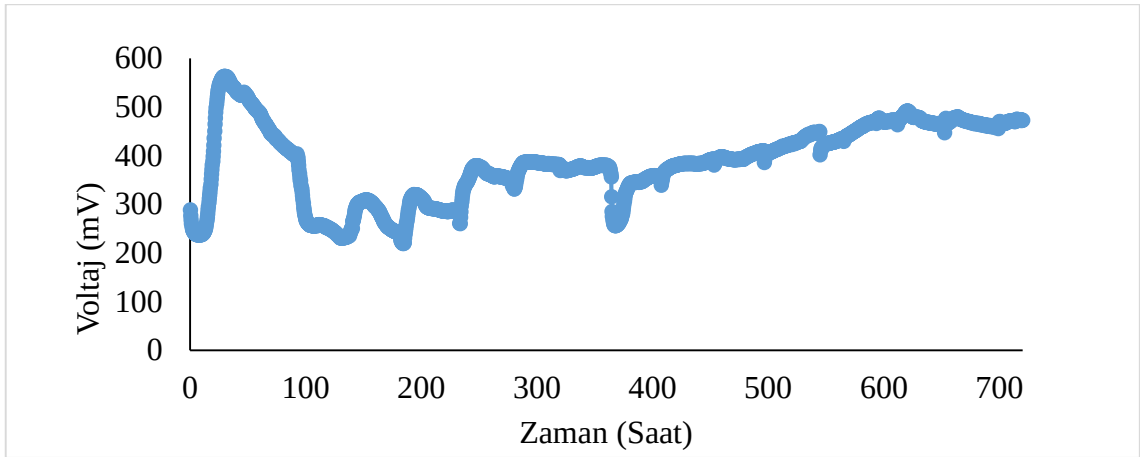
Şekil 4.4. Melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince mikrobiyal optik yoğunluk grafiği

Mikrobiyal komünite gelişimi ve KOİ bir arada değerlendirildiğinde KOİ gideriminin mikrobiyal gelişmeye bağlı olduğu görülmektedir. Mikrobiyal gelişimin daha yüksek olduğu zamanda daha yüksek KOİ giderimi tespit edilmiştir. Ancak voltaj üretiminin dengeye gelmesi için ise mikrobiyal komünitenin daha stabil bir üreme döngüsünde olması gerekmektedir. Yukarıdaki tüm grafikleri dikkate alındığında inkübasyon periyodunun başında mikrobiyal komüniteye ait optik yoğunluğun daha yüksek olduğu buna karşılık üretilen voltaj değerlerinin dengede olmadığı görülmektedir. İnkübasyon periyodunun sonlarına doğru ise mikrobiyal optik yoğunluğun düşmesi ile KOİ değerinin yükselmeye başladığı ancak voltaj üretiminin dengeye geldiği görülmektedir. En düşük optik yoğunluğun tespit edildiği inkübasyon periyodunun son gününde ise voltaj üretimi de düşmeye başlamıştır.

4.2 Medyatör Olarak Metilen Mavisi İçeren Melaslı Besiyerine Ait Araştırma Bulguları

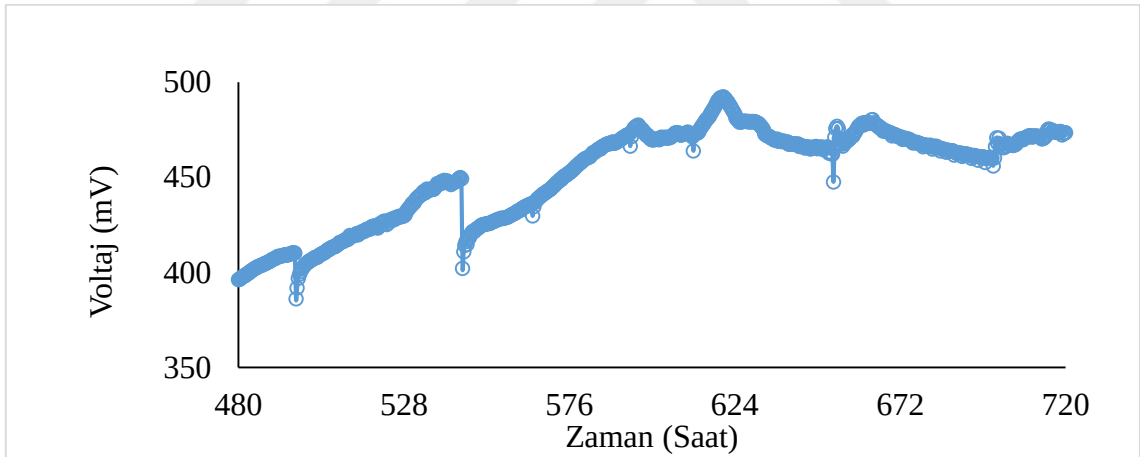
Yapılan tez çalışmasında melaslı besiyerinde MM medyatör bileşik olarak kullanılmış ve MM bulunan melaslı besiyeri ortamında üretilen voltaj belirlenmiş ve alınan örneklerden KOİ, MM konsantrasyonu ve mikrobiyal optik yoğunluk gibi mikrobiyal gelişime ait veriler incelenmiştir.

4.2.1 Voltaj üretimi



Şekil 4.5. Metilen mavisi içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince üretilen voltaj grafiği

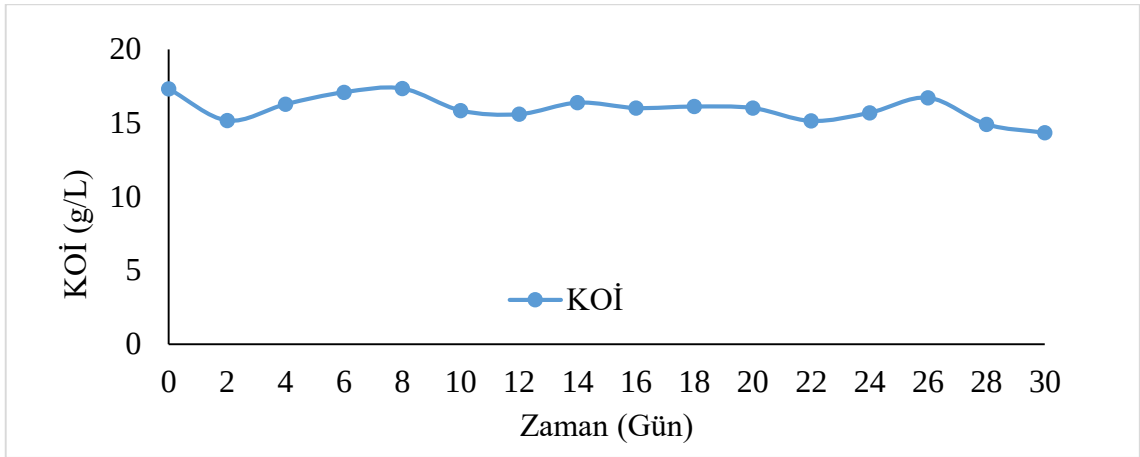
Medyator bileşik eklendiğinde sistemde üretilen voltaj değerinin yaklaşık olarak 200 mV arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.6. Metilen mavisi içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince üretilen voltaj grafiği

Medyator bileşik olarak metilen mavisinin eklendiği deneyin son 10 günlük inkübasyon periyoduna bakıldığında 396,2 mV olan voltaj değeri inkübasyon periyodunun sonunda 473,3 mV değerine yükselmiş ve ayrıca en yüksek voltaj değerine 624. Saatte 489 mV değeri ile ulaşılmıştır (Şekil 4.6).

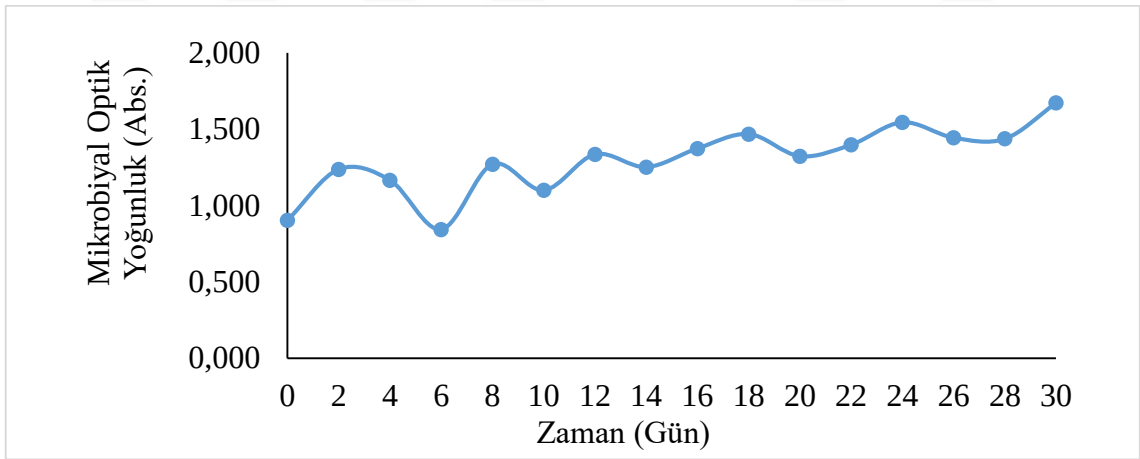
4.2.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı



Şekil 4.7. Metilen mavisi içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince KOİ giderimi grafiği

Yapılan çalışmada MM medyatör olarak kullanıldığında KOİ değerinin 15 g/L değerinde dengede kaldığı görülmüştür (Şekil 4.7).

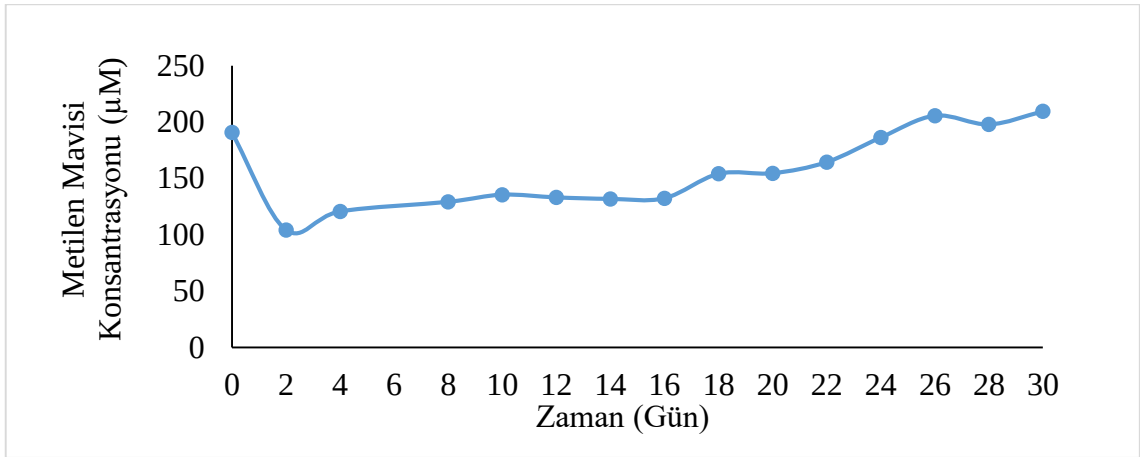
4.2.3 Mikrobiyal komünite gelişim grafiği



Şekil 4.8. Metilen mavisi içeren melaslı besiyeri inkübasyon periyodu süresince mikrobiyal optik yoğunluk grafiği

Tez çalışmasında MYH'nin voltaj üretebilmesi için mikrobiyal gelişimin dengede kaldığı görülmektedir. Metilen mavisinin bulunduğu ortamda mikrobiyal gelişimin inkübasyon periyodu boyunca arttığı görülmüştür (Şekil 4.8).

4.2.4 Metilen mavisi konsantrasyon grafiği



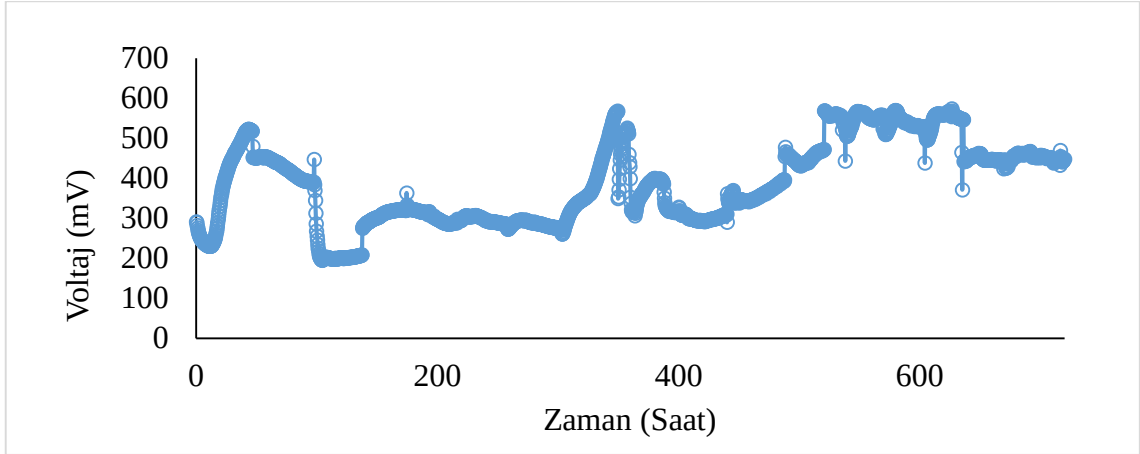
Şekil 4.9. Metilen mavisi içeren melaslı besiyeri inkübasyon periyodu süresince konsantrasyon grafiği

Tez çalışmasında metilen mavisinin inkübasyon periyodu boyunca spektrofotometrik olarak takibi yapılmış ve medyatör konsantrasyonu inkübasyon periyodunun başlangıcında 190.83 µM, inkübasyon periyodunun sonunda ise 209.67 µM olarak belirlenmiştir. Metilen mavisi çalışmada kullanılan mikrobiyal komünite tarafından inkübasyon periyodunun başlangıcında tüketilmiş ancak inkübasyon periyodu ilerledikçe taze besiyeri ile birlikte MM eklendiği için konsantrasyonu yavaş yavaş artmıştır (Şekil 4.9).

4.3 Medyatör Olarak Nötral Kırmızı İçeren Melaslı Besiyerine Ait Araştırma Bulguları

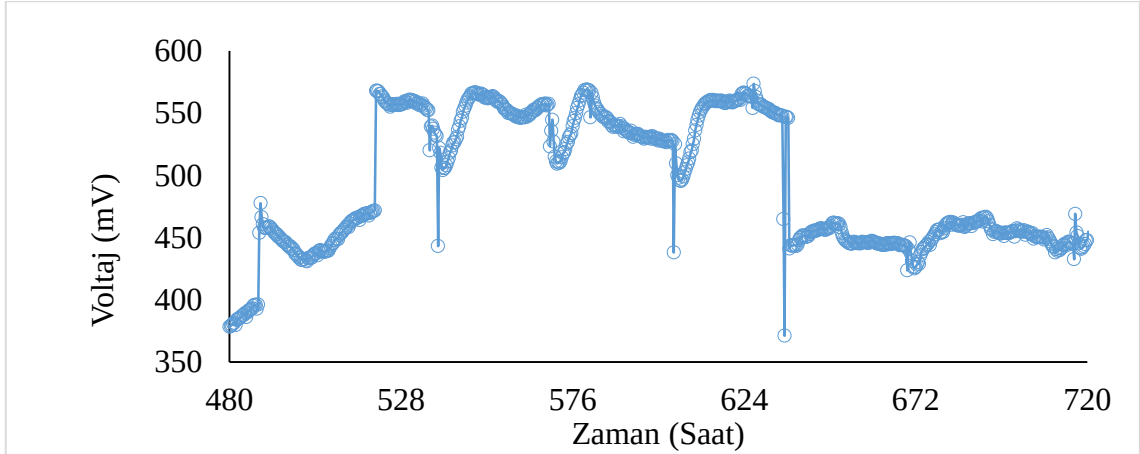
Yapılan tez çalışmasında melaslı besiyerinde NK medyatör bileşik olarak kullanılmış ve benzer şekilde NK bulunan melaslı besiyeri ortamında üretilen voltaj belirlenmiş ve alınan örneklerden KOİ, medyatör bileşik ve mikrobiyal komüniteye ait optik yoğunluk gibi mikrobiyal gelişime ait veriler incelenmiştir.

4.3.1 Voltaj üretimi



Şekil 4.10. Nötral kırmızı içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince üretilen voltaj grafiği

Tez çalışmasında NK varlığında tüm inkübasyon periyodu boyunca kaydedilen voltaj değerleri yukarıda grafikte gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere inkübasyon periyodunun başında voltaj değerleri dengesiz iken inkübasyon periyodunun ilerleyen dönemlerinde, özellikle son 10 günlük inkübasyon periyodunda voltaj üretiminin dengeye geldiği belirlenmiştir (Şekil 4.10 ve 4.11).



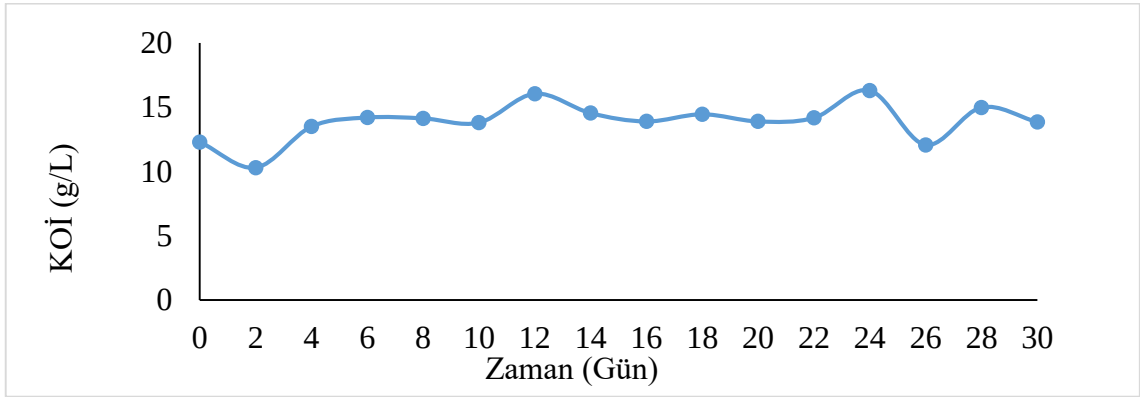
Şekil 4.11. Nötral kırmızı içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince üretilen voltaj grafiği

Nötral kırmızı varlığında üretilen voltaj değeri inkübasyon periyodunun son döneminde 500 mV civarındadır. Voltaj üretimi dengeye geldikten sonra inkübasyon periyodunun 20. Gününde 379 mV voltaj kaydedilmişken 1. taze besiyeri eklemesinde 567 mV,

üçüncü eklemede 546 mV, inkübasyon periyodunun son 50 saatlik döneminde ise yaklaşık 450 mV voltaj kaydedilmiştir.

4.3.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı

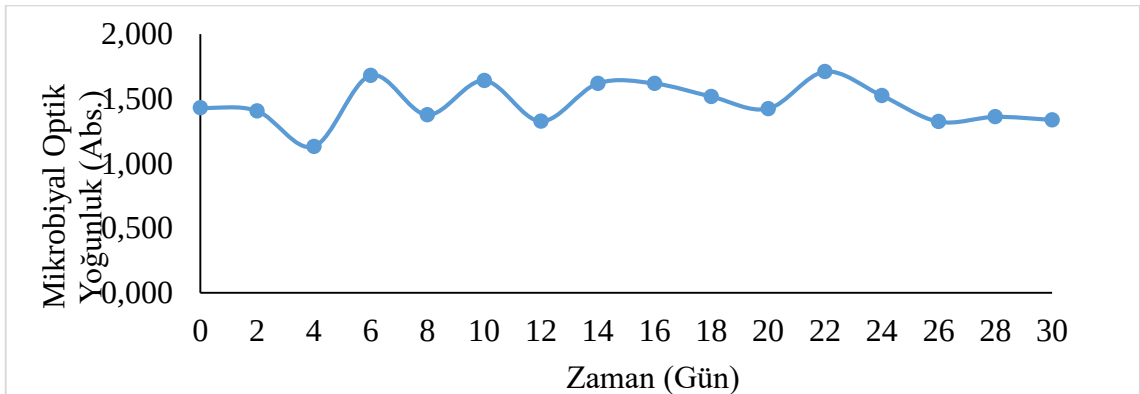
Yapılan tez çalışmasında NK medyatör olarak eklendiğinde KOİ değerlerinin yaklaşık olarak 13 g/L değerlerinde dengede kaldığı belirlenmiştir. İnkübasyon periyodu boyunca tespit edilen KOİ değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Nötral kırmızı içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince KOİ grafiği

4.3.3 Mikrobiyal komünite gelişim grafiği

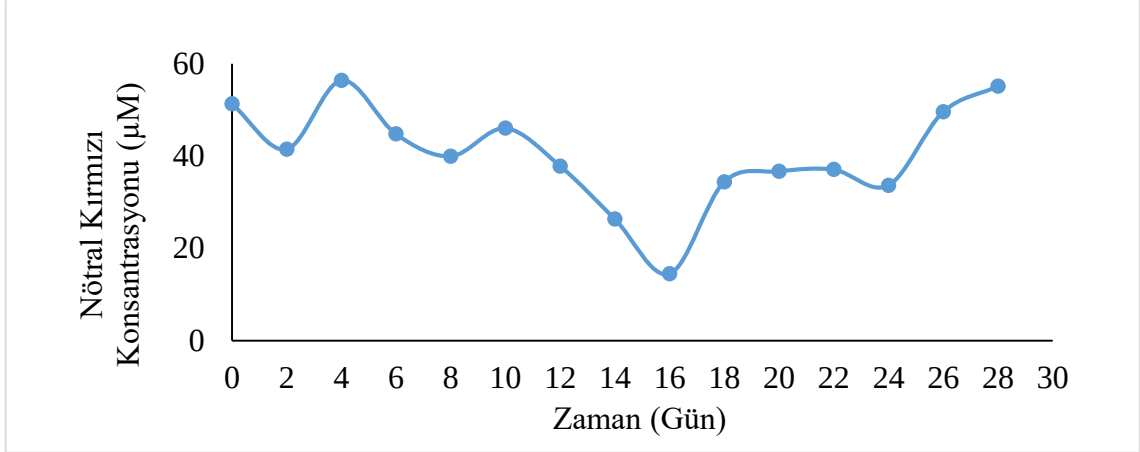
Aşağıdaki grafikte gösterildiği üzere mikrobiyal komüniteye ait optik yoğunluk tüm inkübasyon periyodu boyunca 1,5 absorbans değerleri düzeyinde dengede kalmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Nötral kırmızı içeren melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu süresince Mikrobiyal optik yoğunluk grafiği

4.3.4 Nötral kırmızı konsantrasyon grafiği

Gerçekleştirilen tez çalışmasında nötral kırmızının besiyerindeki miktarı spektrofotometrik olarak takip edilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.14).



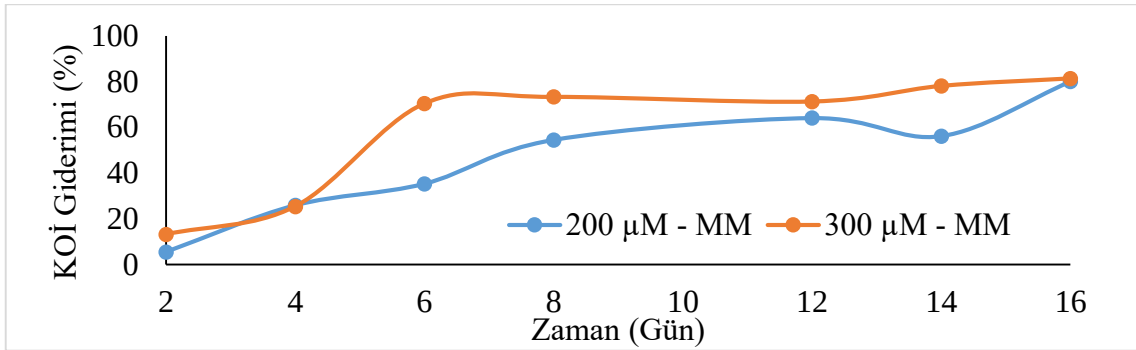
Şekil 4.14. Melaslı besiyerinde nötral kırmızı konsantrasyonu grafiği

İnkübasyon periyodunun sonlarında mikrobiyal gelişmenin azalması ile NK'nın substrat olarak kullanımının azaldığı ve konsantrasyonun arttığı görülmektedir.

4.4 Medyatör Bileşiklerin Kesikli Sistemde Giderim Deneyleri

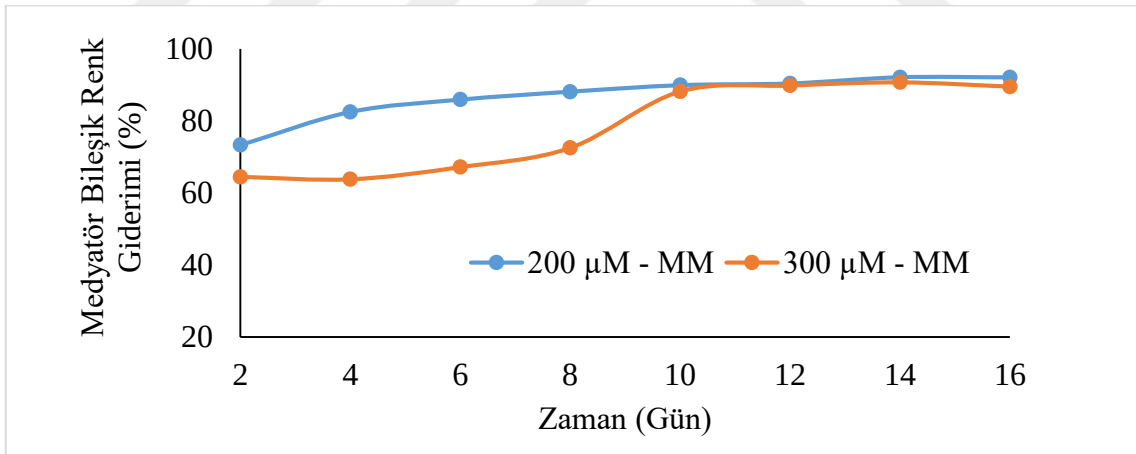
Yapılan tez çalışmasında mikrobiyal komunitenin sisteme medyatör olarak eklenen boyalar (MM ve NK) dekolorize ettiği gözlenmiştir. Bunun üzerine medyatör bileşiklerin dekolorizasyonun belirlenmesi için kesikli beslemeli sistemdekine benzer koşullarda başlatılan ancak besleme yapılmadan sadece kesikli sistemde KOİ, medyatör bileşik yoğunluğu ve mikrobiyal kominiteye ait optik yoğunluk belirlenmiştir.

4.4.1 Metilen mavisine ait dekolorizasyon verileri



Şekil 4.15. Mikrobiyal komüniteye ait MM KOİ giderim değerleri (İnkübasyon periyodu: 16 gün)

Yukarıdaki grafikte metilen mavisinin varlığında melaslı besiyerinde inkübasyon periyodu boyunca kesikli sistem ile yapılan denetlerde elde edilen KOİ giderimi görülmektedir. İnkübasyon periyodunun 4. gününde KOİ giderimi %25 inkübasyon periyodunun 16. gününde ise %80 oranlarında hesaplanmıştır. KOİ gideriminin dengeye geldiği bu noktada deneyler sonlandırılmıştır(Şekil 4.15).

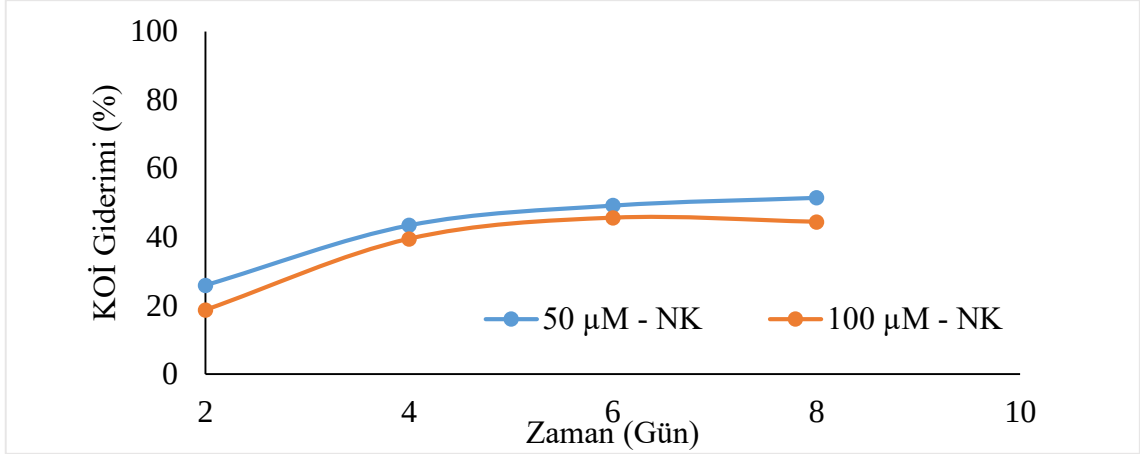


Şekil 4.16. Mikrobiyal komüniteye ait MM renk giderim değerleri (İnkübasyon periyodu: 16 gün)

Medyatör bileşiklerin renk gideriminin kesikli sistemde elde edilen verileri yukarıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.16). İnkübasyon periyodunun 10. Gününde yaklaşık olarak %90 oranında renk giderimi tespit edilmiş ve medyatör bileşiğin dekolorizasyon oranı inkübasyon periyodunun bu döneminden sonra sabit kalmıştır.

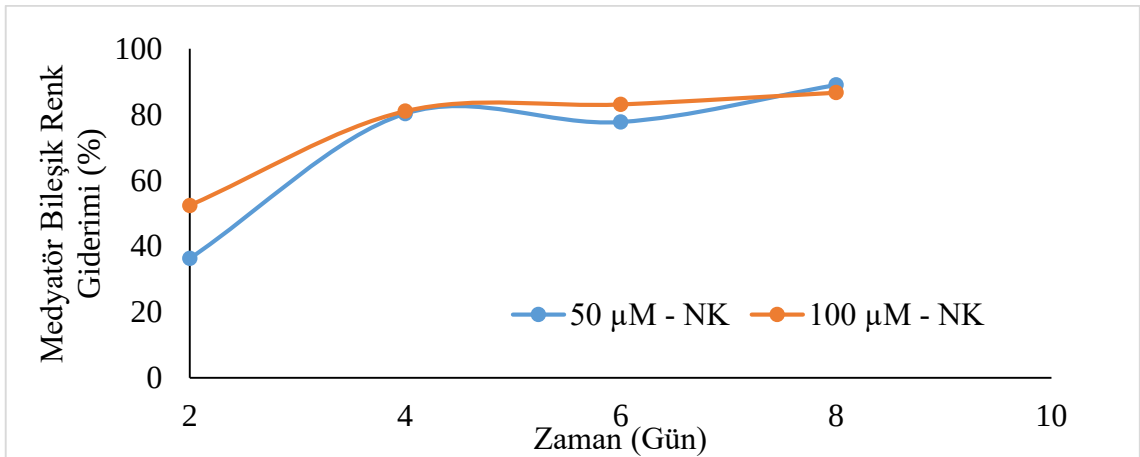
4.4.2 Nötral kırmızısına ait dekolorizasyon verileri

Yapılan tez çalışmasında nötral kırmızı varlığında kesikli sistemde KOİ ve renk giderimi verileri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Renk giderimi inkübasyon periyodunun 4. gününden itibaren dengeye geldiği için yapılan çalışmada deneyler 8. günden sonra devam ettirilmemiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. NK varlığında KOİ giderim değerleri (İnkübasyon periyodu: 8 Gün)

Kimyasal oksijen ihtiyacı giderimi 8 günlük inkübasyon periyodunda 50 µM NK konsantrasyonunda %51, 100 µM NK konsantrasyonunda %44 oranında hesaplanmıştır.



Şekil 4.18. Mikrobiyal komüniteye ait NK renk giderim değerleri (İnkübasyon periyodu: 8 Gün)

Tez çalışmasında kesikli sistemde NK renk giderimi inkübasyon periyodunun 8. Gününde her iki boya konsantrasyonu için %85 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.18).

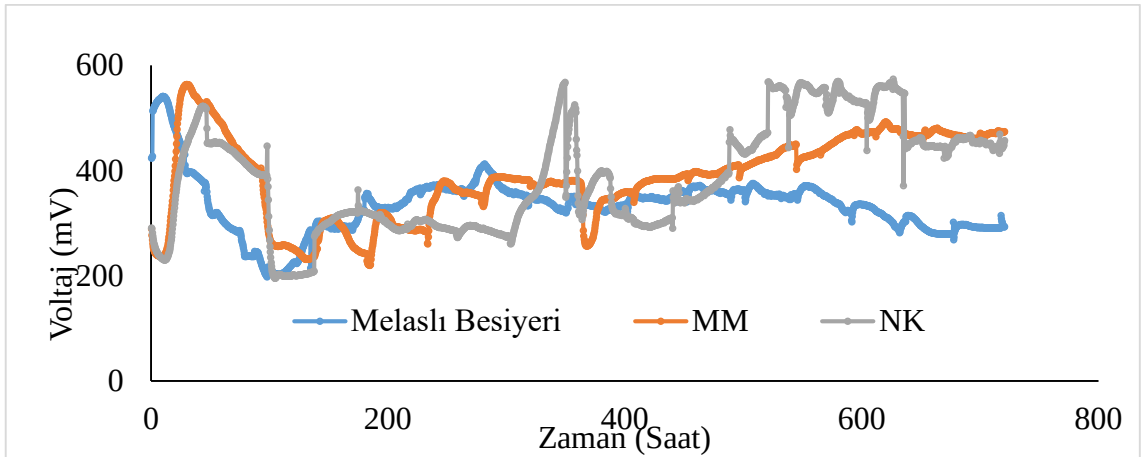
BÖLÜM V

TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışmasında iki farklı medyatör bileşiğin melaslı besiyerinde iki bölmeli pil hücrelerinde kesikli beslemeli sistemde üretilen voltaj, melaslı besiyeri nedeniyle oluşan KOİ ve KOİ giderimi üzerine olan etkisi karşılaştırılmıştır. Ayrıca medyatör bileşiklerin kesikli sistemde renk giderimi ve KOİ giderimi belirlenmiştir. Elde edilen bulgular bir önceki bölümde anlatılmıştır.

5.1 Voltaj Üretiminde Medyatör Bileşiklerin Etkisi

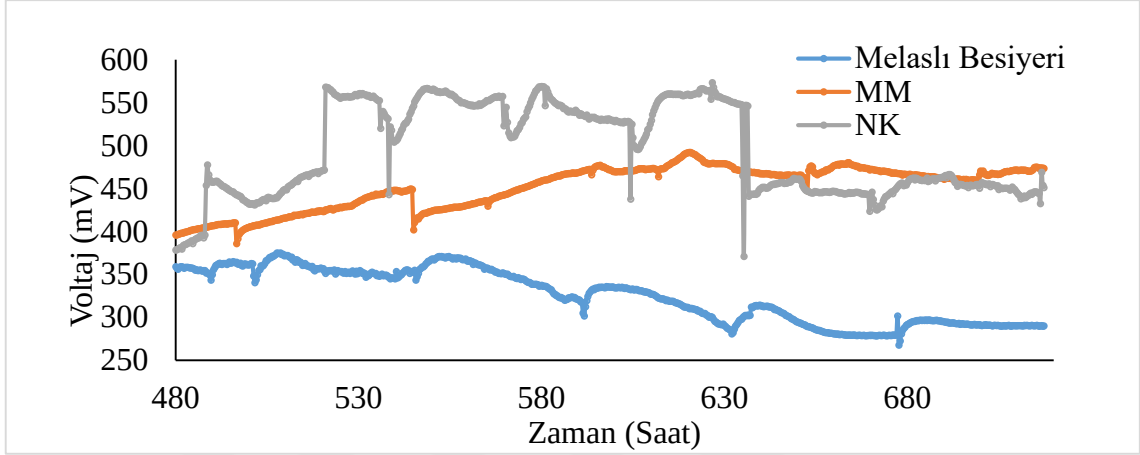
Mikrobiyal yakıt hücrelerinde voltaj, mikroorganizma tarafından organik maddenin parçalanma reaksiyonlarında açığa çıkan elektronların anot elektrot üzerinden bir devre aracılığı ile katoda aktarılmasıyla oluşmaktadır. Sistemde üretilen elektrik devreden geçen voltajın belirlenmesi ile ölçülmektedir. Mikrobiyal adaptasyonun artmasıyla birlikte sistemde üretilen voltajın arttığı ve taze besiyeri ile yapılan beslemeler ile voltaj üretiminin gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. İki bölmeli MYH'ye adaptasyonun inkübasyon periyodunun ilerleyen dönemlerinde gerçekleşmesi literatür ile uyumludur (Catal vd., 2008; Haddadi vd., 2014; Taşkan, 2016).



Şekil 5.1. MYH’de üretilen voltaja medyatörlerin etkisi (İnkübasyon periyodu: 720 saat)

30 günlük (720 saat) inkübasyon periyodunda melaslı besiyeri, metilen mavisi ve nötral kırmızı varlığında kaydedilen voltaj değerleri yukarıdaki grafikte görülmektedir (Şekil

5.1). Medyatör bileşiminin olmadığı durumda melaslı besiyerinde üretilen voltaj değerinin en düşük olduğu ve medyatör bileşikler varlığında kaydedilen voltaj değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bunun yanı sıra NK varlığında inkübasyon periyodunun ortalarında daha yüksek voltaj değerlerinin kaydedildiği ancak inkübasyon periyodunun sonlarında MM ve NK varlığında benzer voltaj değerlerinin kaydedildiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.2. MYH’de üretilen voltaja medyatörlerin etkisi (İnkübasyon periyodu: 480-720 saat)

Tez çalışmasında 20 gün inkübasyondan sonra sistemde üretilen voltajın dengeye geldiği görülmüştür. Yukarıdaki grafikte inkübasyon periyodunun 480-720. saatleri arasında kaydedilen voltaj verileri görülmektedir (Şekil 5.2). Metilen mavisi ile besleme zamanlarında voltaj değerlerinin çok farklılaşmadığı ancak NK ile besleme zamanlarında voltaj değerlerinde ani düşüşler olduğu ve tekrar denge seviyesine ulaştığı görülmektedir. Bununla beraber NK varlığında MM bulunduğu duruma göre daha yüksek voltaj değerleri kaydedildiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada taze besiyeri ile yapılan beslemede voltaj üretiminin yeniden başlamasıyla belirlenmiş olan mikrobiyal komunitenin besiyerinde melas kullanımına adapte olduğunu ve bu esnada voltaj üretebileceğini göstermiştir. Çatal vd., 2009 yılında yaptıkları çalışmada besiyerlerine disakkaritler eklendiğinde elektrik üretimindeki artışı benzer olarak göstermişlerdir.

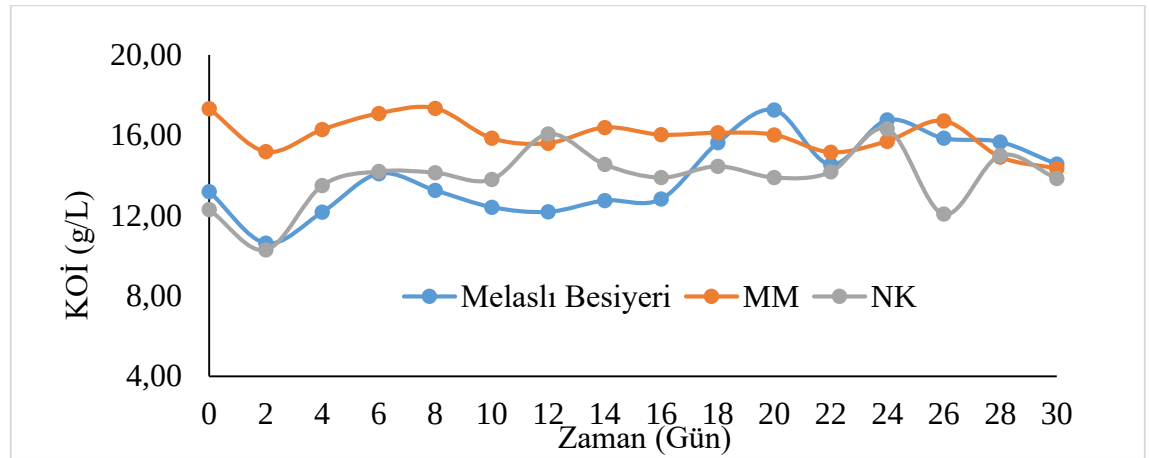
Yapılan literatür taramalarında pek çok araştırmacının farklı medyatör bileşikler üzerinde araştırmalar yaptıkları ve bu medyatör bileşiklerin elektrik üretimini arttırdığı görülmüştür (Ieropoulos vd., 2005; Lin vd., 2014; Park ve Zeikus, 2000, 2001; Taskan

vd., 2014). Önceki araştırmacılar, mikroorganizmalar tarafında üretilen metabolik indirgenme enerjisinin bazı elektron medyatörlerini kullanarak elektriğe dönüştürülebileceğini ve kimyasal medyatörlerin hücre duvarı ve anot elektrot arasında elektron transferini artırarak MYH'nin performansını arttırdığını belirlemişlerdir. Bu bileşikler arasında metilen mavisi, nötral kırmızı, meldoa mavisi gibi kimi boyalar, tionin, ferrisiyanit, antrokinon2,6-disülfat gibi bileşikler yer alabilmektedir (Gezginci vd., 2011). Park ve Zeikus 2000 ve 2001 yılında yaptıkları çalışmalarda mikrobiyal yakıt hücresinde elektron medyatörü olarak nötral kırmızı kullanımının elektrotlara elektron transferini 1000 kat artırılabilceğini göstermişlerdir. Nötral kırmızının $-325\text{mV } E_0$ değeri ile $11\text{ mV } E_0$ değerine sahip olan metilen mavisine göre daha negatif olması nedeni ile elektron transferini arttırdığı bilinmektedir (Park ve Zeikus, 2000, 2001).

Yapılan tez çalışmasında medyatör bileşiklerin MYH'de üretilen voltajın belirlenmesini arttırdığı ve bulguların literatür ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

5.2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı

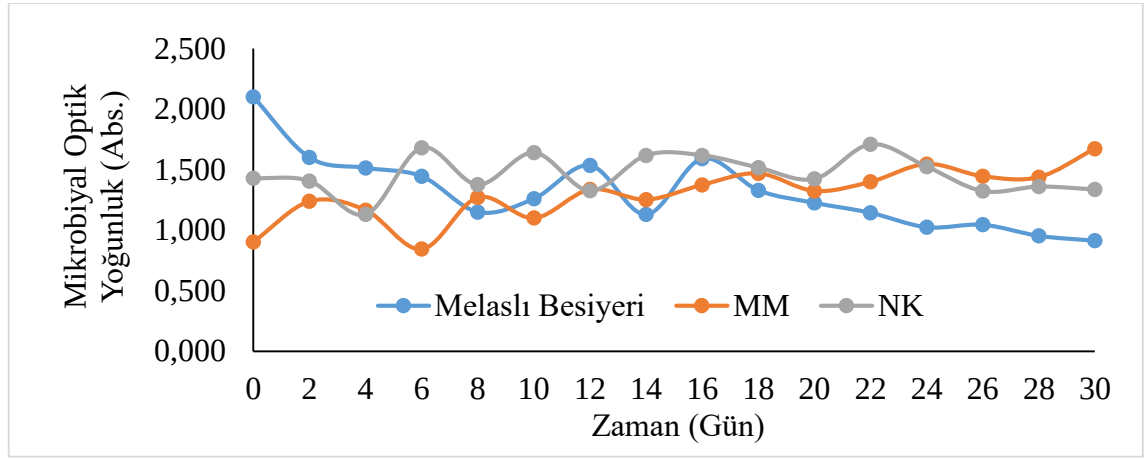
Mikrobiyal yakıt hücresi sisteminde anotta bulunan çözeltinin KOİ değeri elektrik üretimini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Kimyasal oksijen ihtiyacının artışı elektrik üretimini de arttırmaktadır. Elektrot yüzey alanındaki artış, sistemdeki son elektron alıcıları ve mikrobiyal komünitede yer alan mikroorganizmalar gibi pek çok faktör KOİ gideriminin değişmesine neden olmaktadır (Zhang vd., 2015).



Şekil 5.3. Medyatör bileşikler varlığında KOİ değerleri (İnkübasyon periyodu: 30 gün)

Gerçekleştirilen tez çalışmasında inkübasyon periyodu boyunca KOİ değerleri takip edilmiş (Şekil 5.3) ve MM bulunduğu ortamda KOİ değerlerinin kontrol ve NK bulunan ortamdan daha yüksek değerlerde seyrettiği ve melaslı besi ortamında inkübasyon süresince KOİ değerlerinin yükselme eğiliminde olduğu bulunmuştur. Tez çalışmasında KOİ değerinin yaklaşık olarak aynı seviyelerde kalması mikrobiyal komünitenin taze besiyeri ile eklenen substratı kullandığını ve tükettiğini göstermektedir. Tez çalışmasında tespit edilen KOİ değerleri melaslı ortamda tespit edilen KOİ değerleri ile uyum göstermektedir (Tondee vd., 2008).

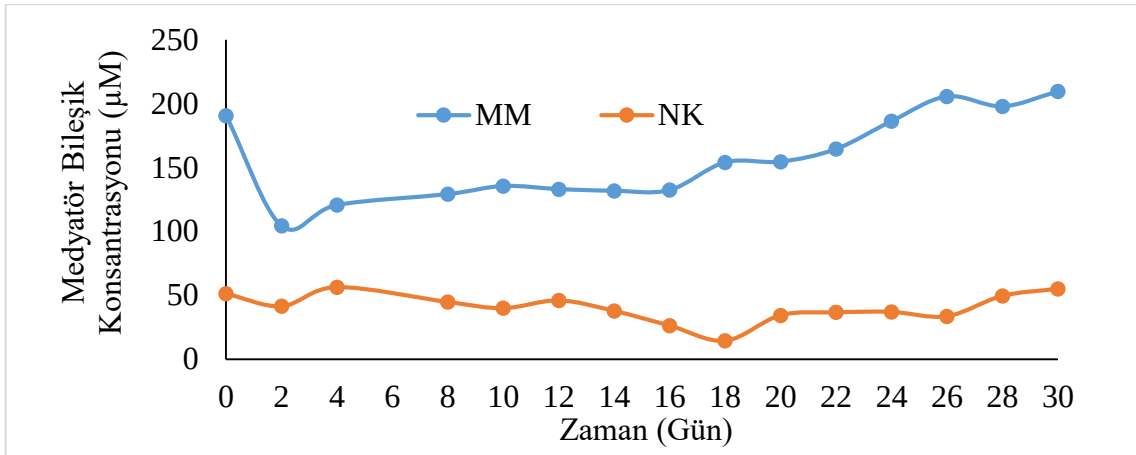
5.3 Mikrobiyal Komünite Optik Yoğunluk Değerleri



Şekil 5.4. Medyatör bileşikler varlığında mikrobiyal komünite optik yoğunluk değerleri (İnkübasyon periyodu: 30 gün)

Tez çalışmasında mikrobiyal komüniteye dair gelişme verileri elde edilmiştir (Şekil 5.4). Mikrobiyal optik yoğunluk spektrofotometrik olarak analiz edilmiş ve mikrobiyal yapının devamlılığı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Melaslı besi ortamında inkübasyon periyodu uzadıkça mikrobiyal optik yoğunluğun azaldığı ve bu durumun voltaj üretimini direkt olarak azalttığı tespit edilmiştir. Benzer olarak medyatör bileşiklerin bulunduğu ortamlarda tespit edilen voltaj değerlerinin mikrobiyal kültürün optik yoğunluğuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Deney süresinde takip edilen mikrobiyal komünitenin optik yoğunluğu ise benzer çalışmalardan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum melasın mikrobiyal gelişmeyi daha fazla desteklemesi olarak düşünülmektedir. Ancak solüsyona oksijen difüzyonu olması nedeniyle komünite içinde var olan aerobik bakterilerin substratı okside ettiği düşünülebilir (Çatal vd., 2009).

5.4 Medyatör Bileşik Konsantrasyonu

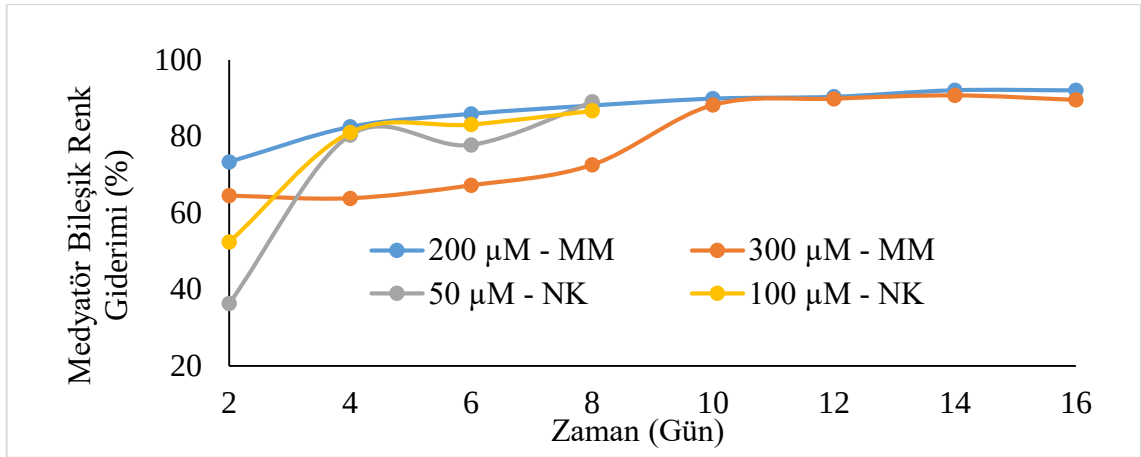


Şekil 5.5. MYH anot bölgesinde yer alan medyatör bileşik konsantrasyonu (İnkübasyon periyodu: 30 gün)

Yapılan tez çalışmasında medyatör bileşiklerin 30 günlük inkübasyon periyodu boyunca konsantrasyonu takip edilmiştir. Nötral kırmızının konsantrasyonunun yaklaşık aynı değerde kaldığı belirlenmiş ve bunun sonucunda mikrobiyal komunitenin besiyeri eklemesi sırasında eklenen NK'yı dekolore ettiği düşünülmüştür. Bunun yanında MM konsantrasyonunun inkübasyon periyodunun sonlarına doğru arttığı belirlenmiştir.

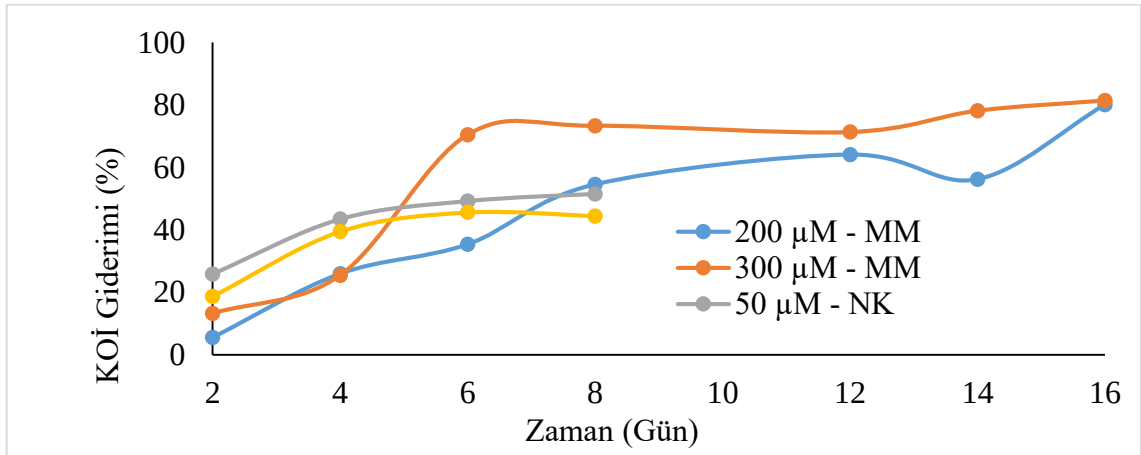
5.5 Medyatör Bileşik Renk ve KOİ Giderimi

Atık sularda bulunan kirleticiler arasında yer alan, organik madde içeriği, renk pigmenti oranı yüksek olan melas ciddi sorunlara neden olmaktadır. Yüksek KOİ ve BOİ değerleri ve kolayca parçalanamayan pigment maddeleri nedeniyle melasın giderimi zor olmaktadır (Satyawali ve Balakrishnan, 2008; Tondee vd., 2008). Mikrobiyal yakıt hücrelerinde kullanılan medyatör bileşikler genellikle bakteriyel gelişim için toksik özellikler göstermektedir (Min vd., 2005). Tez çalışmasında mikrobiyal komunitenin MM ve NK için renk giderimi yaptığı kanısına varıldıktan sonra medyatör bileşikler için inkübasyon periyodu boyunca medyatör bileşiklerin çözelti içindeki konsantrasyonunun değişmesine dayanarak medyatör bileşiklerin renk giderim çalışmaları da yapılmıştır.



Şekil 5.6. Mikrobiyal komüniteye ait medyatör bileşik renk giderim değerleri (İnkübasyon periyodu NK için 8 gün, MM için 16 gün)

Tez çalışmasında yapılan renk giderim deneylerinde (Şekil 5.6) NK için 8 günlük inkübasyon periyodunda, MM için ise 16 günlük inkübasyon periyodunda renk gideriminin gerçekleştiği bulunmuş ve giderim oranları farklı konsantrasyonlarda da yaklaşık %80 olarak hesaplanmıştır. İnkübasyon periyodunun uzaması giderim oranını değiştirmede için 30 günlük inkübasyona gereksinim duyulmamıştır. Yapılan çalışmada melası nedeniyle oluşan KOİ giderimi literatür çalışmaları ile uyum göstermektedir (Satyawali ve Balakrishnan, 2008; Tondée vd., 2008).



Şekil 5.7. Mikrobiyal komüniteye ait KOİ giderim değerleri (İnkübasyon periyodu NK için 8 gün, MM için 16 gün)

Tez çalışmasında renk giderim deneyleri sırasında ayrıca KOİ takibi de yapılmıştır ve KOİ giderim yüzdesi hesaplanmıştır (Şekil 5.7). Kimyasal oksijen ihtiyacı besi ortamında bulunan melastan kaynaklanmaktadır ve inkübasyon periyodu uzadıkça KOİ gideriminin

arttığı tespit edilmiştir. İnkübasyon periyodunun 8. gününde yaklaşık %40, 16. gününde ise yaklaşık %80 KOİ giderimi hesaplanmıştır. Bu sonuç ise MYH'de gösterilen KOİ giderimi ile benzerdir (Çatal vd., 2009).

Gerçekleştirilen tez çalışmasından elde edilen tüm bu veriler ışığında Akkaya Baraj gölünün dip sedimentinde yer alan mikrobiyal komünitenin şeker fabrikası atığı olan melaslı besi ortamında elektrik üretiminde kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Ancak tez çalışmasında en büyük eksiklik olan güç hesaplarının tamamlanması ve iki bölmeli pil hücresi ile tek bölmeli pil hücrelerinin kıyaslanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Tez çalışmasında ayrıca mikrobiyal komünitenin melas ve renk gideriminde etkin olduğu ve bu amaçla atık su arıtımında kullanılabilirliği de tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

Akdur, R., Avrupa Birliği ve Türkiye'de Çevre Koruma Politikaları: Türkiye'nin Avrupa Birliđine Uyumunu, *Ankara Üniversitesi*, Ankara, s. 15-19, 2005.

Akyürek, E., Atıksu arıtım tesislerinin model öngörmeli kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 9-11, 2009.

Allen, R. M. and Bennetto, H. P., "Microbial fuel-cells", *Applied Biochemistry and Biotechnology* 39(1), 27-40, 1993.

Anonim, http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU__2015.pdf, 15 Haziran 2017.

Apergis, N. and Payne, J. E., "Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: Evidence from a panel error correction model", *Energy Economics* 34(3), 733-738, 2012.

Aydın, N., Katı atık yönetiminde optimal planlama için bulanık doğrusal programlama yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 5-7, 2007.

Baran, D., Ashraf, R. S., Hanifi, D. A., Abdelsamie, M., Gasparini, N., Röhr, J. A., Holliday, S., Wadsworth, A., Lockett, S. and Neophytou, M., "Reducing the efficiency-stability-cost gap of organic photovoltaics with highly efficient and stable small molecule acceptor ternary solar cells", *Nature materials* 16(3), 363-369, 2017.

Behera, M., Jana, P. S., More, T. T. and Ghangrekar, M. M., "Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH", *Bioelectrochemistry* 79(2), 228-233, 2010.

Bellotti, D., Rivarolo, M., Magistri, L. and Massardo, A. F., "Thermo-economic comparison of hydrogen and hydro-methane produced from hydroelectric energy for land transportation", *International Journal of Hydrogen Energy* 40(6), 2433-2444, 2015.

Bennetto, H. P., "Electricity generation by microorganisms", *Biotechnology Education* 1(4), 163-168, 1990.

Catal, T., Li, K., Bermek, H. and Liu, H., "Electricity production from twelve monosaccharides using microbial fuel cells", *Journal of Power Sources* 175(1), 196-200, 2008.

Cheng, S., Liu, H. and Logan, B. E., "Increased power generation in a continuous flow MFC with advective flow through the porous anode and reduced electrode spacing", *Environmental Science & Technology* 40(7), 2426-2432, 2006.

Cipriani, G., Di Dio, V., Genduso, F., La Cascia, D., Liga, R., Miceli, R. and Galluzzo, G. R., "Perspective on hydrogen energy carrier and its automotive applications", *International Journal of Hydrogen Energy* 39(16), 8482-8494, 2014.

Çatal, T., Bermek, H., Li, K. ve Liu, H., "Mikrobiyal yakıt hücrelerinde disakkaritlerden elektrik üretimi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 7(1), 123-131, 2009.

Demir, E. ve Yalçın, H., "Türkiye’de Çevre Eğitimi", *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 7(2), 7-18, 2014.

Demir, Ö. ve Gümüş, E., "Mikrobiyal Yakıt Hücreleri ile Çamur Arıtımı ve Elektrik Üretimi", *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 1(2), 81-89, 2016.

Deval, A. and Dikshit, A. K., "Construction, working and standardization of microbial fuel cell", *APCBEE Procedia* 5, 59-63, 2013.

Dönmez, G., "Bioaccumulation of the reactive textile dyes by *Candida tropicalis* growing in molasses medium", *Enzyme and Microbial Technology* 30(3), 363-366, 2002.

Du, Z., Li, H. and Gu, T., "A state of the art review on microbial fuel cells: a promising technology for wastewater treatment and bioenergy", *Biotechnology Advances* 25(5), 464-482, 2007.

Ellabban, O., Abu-Rub, H. and Blaabjerg, F., "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, 748-764, 2014.

Frijns, J., Hofman, J. and Nederlof, M., "The potential of (waste) water as energy carrier", *Energy Conversion and Management* 65, 357-363, 2013.

Gandhar, A., Jindal, A., Srivastava, V. and Agarwal, U., "Renewable energy sources based power converter with voltage and load angle control", *Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity* 96-100, 2016.

Gezginci, M., Uysal, Y., Kılıç, A. ve Çınar, Ö., "Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Ekstraselüler Elektron Transferleri", *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi* 4(2), 81-85, 2011.

Haddadi, S., Nabi-Bidhendi, G. R. and Mehrdadi, N., "Evaluation of inoculation method and limiting conditions on bacterial activity in microbial electrochemical cells", *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2(1), 612-618, 2014.

Ieropoulos, I. A., Greenman, J., Melhuish, C. and Hart, J., "Comparative study of three types of microbial fuel cell", *Enzyme and microbial technology* 37(2), 238-245, 2005.

Karasu, A., Çevresel Atıklar, Nedenleri, Çevresel Atıkların Geri Dönüştürülmesi ve Yenilenebilir Enerji Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, *Bilecik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Bilecik, s. 9-12, 2013.

Karellas, S. and Tzouganatos, N., "Comparison of the performance of compressed-air and hydrogen energy storage systems: Karpathos island case study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, 865-882, 2014.

Keskin, M. H., Stratejik açıdan Avrupa Birliği enerji politikası ve uluslararası güvenlik sistemine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, s. 2-4, 2006.

Khare, V., Nema, S. and Baredar, P., "Solar–wind hybrid renewable energy system: A review", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 58, 23-33, 2016.

Kilochytska, T., Zinkevich, L., Shybetskyi, I. and Krone, J., "Post-Accident Waste Management in Ukraine: Challenges and Steps Needed to Resolve the Accident Waste Problem", **Post-Accident Waste Management in Ukraine** 2016.

Koltukçu, H., Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından SWOT Analizi, Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, Kütahya, s. 15-16, 2010.

Kumar, A., Kumar, N., Baredar, P. and Shukla, A., "A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 45, 530-539, 2015.

Laslett, D., Carter, C., Creagh, C. and Jennings, P., "A large-scale renewable electricity supply system by 2030: Solar, wind, energy efficiency, storage and inertia for the South West Interconnected System (SWIS) in Western Australia", **Renewable Energy**, 2017.

Lauri, P., Havlík, P., Kindermann, G., Forsell, N., Böttcher, H. and Obersteiner, M., "Woody biomass energy potential in 2050", **Energy Policy** 66, 19-31, 2014.

Lin, C.-W., Wu, C.-H., Chiu, Y.-H. and Tsai, S.-L., "Effects of different mediators on electricity generation and microbial structure of a toluene powered microbial fuel cell", **Fuel** 125, 30-35, 2014.

Liu, H., Ramnarayanan, R. and Logan, B. E., "Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell", **Environmental Science & Technology** 28, 2281-2285, 2004.

Logan, B. E., Microbial fuel cells, **John Wiley & Sons**, Hoboken, New Jersey, USA, 2007.

Logan, B. E., Microbial Fuel Cells, **John Wiley & Sons**, Canada, 2008.

López, I., Andreu, J., Ceballos, S., de Alegría, I. M. and Kortabarria, I., "Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 27, 413-434, 2013.

Lund, J. W. and Boyd, T. L., "Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review", **Geothermics** 60, 66-93, 2016.

Lüy, E., Varınca, K. B. ve Kemirtlek, A., "Katı atık geri kazanım çalışmaları: İstanbul örneği", **AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu**, İstanbul, s. 2-3, 28-31 Mayıs, 2007.

Madani, K., Guégan, M. and Uvo, C. B., "Climate change impacts on high-elevation hydroelectricity in California", **Journal of Hydrology** 510, 153-163, 2014.

Madigan, M. T., Martinko, J. M. and Parker, J., Brock biology of microorganisms, **Prentice Hall Upper Saddle River**, New Jersey, USA, 1997.

Mansoorian, H. J., Mahvi, A. H., Jafari, A. J., Amin, M. M., Rajabizadeh, A. and Khanjani, N., "Bioelectricity generation using two chamber microbial fuel cell treating wastewater from food processing", **Enzyme and Microbial Technology** 52(6), 352-357, 2013.

Mathiesen, B. V., Lund, H., Connolly, D., Wenzel, H., Østergaard, P. A., Möller, B., Nielsen, S., Ridjan, I., Karnøe, P. and Sperling, K., "Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions", **Applied Energy** 145, 139-154, 2015.

Melikoglu, M., "Pumped hydroelectric energy storage: Analysing global development and assessing potential applications in Turkey based on Vision 2023 hydroelectricity wind and solar energy targets", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 72, 146-153, 2017.

Milliken, C. E. and May, H. D., "Sustained generation of electricity by the spore-forming, Gram-positive, *Desulfitobacterium hafniense* strain DCB2", ***Applied Microbiology and Biotechnology*** 73(5), 1180-1189, 2007.

Min, B., Cheng, S. and Logan, B. E., "Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells", ***Water Research*** 39(9), 1675-1686, 2005.

Mohan, S. V., Saravanan, R., Raghavulu, S. V., Mohanakrishna, G. and Sarma, P. N., "Bioelectricity production from wastewater treatment in dual chambered microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched mixed microflora: effect of catholyte", ***Bioresource Technology*** 99(3), 596-603, 2008.

Nielsen, L. H., Sparre Andersen, M., Balling, N., Boldreel, L. O., Fuchs, S., Leth Hjuler, M., Kristensen, L., Mathiesen, A., Olivarius, M. and Weibel, R., "The geothermal energy potential in Denmark-updating the database and new structural and thermal models", ***EGU General Assembly Conference Abstracts*** 19, 7296, 2017.

Nizami, A. S., Shahzad, K., Rehan, M., Ouda, O. K. M., Khan, M. Z., Ismail, I. M. I., Almeelbi, T., Basahi, J. M. and Demirbas, A., "Developing waste biorefinery in Makkah: a way forward to convert urban waste into renewable energy", ***Applied Energy*** 186(2), 189-196, 2017.

Park, D. H., Laivenieks, M., Guettler, M. V., Jain, M. K. and Zeikus, J. G., "Microbial utilization of electrically reduced neutral red as the sole electron donor for growth and metabolite production", ***Applied and Environmental Microbiology*** 65(7), 2912-2917, 1999.

Park, D. H. and Zeikus, J. G., "Electricity generation in microbial fuel cells using neutral red as an electronophore", ***Applied and Environmental Microbiology*** 66(4), 1292-1297, 2000.

Park, D. H. and Zeikus, J. G., "Improved fuel cell and electrode designs for producing electricity from microbial degradation", ***Biotechnology and Bioengineering*** 81(3), 348-355, 2001.

Perez-Collazo, C., Greaves, D. and Iglesias, G., "A review of combined wave and offshore wind energy", ***Renewable and Sustainable Energy Reviews*** 42, 141-153, 2015.

Potter, M. C., "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, 1911.

Rabaey, K., Boon, N., Siciliano, S. D., Verhaege, M. and Verstraete, W., "Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer", ***Applied and Environmental Microbiology*** 70(9), 5373-5382, 2004.

Rabaey, K., Clauwaert, P., Aelterman, P. and Verstraete, W., "Tubular microbial fuel cells for efficient electricity generation", ***Environmental Science & Technology*** 39(20), 8077-8082, 2005.

Rahimnejad, M., Najafpour, G. D., Ghoreyshi, A. A., Shakeri, M. and Zare, H., "Methylene blue as electron promoters in microbial fuel cell", ***International Journal of Hydrogen Energy*** 36(20), 13335-13341, 2011.

Ringeisen, B. R., Henderson, E., Wu, P. K., Pietron, J., Ray, R., Little, B., Biffinger, J. C. and Jones-Meehan, J. M., "High power density from a miniature microbial fuel cell using *Shewanella oneidensis* DSP10", ***Environmental Science & Technology*** 40(8), 2629-2634, 2006.

Rodrigo, M. A., Canizares, P., Lobato, J., Paz, R., Sáez, C. and Linares, J. J., "Production of electricity from the treatment of urban waste water using a microbial fuel cell", ***Journal of Power Sources*** 169(1), 198-204, 2007.

Sahay, A., Sethi, V. K., Tiwari, A. C. and Pandey, M., "A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS)", ***Renewable and Sustainable Energy Reviews*** 42, 306-312, 2015.

Satyawali, Y. and Balakrishnan, M., "Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: a review", ***Journal of Environmental Management*** 86(3), 481-497, 2008.

Stigka, E. K., Paravantis, J. A. and Mihalakakou, G. K., "Social acceptance of renewable energy sources: A review of contingent valuation applications", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 32, 100-106, 2014.

Subbarao, S. and Dhananjaya, K. N., "Role of Renewable Energy and Sustainable Technologies in Building an Eco-friendly and Sustainable Anti-poaching Unit in a Forest", **DHARANA-Bhavan's International Journal of Business** 9(1), 51-55, 2017.

Taskan, E., Özkaya, B. and Hasar, H., "Effect of different mediator concentrations on power generation in MFC using Ti-TiO₂ electrode", **International Journal of Energy Science** 4(1), 9-11, 2014.

Taşkan, E., "Sediment Tipi Mikrobiyal Yakıt Hücresi Kullanılarak Arıtma Çamurlarından Elektrik Üretimi", **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi** 28(1), 15-21, 2016.

TEİAŞ, 20 Ekim 2017.

Tondee, T., Sirianuntapiboon, S. and Ohmomo, S., "Decolorization of molasses wastewater by yeast strain, *Issatchenkia orientalis* No. SF9-246", **Bioresource Technology** 99(13), 5511-5519, 2008.

Umar, M. S., Jennings, P. and Urmee, T., "Strengthening the palm oil biomass Renewable Energy industry in Malaysia", **Renewable Energy** 60, 107-115, 2013.

Üçgül, İ. ve Çakır, Ç., "Elektrokimyasal teknik tekstil membranının incelenmesi", **Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergi** 1(3), 1-10, 2012.

Ünal, E., Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji Piyasaları, **Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu**, Ankara, 2006.

Weitemeyer, S., Kleinhans, D., Vogt, T. and Agert, C., "Integration of Renewable Energy Sources in future power systems: The role of storage", **Renewable Energy** 75, 14-20, 2015.

Young, R. W., "The renewal of photoreceptor cell outer segments", *The Journal of Cell Biology* 33(1), 61-72, 1967.

Zhang, X., He, W., Ren, L., Stager, J., Evans, P. J. and Logan, B. E., "COD removal characteristics in air-cathode microbial fuel cells", *Bioresource Technology* 176, 23-31, 2015.

Zhang, Y., Min, B., Huang, L. and Angelidaki, I., "Electricity generation and microbial community response to substrate changes in microbial fuel cell", *Bioresource Technology* 102(2), 1166-1173, 2011.



ÖZ GEÇMİŞ

Merve ÖZTÜRK 19.02.1991 tarihinde Adana ilinin Seyhan ilçesinde doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Adana’da tamamladı. 2010 yılında Niğde Üniversitesi (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi) Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji bölümünde lisans eğitime başladı. Lisans eğitimini 2014’de tamamladı. Aynı yıl Niğde Üniversitesi (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi) Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji anabilim dalında yüksek lisans eğitime başladı.



TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından, 1 (bir) adet uluslararası makale makale ile 2 (iki) adet uluslararası bildiri üretilmiştir. Bu üretilen çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Öztürk, M. and Artan Onat, T., “The Usage of Molasses and Mediators in Microbial Fuel Cells”, *Journal of Turkish Chemical Society, Section B:Chemical Engineering* 5(special issue 1), 77–84, 2017.

Öztürk, M. and Artan Onat, T., “The Usage of Molasses and Mediators in Microbial Fuel Cells”, *3rd International Porous Powder Materials*, Kuşadası, Aydın, 12-15 Eylül 2017.

Artan Onat, T., Özdöver, Ö. and Öztürk, M., “The Electrochemical Activity of Bacterial Isolates from Dam Akkaya”, *Irenec*, Maltepe, İstanbul, 28-30 Mayıs 2015.

