

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**ELEKTROT MALZEMESİ OLARAK BALIK PULUNDAN  
KARBON SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

**Cansu BODUR**

Danışman  
**Doç. Dr. Berker FIÇICILAR**

SAMSUN  
2022

## TEZ KABUL VE ONAYI

**Cansu BODUR** tarafından, **Doç. Dr. Berker FİÇİCİLER** danışmanlığında hazırlanan “**ELEKTROT MALZEMESİ OLARAK BALIK PULUNDAN KARBON SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 23.08.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	<b>Unvanı Adı Soyadı</b>		
	<b>Üniversitesi</b>		
	<b>Ana Bilim/Ana Sanat Dalı</b>	<b>İmza</b>	<b>Sonuç</b>
<b>Başkan</b>	Prof. Dr. XXXX XXXX		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	..... Ana Bilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret
<b>Üye</b>	Dr. Öğr. Üyesi XXXX XXXX		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	..... Ana Bilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret
<b>Üye</b>	Doç. Dr. Berker Fıçıcılar		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi		Kabul
	Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet  (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza  
22/06/2022  
Cansu BODUR

## TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

**Tez Başlığı:** HİDROJEN/BROM REDOKS AKIŞ PİLİ KATOT ELEKTRODU İÇİN BALIK PULLARINDAN KARBON SENTEZİ VE KARAKTERİZASYON

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 22/06/2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %8

Tek kaynak oranı : %1 çıkmıştır.

İmza  
22/06/ 2022  
Doç. Dr. Berker FİÇİCİLAR

## ÖZET

### ELEKTROT MALZEMESİ OLARAK BALIK PULUNDAN KARBON SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU

Cansu BODUR  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Yüksek Lisans, Haziran/2022  
Danışman: Doç. Dr. Berker FIÇICILAR

Enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıt kaynaklarından karşılanmaktadır. Fosil yakıt kaynaklı enerjinin artan nüfus ile giderek tükenmesi ve çevre kirliliğine sebep olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gelişmekte olan toplumlar için önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle enerjisi toplam enerji üretimi için büyük bir yere sahiptir. Enerjinin depolanması ve depolanan enerjinin kullanılması için atık biyokütleden karbon sentezi enerji verimliliği açısından önem teşkil etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında sazan balığı pulu biyokütlesinden sentezlenen karbon enerji depolama performansı için  $H_2/Br_2$  redoks akış pili katot elektrotu için sentezlenmiştir. Biyokütleden elde edilen gözenekli karbonun düşük maliyetli, bol ve sürdürülebilir olması önem taşımaktadır.  $H_2/Br_2$  akış hücresi, diğer akış pillerine göre daha hızlı katot kinetiğinin yanı sıra daha yüksek dayanıklılık ve performansa sahiptir. Sazan balığı pulundan sentezlenen biyokütle türevi karbon hidrotermal, liyofilizasyon, karbonizasyon işlemleri sırasıyla uygulanmaktadır.  $H_2/Br_2$  redoks akış pili için yüksek elektrokatalitik aktiviteye sahip bir katalizör başarıyla sentezlendi. KOH, oksijen ve azot grupları dahil edilerek nano boyutlu, geniş yüzey alanı ve yüksek gözenekli katalizör elde etmek için aktivatör olarak kullanıldı. Sentezlenen BPK yüksek enerji depolama verimliliği göstermektedir. Bu çalışma biyokütleden elde edilen elektrokatalizörün  $H_2/Br_2$  redoks akış pilinin kapsamlı enerji depolama performansını geliştirmek için önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Karbonizasyon sonrası sentezlenen BPK da oksijen içeren gruplar ve mikro gözenekler görülmüştür. Sentezlenen karbonun Çevrimsel Voltametri, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM-EDS), X-Işını Kırınımı (XRD), Termogravimetrik analiz (TGA), X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS),  $N_2$ -Adsorpsiyonu (BET) gibi karakterizasyonları gerçekleştirildi.

**Anahtar Sözcükler:** karbon sentezi ve karakterizasyonu,  $H_2/Br_2$  akış pilleri, biyokütle.

## ABSTRACT

### CARBON SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION FROM FISH SCALE AS ELECTRODE MATERIAL

Cansu BODUR

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Chemical Engineering

Master, June/2022

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Berker FIÇICILAR

Most of the energy comes from fossil fuel sources. The need for renewable energy sources increases due to the increasing depletion of fossil fuel-based energy with the increasing population and causing environmental pollution. The use of clean and renewable energy sources is important for developing societies. Biomass energy, one of the renewable energy sources, has a great place in total energy production. Carbon synthesis from waste biomass is important in terms of energy efficiency in order to store energy and use the stored energy. In this thesis, carbon synthesized from carp scale biomass was synthesized for the H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> redox flow cell cathode electrode for energy storage performance. It is important that the porous carbon obtained from biomass is low cost, abundant and sustainable. The H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> flow cell has higher endurance and performance as well as faster cathode kinetics than other flow batteries. The biomass derivative carbon hydrothermal, lyophilization and carbonization processes, which are synthesized from carp flakes, are applied respectively. A catalyst with high electrocatalytic activity was successfully synthesized for the H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> redox flow cell. KOH was used as activator to obtain nano-sized, large surface area and highly porous catalyst by incorporating oxygen and nitrogen groups. The synthesized BPK shows high energy storage efficiency. This study reveals that the biomass-derived electrocatalyst is important to improve the comprehensive energy storage performance of the H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> redox flow cell. Oxygen-containing groups and micropores were observed in BPK synthesized after carbonization. Characterizations of the synthesized carbon such as Cyclic Voltammetry, Scanning Electron Microscopy (SEM-EDS), X-Ray Diffraction (XRD), Thermogravimetric analysis (TGA), X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), N<sub>2</sub>-Adsorption (BET) were performed.

**Keywords:** carbon synthesis, H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> flow batteries, biomass.

## ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında öncelikli olarak hatalarımı düzelten, her aşamasında desteğini esirgemeyen ve gerekli olan tüm yönlendirmeleri yapan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Berker Fıçıcılar'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca aldığım her kararda her zaman yanımda olan, bana her konuda destek olan, beni her daim destekleyen babam Murat Bodur'a, annem Süleyha Bodur'a ve kardeşim Metehan Bodur'a teşekkür ederim.

Tez yazma sürecinde beni destekleyerek motivasyonumu hep üst seviyede tutan Ayşe Hekimoğlu'na teşekkür ederim

Ayrıca, manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli dostlarıma ve EDSAG (Enerji Dönüşüm Sistemleri Araştırma Grubu) Esra Varol ve Burcu Kırtoklu çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Laboratuvardaki deneylerimde destek sağlayan en doğru sonuçlar için yardımlarını esirgemeyerek çalışmanın tamamlanmasına destek veren değerli hocam Arş. Gör. Gülce Çakman'a teşekkürlerimi sunarım.

Cansu BODUR

# İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI .....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI .....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
TABLolar DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL BİLGİLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. Yenilenebilir Enerji.....	3
2.1.1. Biyokütle Enerjisi.....	4
2.1.2. Güneş Enerjisi .....	5
2.1.3. Hidroelektrik Enerji.....	6
2.2. Karbon Türleri .....	7
2.3. Redoks Akış Pilleri .....	8
2.4. Hidrojen-Brom Akış Pili.....	9
<b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>11</b>
3.1. Deneysel Yöntem.....	11
3.1.1. Balık Pulu Temini .....	13
3.1.2. Hidrotermal .....	14
3.1.3. Liyofilizasyon.....	17
3.1.4. Karbonizasyon.....	18
3.2. Karakterizasyon .....	20
3.2.1. Termo gravimetrik Analiz Yöntemi (TGA) .....	20
3.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) .....	21
3.2.3. Azot Adsorpsiyonu (BET).....	21
3.2.4. X- Işını Floresans Spektrometresi (XRF).....	21
3.2.5. X- Işını Kırınım Yöntemi (XRD).....	21
3.2.6. X- Işını Fotoelektron Spektrometresi (XPS).....	21
3.2.7. Çevrimsel Voltametri Analizi (CV) .....	22
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>23</b>
4.1. Karakterizasyon Sonuçları .....	23
4.1.1. Termo Gravimetrik Analiz Yöntemi (TGA) .....	23
4.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri.....	25
4.1.3. X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) .....	41
4.1.4. X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD).....	43
4.1.5. X-Işını Fotoelektron Spektrometresi (XPS) .....	44
4.1.6. Azot Adsorpsiyonu (BET).....	46
4.1.7. Çevrimsel Voltametri (CV) Analiz Sonuçları .....	47
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>50</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>52</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ .....</b>	<b>56</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

BET	: Brunauer, Emmett, Teller
BPK	: Balık Pulu Katalizör
CV	: Çevrimsel Voltametri
EES	: Elektriksel Enerji Depolama Sistemleri
FB	: Akışkan Bataryalar
GDL	: Gaz Difüzyon Katmanı
MEA	: Membran Elektrot Üçlüsü
RFB	: Redoks Akış Pili
RES	: Rüzgâr Enerjisi Santrali
SEM-EDS	: Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılım Spektrometresi
TGA	: Termo gravimetrik Analiz
XRD	: X- Işını Kırınım Difraktometresi
XRF	: X- Işını Floresans Spektrometresi
XPS	: X- Işını Fotoelektron Spektrometresi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç et al., n.d.-b). ....	3
Şekil 2.2. Redoks akış pil yapısının şematik gösterimi (Li et al., 2011b).....	8
Şekil 2.3. Hidrojen/brom akış pilinin görünümü (Cho et al., 2012) .....	9
Şekil 3.1. Balık pullarından elde edilen gözenekli karbon malzemenin şematik gösterimi.....	11
Şekil 3.2. Hammadde a) Sazan balığı b) Sazan balığı pulu .....	14
Şekil 3.3. Kurutulmuş balık pulu .....	14
Şekil 3.4. Vakumlu filtrasyon yöntemi .....	15
Şekil 3.5. Harcanan Su Miktarı .....	15
Şekil 3.6. a) Paslanmaz çelik otoklav ve teflon kap b) Etüv .....	16
Şekil 3.7. Süzme Yöntemi.....	16
Şekil 3.8. Vakumlu Liyofilizasyon .....	17
Şekil 3.9. Liyofilizasyon sonrası balık pullarının görüntüsü .....	17
Şekil 3.10. Kuvartz tüplü seramik fırın sistemi.....	18
Şekil 3.11. HCl Çözeltisi Asidik İşlem .....	18
Şekil 3.12. Santrifüj yöntemi .....	19
Şekil 3.13. a) Sentezlenen karbon b) BPK.....	19
Şekil 3.14. Saf sazan pulundan elde edilen karbon numuneleri.....	20
Şekil 3.15. Üç elektrotlu elektrokimyasal hücre .....	22
Şekil 4.1. Saf sazan balığı pulu TGA eğrisi .....	23
Şekil 4.2. 800°C BPK TGA eğrisi.....	24
Şekil 4.3. 1000°C BPK TGA eğrisi.....	25
Şekil 4.4. 750°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütme SEM görüntüleri .....	25
Şekil 4.5. 750°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütme SEM görüntüleri .....	26
Şekil 4.6. 750°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait a) Elektron görüntüsü b) EDS haritası .....	26
Şekil 4.7. 750°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl elementlerinin EDS görüntüleri .....	27
Şekil 4.8. 750 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	27
Şekil 4.9. 750 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	28
Şekil 4.10. 800°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütme SEM görüntüleri .....	29

Şekil 4.11. 800°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelede SEM görüntüleri .....	29
Şekil 4.12. 800°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait a) Elektron görüntüsü b) EDS katmanı .....	30
Şekil 4.13.800°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl elementlerinin EDS görüntüleri .....	30
Şekil 4.14. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası .....	31
Şekil 4.15. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası .....	31
Şekil 4.16. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası .....	32
Şekil 4.17. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	32
Şekil 4.18. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	33
Şekil 4.19. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelede SEM görüntüleri .....	34
Şekil 4.20. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelede SEM görüntüleri .....	34
Şekil 4.21. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait a) Elektron görüntüsü b) EDS katmanı .....	35
Şekil 4.22. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl elementlerinin EDS görüntüleri .....	35
Şekil 4.23.850°C’de sentezlenen BPK katalizörünün F, K, Ca elementlerinin EDS görüntüleri .....	35
Şekil 4.24. 850 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	36
Şekil 4.25.1000°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelede SEM görüntüleri .....	36
Şekil 4.26.1000°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelede SEM görüntüleri .....	37
Şekil 4.27. 1000°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait a) Elektron görüntüsü b) EDS katmanı .....	37
Şekil 4.28. 1000°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl, K, F, Ca elementlerinin EDS görüntüleri .....	38
Şekil 4.29. 1000 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	39
Şekil 4.30. 1000 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	39
Şekil 4.31. 1000 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	40
Şekil 4.32. 1000 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası. ....	41
Şekil 4.33. Saf sazan balığı pulu XRF analiz sonuçları .....	43
Şekil 4.34. Sentezlenen katalizörün 1000°C’deki XRD deseni .....	44
Şekil 4.35. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörünün XPS analizi .....	45
Şekil 4.36. 1000°C’de sentezlenen BPK katalizörünün XPS analizi .....	46

Şekil 4.41. BPK'nin farklı tarama hızlarındaki çevrimsel voltajları.....	47
Şekil 4.42. BPK'nin tekrarlanan çevrimsel voltajları (50 mV/s).....	48
Şekil 4.43. BPK'nin tekrarlanan çevrimsel voltajları (100 mV/s).....	48
Şekil 4.44. BPK'nin tekrarlanan çevrimsel voltajları (250 mV/s).....	49
Şekil 4.45. BPK'nin tekrarlanan çevrimsel voltajları (500 mV/s).....	49

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 3 1.Kullanılan Kimyasallar .....	11
Tablo 3 2.Kullanılan Cihazlar .....	12
Tablo 4 1.750 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	28
Tablo 4 2. 750 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	28
Tablo 4 3. 800 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	31
Tablo 4 4.800 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	32
Tablo 4 5.800 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	33
Tablo 4 6. 800 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	33
Tablo 4 7.850 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	36
Tablo 4 8.1000 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	40
Tablo 4 9.1000 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	40
Tablo 4 10. 1000 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları.....	41
Tablo 4 11.Saf sazan balığı pulu XRF elementel analiz sonuçları .....	42
Tablo 4 12.Saf sazan balığı pulu XRF elementel analiz sonuçları .....	42
Tablo 4 13. N1s, C1s ve O1s XPS verileri.....	45
Tablo 4 14. BET analizi sonuçları.....	47

# 1. GİRİŞ

Enerji, devletlerin politikalarının üstüne kurulduğu, bir bölgenin ekonomisi, kalkınması için önemlidir (Rühl, 2008). Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin, elektrik ihtiyacı da günden güne artmaktadır. Dünya ekonomisinin hızla gelişmesi, sürekli artan nüfus ve aşırı fosil yakıt tüketimi ile geleceğin enerji üretimi, depolanması ve kullanımı için yenilenebilir enerji teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizi dışa bağımlı hale getiren yakıtların kullanımının azaltılmasına yardımcı olacak enerji verimliliği için yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması konusu önem kazanmıştır. 2020-2021 yılına kadar, yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısı %15 olacaktır (Suganthi & Williams, 2000).

Yenilenebilir enerji kaynakları, dünya çapındaki enerji krizini ve çevre kirliliği ile ilgili sorunları çözmek için büyük bir potansiyele sahiptir (Ellabban et al., 2014). Yenilenebilir enerji kaynakları; jeotermal, rüzgâr, güneş, hidrolik enerji ve biyokütle enerjisidir. Ekonomik, çevresel, doğal ve sosyal özellikleri nedeniyle son yıllarda birçok gelişmiş ülkede, enerji ve kimyasal hammadde kaynağı olarak biyokütle enerjisinin kullanılmasına ve biyokütle kaynağı yetiştirilmesine büyük önem verilmektedir (Koç et al., n.d.).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle enerjisi Türkiye'nin enerji talebini sağlayabileceğini öne sürmüşlerdir. Türkiye'de fazla miktarda biyokütle bulunmaktadır. Doğal enerji kaynaklarından biyokütle enerjisi verimli bir şekilde kullanılırsa dışa olan enerji bağımlılığı azalacaktır. (Gokcol et al., 2009). Biyokütle malzemeleri yenilenebilir, yüksek aktiviteli ve düşük maliyetlidir (Zhu & Xu, 2020). Güneş, rüzgâr, jeotermal, gelgit ve biyokütle enerjisi gibi sürdürülebilir enerji kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmak için güneş pilleri, sıkıştırılmış hidrojen, yakıt hücreleri, süper kapasitörler ve piller gibi bir dizi enerji dönüştürme ve depolama teknolojisi geliştirilmiştir (Tarascon, 2010).

Enerji verimliliği için enerjinin depolanması ve depolanan enerjinin kullanılması önemlidir. Elektriksel enerji kimyasal enerji olarak akış pillerinde depolanabilir. Elektriksel enerji üreten sistemler yüksek verimliliğin olduğu akış pilleridir. Akış pillerinin elektriksel enerjisi gerektiğinde elektrolitlerinde kimyasal enerji olarak depolayabilmesi (şarj) gerektiğinde ise elektriksel enerjisi üretmesi (deşarj) tersinir

bataryalara ve yakıt pillerine göre daha gelişmiş bir sistemdir.

Akış pillerinin aynı ölçekteki diğer pillere göre daha küçük maliyetli ve daha uzun deşarj süresine sahip olduğunu sunmuştur (Skyllas-Kazacos et al., 2011). Akış pilleri, yenilenebilir enerji pazarında elektrik arzı sınırlamalarının üstesinden gelmek için en umut verici teknolojilerinden birini temsil etmektedir (Sánchez-Díez ve diğerleri, 2021). Pt akış pillerinde kullanılan maliyeti yüksek metaldir. H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> akış pil sistemi yüksek katot kinetiğine sahip olduğu için diğer akış pillerine göre performansı yüksektir.

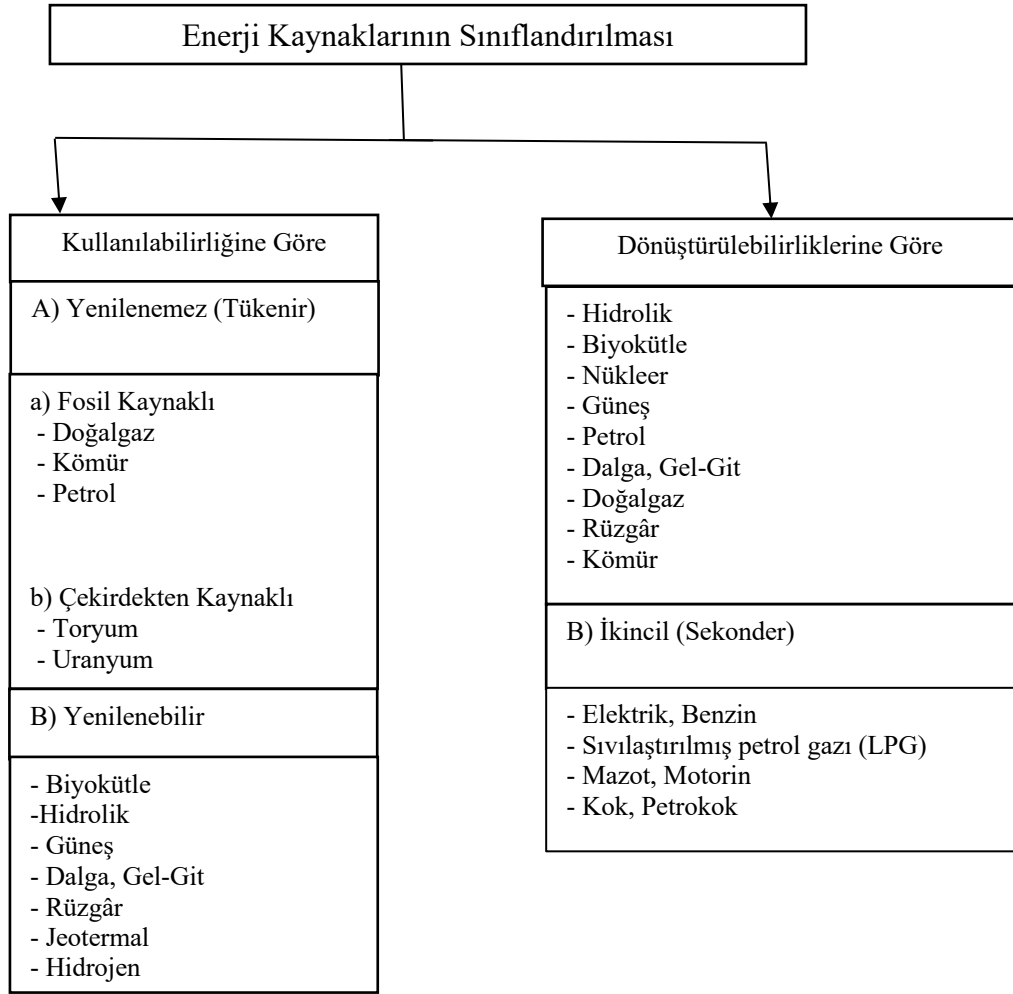
Bu tez çalışması kapsamında sazan balığı pulu biyokütle atığından sentezlenen yüksek performanslı H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> akış pili katot elektrotunda enerji depolanması için elektrokatalizörün iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Balık pulları yüksek miktarda N elementi ve Ca eksikliği olan hidroksiapatit (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH) içeren kolajen yapıdadır. Nano boyut yapısı, geniş yüzey alanı, bol oksijen ve azot içeren fonksiyonel gruplara sahiptir.

Balık pulundan elde edilen karbon H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> akış pili katotunda ilk kez çalışılmaktadır. Sazan balığı pulu temin edildikten sonra karbon sentezi için hidrotermal işlem yapılır. Hidrotermal işlem sonrası balık pullarının yapısını bozmadan kurutmak için liyofilizasyon işlemi uygulanır. Liyofilizasyon işlemi sonrası farklı sıcaklıklarda karbonizasyon yapılır. Bu çalışmada biyokütle atığı olan balık pulundan elde edilen katalizör H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> redoks akış pili için enerji depolama da verimliliği artacağı bilinmektedir. Yüksek karbonizasyon sonucu sentezlenen karbonun nano yapıda ve 2 boyutlu olması beklenmektedir. Sentezlenen karbonda bol miktarda oksijen grupları ve çok sayıda mikro gözenekler içermelidir. Balık pulu sentezi sonrasında N elementi kısmen yapıda korunmalıdır. Sentezlenen balık pulu katalizör de yüksek yüzey alanı beklenmektedir. Sentezlenen katalizörlerin X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS), X-Işını Kırınımı (XRD), Termo gravimetrik analiz (TGA), N<sub>2</sub>-Adsorpsiyonu (BET), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) ve çevrimsel voltametri(CV) elektrokimyasal karakterizasyonları gerçekleştirilecektir.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER

### 2.1. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olmak üzere enerji kaynakları iki gruba ayrılmaktadır. Enerji kaynakları Tablo 2.1’de verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları; Hidroelektrik, Rüzgâr, Jeotermal, Güneş, Hidrojen, Biyokütle ve Deniz enerjisi (Dalga, akım, gelgit). Fosil yakıtlar tarafından karşılanmayan enerji ihtiyacının geri kalanı yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Güç üretimi için yeterli ısı enerjisi elde etmek için yalnızca üç yenilenebilir enerji kaynağı (biyokütle, jeotermal ve güneş) kullanılabilir (Sampaio & González, 2017). Hidroelektrik dışındaki yenilenebilir kaynaklar şu anda elektrik üretiminin %4’ünü rüzgâr ve güneş enerjisinden sağlıyor, 2030 yılına kadar %25’ten fazla büyüyeceği tahmin ediliyor (Alotto et al., 2014).



Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç et al., n.d.-b).

### 2.1.1. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle kaynaklarını; şehir ve endüstri atıkları, bitkisel ve hayvansal atıklar şeklinde sınıflandırabiliriz (Oktit, 2000). Biyokütle atığından elde edilen enerji çevre kirliliğine neden olmaması, doğal dengeyi bozmaması, az masrafla üretilmesi, atmosferdeki CO<sub>2</sub>'i kullanarak sera etkisini azaltması biyokütle enerjisinin önemini arttırır. Biyokütle enerjisi önemli bir enerji kaynağıdır. Günümüzde dünyanın enerji ihtiyacının %14'ü, 2050'lerde dünyanın birincil enerji kaynak tüketiminin yarısını ve elektrik üretiminin %60'ının karşılanabileceği tahmin edilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde biyokütleden üretim oldukça biyokütle kullanımı artacaktır (Mckendry, n.d.). Dünyanın doğalgaz, kömür, petrole ve olan dışa bağımlılığı yenilenebilir enerji kaynağı ile azaltılabilir. Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisi alternatif yakıt gibi kullanılabilir (Alp Kağan GÜRDİL et al., 2015).

Biyolojik kökenli fosil yapıya geçmemiş organik kökenli biyokütle atığının içeriğinde karbondan hariç hidrojen, azot, oksijen ve az miktarda alkali, ağır metaller içeren ve toprak alkali atomlar vardır. Biyokütle enerjisi, bitkisel veya hayvansal kökenli ana bileşeni karbonhidrat olan doğal maddelerdir. Hayvan artıkları, organik maddeler, kentsel atıklar ve karada ve suda yetişen bitkiler biyokütle atığı olarak tanımlanabilir (Oberberger & Thek, 2004).

Enerji kaynağı olarak biyokütle maddelerden elde edilen yakıtların kullanılmaları, fosil yakıtlara göre önemli avantajlara sahiptir. Avantajları:

- \* Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisi ucuzdur. Biyokütle malzemeler için rezervlerinde azalma meydana gelmemektedir (Demirbas, n.d.).
- \* Dünyanın her yerinde biyokütle maddeler doğal olarak yetişirler. Biyokütle maddeler, dünya çapında 4. büyük enerji kaynağıdır. Dünya da birincil enerji tüketiminin yaklaşık %14-15'tir. Gelişmekte olan ülkelerde ise %35-38'e ulaşmaktadır (Bhattacharya et al., 2000).

Türkiye, biyokütle üretiminde iklim şartları, su kaynakları, güneşlenme süresi ve arazi potansiyeli gibi koşulları sağlamaktadır. Biyokütle üretimine çok uygun bir ülkedir. Biyokütlenin kullanıldığı alan yakıt amaçlı kullanılmaktadır. Türkiye; nüfusunun %35'inin tarımda istihdam ediliyor olması, bu alanlarının %55,6'sının ekilebilir olması, 77 milyon tonluk tarımsal biyokütle potansiyeline sahip ve %15'inin ormanlarla kaplıdır (Naci & Özarslan, n.d.). Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları

açısından önemli bir yere sahiptir. Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı düşüktür. Ülkemiz de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hidroelektrik enerji hariç enerji tüketim payının %8,9'dur. Bu enerji kaynakların dağılımları; %1,5 jeotermal, %21,4 hayvan ve bitki atıkları, %75,6 odun, %1,5 güneş enerjisi, şeklindedir. Biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında toplam enerji üretimindeki payı yüksektir. Ülkemiz için yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir öneme sahiptir (Gy En Vir et al., n.d.).

### **2.1.2. Güneş Enerjisi**

Güneş, dünyadaki tüm enerji kaynaklarının doğrudan veya dolaylı temelidir. Güneş enerjisini kullanımının iki yolu vardır; ısıya dönüştürmek ve elektrik enerjisine dönüştürmektir. Güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürmek ve ısı enerjisine dönüştürmek için güneş pilleri kullanılır. Dolaylı ve doğrudan dönüşüm olmak üzere iki farklı yöntemle enerji kullanımı olur. Elektrik üretimi güneş enerjisinden bu iki yöntemlerle gerçekleştirilmektedir (Alaçakır, 2001). Aktif güneş enerjisi teknolojisi iki kategoriye ayrılabilir: (i) fotovoltaik teknoloji ve (ii) güneş enerjisi teknolojisidir (Herrando & Markides, 2016). Son yıllarda, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için yarı iletkenlerin kullanımını içeren fotovoltaik teknolojisi oldukça arzu edilen bir seçenek haline geldi (Mohanty et al., 2016). Çevreyi kirletmeden güneş enerjisini fotovoltaik hücreler (PV piller-güneş pilleri) doğrudan elektrik enerjisine çevirmektedir. Güneş panelleri uzay araçlarına enerji sağlamak ve uzay çalışmalarında en önemli sistemlerdir. (Artkin, 2018). Güneş enerjisi teknolojisinde güneş enerjisi, kurutma, ısıtma, soğutma, pişirme vb. gibi evsel veya ticari uygulamalar için termal enerjiye dönüştürülür (Seddegh et al., 2015).

Güneş enerjisinin avantajları; yenilenebilir, temiz ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjili sistemler basitçe kurulabilir, değiştirilebilir ve taşınabilir. Uzun yıllar sorunsuz çalışır ve dayanıklıdır. Güneş pili uzun ömürlüdür. Şebeke hattının maliyetli olduğu kırsal alanlarda ve elektrik besleme hattının olmadığı veya güneş pilleri kullanmak daha ekonomiktir. Güneş enerjisinin tüm bu avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Güneş pillerinin dezavantajları; verimliliği düşüktür (yaklaşık %15). Fotovoltaik pillerin üretime bağlı olarak başlatma ve tüketme maliyeti yüksektir. Teknoloji ilerledikçe enerji giderek yaygınlaşmakta ve maliyetli artmaktadır. Güneş enerjisinin depolanmasındaki sorun kesintili bir kaynak

olmasıdır. Depolama ünitelerinin bakımı enerji maliyetini arttırmaktadır. Bu dezavantajlar da sistemin verimini düşürmektedir.

İnsanlığın ilk yararlandığı enerji kaynağı rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisi kullanım alanları; kuyulardan suların çekilmesinde, değirmenlerde buğdayların öğütülmesinde ve yelkenlilerin yözdürülmesinde kullanılmıştır. Rüzgâr gücü, güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir. Bu rüzgâr gücü, alçak ve yüksek basınç merkezlerinin karşılıklı etkileşimi sürecidir. Yeryüzünde rüzgâr gücü eşit bir şekilde dağılmaması bu sebepten kaynaklıdır. (Doğanay, 1998). Elektrik enerjisi ve mekanik enerji üretmek için rüzgâr enerjisinden yararlanılmaktadır. Elde edilen mekanik enerji çiftliklerde sulama ve evlerde kullanılmaktadır. Rüzgâr Enerjisi Santrallerinden (RES) elektrik enerjisi üretmek amacıyla yararlanılmaktadır.

Kinetik enerjiyi mekanik enerjiye rüzgârın gücü ile rüzgâr türbinleri çevirmektedir. Hava akımları devam ettiği sürece rüzgâr gücü enerji üretecektir. Rüzgâr gücü düzensiz bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr türbinlerinin ürettiği enerjinin depolanması gerekir. Rüzgâr enerjisinin en büyük avantajı enerji üretimi sırasında çevresel atık oluşturmamasıdır (Elibüyük & Üçgül, n.d.).

Rüzgâr enerjisi, temiz, yerli, çevreyi kirletmeyen, sürekli ve doğrudan kullanılabilen yenilenebilir bir enerjidir. Fosil yakıt tüketiminin azaltılmasında yakıt hammadde maliyeti olmayan rüzgâr enerjisi etkilidir. Rüzgâr türbinlerinin çevreye en önemli katkısı, asit yağmurlarına ve sera etkisine neden olmamasıdır. Fosil yakıtların yanmasıyla zararlı gazları oluşturmamaktadır. Rüzgâr enerjisi yeteri kadar potansiyeli olan ve gelecek için ümit veren yenilenebilir enerji kaynaklarından. Rüzgâr enerjisinin dezavantajları ise türbinlerin kuruluş maliyeti fazladır ve rüzgâr santrali kurulduğunda gerekli alet ve teçhizatın yurt dışından ithal edilmesidir. Yerli üretimin teşvik edilmesi bu sorun giderilecektir (Bayraç, 2011). İstenilen her bölgeye rüzgâr santrali kurulamamasının nedeni rüzgâr hızının değişken olmasıdır. Rüzgârın bu değişkenliğini engellemek için en güzel yol, elde edilen enerjiyi doğrudan ana iletim hattına bağlamaktır (Mehel et al., 2009).

### **2.1.3. Hidroelektrik Enerji**

Hidroelektrik enerji, suyun sahip olduğu potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürme yöntemleri ile sağlanmaktadır. Elektrik enerjisi barajlarda biriktirilen su

borular aracılığı ile türbinlere gönderilmekte ve türbinlerde bulunan jeneratörler aracılığı ile üretilmektedir (Öztürel et al., 2001).

Hidroelektrik santrali uygulamalarında, suyun potansiyel enerjisinden yararlanılarak elektrik üreten santraller olarak tanımlanabilir. Suyun gücünü elektriğe dönüştüren hidroelektrik santrallerdir. Hidroelektrik santraller suyun akışını ve enerji miktarını belirlemektedir. Küçük bir nehirde akan su ile büyük bir nehirde akan su aynı elektrik miktarını üretmemektedir. Çünkü suyun gücü türbinleri döndürerek elektrik üretimi sağlamaktadır (Karacan, 2007).

Hidroelektrik santralleri insan yapımı olan bölümleri sorunlara yol açabilmektedir. Yaşam alanlarını olumsuz etkilemektedir. Çevre dostu olarak bilinse de bitkilerin çürümesine sebep olmaktadır. Sera gazının atmosfere salınmasına da çürüme neden olur. (Hook, 2015).

## **2.2. Karbon Türleri**

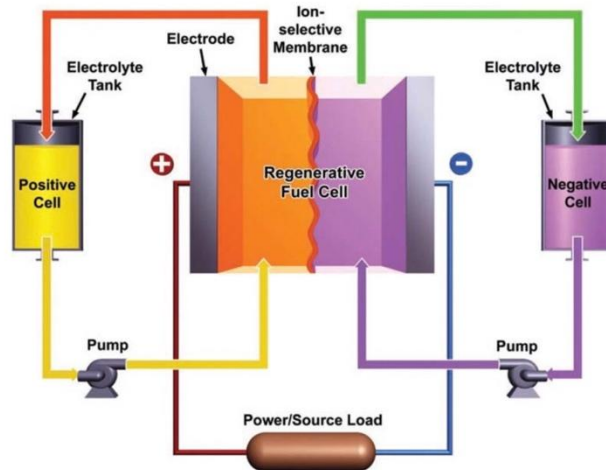
Karbon bazlı süper kapasitörler, olağanüstü güç yoğunluğundan ve ultra uzun döngüsel yeteneğinden yararlanan umut verici bir enerji depolama sistemidir (Hu et al., 2016; Shi et al., 2018). Elektrot malzemeler olarak gözenekli karbon üretimi yoğun ilgi görmüştür. Şu anda, gözenekli karbon üretimi için en yaygın ve güçlü yaklaşım, yenilenebilir biyokütle malzemelerinin yüksek sıcaklıkta aktivasyon işlemidir (Sun et al., 2017). Karbon malzemeler, düşük fiyatları, iyi elektronik iletkenlikleri ve olağanüstü korozyon direncinin yanı sıra kontrol edilebilir yapı ve yüzey özellikleri nedeniyle Br-FB'lerin katot malzemeleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhou et al., 2006). Br-FB'ler için yaygın olarak kullanılan karbon bazlı katot malzemeleri, kendinden gözenekli karbon malzemeleri ve gözenekli (2D veya 3D) karbon fiber bazlı malzemeleri içerir (Wang et al., 2019). Biyokütle malzemeleri, bol aktif fonksiyonel gruplara sahip gözenekli yapıları, zengin kaynakları ve düşük maliyetleri nedeniyle Br-FB'lerin uygulamalarında büyük potansiyele sahiptir. Özetle, geniş spesifik yüzey alanı, iyi iletkenlik, elektrokimyasal kararlılık ve düşük maliyetli karbon bazlı malzemeler, Br-FB'ler için gelişmiş elektrokatalizörler olarak uygundur. Karbon malzemelerin morfolojisi ve gözenek yapıları kontrol edilebilir bir şekilde tasarlanabilir ve yüzey özellikleri kolaylıkla düzenlenebilir.

Ancak, toz halindeki karbon malzemeler belirli bir konsantrasyon polarizasyonu meydana getirecektir. Brom içeren sistemde iyi bir stabiliteye sahip olmalarına rağmen,

elektrolit akışı altında elektrottan düşmeleri kolaydır. Ayrıca, tanımlanan karbon bazlı elektrokatalizörler ke celerde eşit olmayan bir Şekilde dağılır, bu da artan yerel polarizasyona ve zayıf pil performansına yol açar (Zhang et al., n.d.).

### 2.3. Redoks Akış Pilleri

Redoks akış pilleri (RFB'ler), aktif elektrolit malzemelerin oksidasyonu ve indirgenmesi yoluyla elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüŐtürebilen, depolayabilen ve gerektiğinde serbest bırakabilen elektrokimyasal sistemlerdir (Li et al.,2011a). RFB'ler, ayrı harici tanklarda depolanan ve elektron transfer reaksiyonlarının inert elektrotlarda gerçekleŐtiđi redoks akış hücresine pompalanan iki dolaŐım elektrolitinde (anolit ve katolit)  oz nm Ő iki redoks çifti kullanır (Ulaganathan et al., 2016).



Şekil 2.2. Redoks akış pil yapısının Şematik gösterimi (Li et al., 2011b)

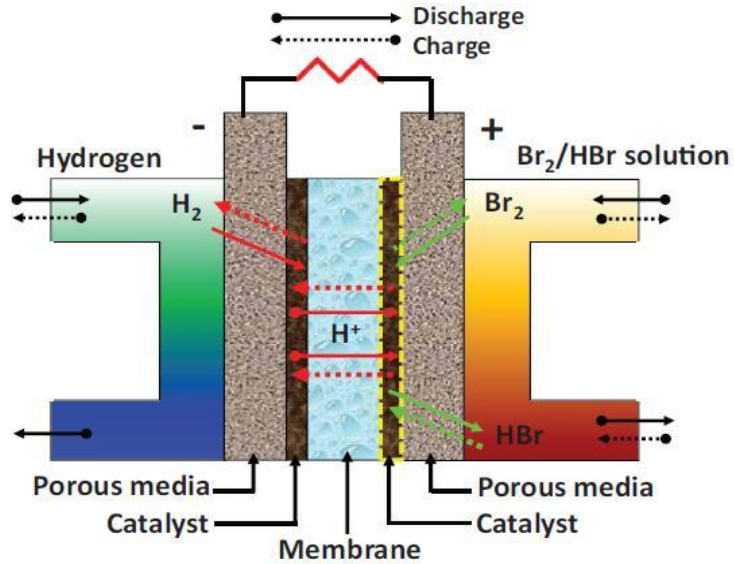
Bir RFB hücresi, iki elektrolitten (pozitif ve negatif elektrolit) ve iyon değişim zarı ile ayrılmıŐ elektrotlardan oluşur; her bölme bir harici elektrolit tankına ve bir pompaya bağlıdır. Elektrik enerjisi ve kimyasal enerji arasındaki enerji d n Őm  elektrotların yüzeyinde gerçekleŐirken, harici elektrolit tanklarından gelen elektrolit RFB hücresine dolaŐır. Bir taraftaki elektrottaki indirgeme reaksiyonu, bir taraftaki elektrolitten elektronları ve iyonları çıkarırken, diğer taraftaki elektrottaki oksidasyon reaksiyonu onları diğer taraftaki elektrolitte yeniden birleŐtirir. RFB'lerin avantajları arasında çok sayıda Şarj/deşarj döngüsü için dayanıklılık, yüksek gidiş-dönüş verimliliği, yük veya girdideki deđiŐikliklere hızla yanıt verme yeteneği ve makul sermaye maliyetleri yer alır (Weber et al., n.d.). RFB'lerin önemli bir avantajı, g c ve

elektrik depolama kapasitesini bağımsız olarak kontrol etmeyi mümkün kılan güç ve depolama kapasitesini ayırma yeteneğidir. İlk redoks akış pili (RFB), 1970'lerde Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nden (NASA) Lawrence Thaller tarafından tanıtıldı (Jung et al., 2013).

## 2.4. Hidrojen-Brom Akış Pili

1974'te redoks akış pil kavramı keşfedildikten sonra, hidrojen/brom yakıt hücresi sistemi, büyük ölçekli enerji depolaması için geniş çapta incelenmiştir. 1984 yılında taşınabilir elektrik gücü için brom kompleksi hidrojen brom rejeneratif yakıt hücreleri araştırılmıştır (Baldwin, 1987). Yeo ve Chin, hidrojen brom akış pilini kapsamlı bir şekilde araştıran ilk kişilerdir (Cho et al., 2012).

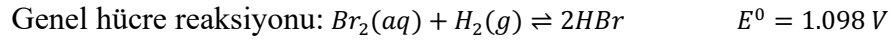
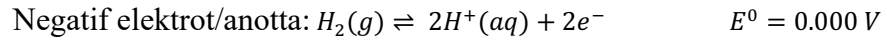
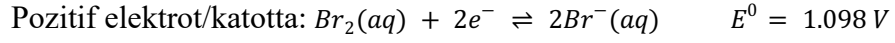
Hidrojen brom akış pili, gözenekli bir ortam, Pt katalizörü ve membran içerir. Şekil 14'te açıkça görüldüğü gibi,  $H_2/Br_2$  pilinin şarjı sırasında hücreye hidrobromik asit (HBr) verilir ve hidrojen ( $H_2$ ) ve brom ( $Br_2$ ) olarak ayrılır. Böylece hidrojen ve brom hücre dışında depolanır.  $H_2/Br_2$  akış pilinin deşarjı sırasında, akış tersine çevrilir ve hücrenin pozitif elektrotuna  $HBr_{(aq)}$  içindeki bir brom ( $Br_2$ ) çözeltisi verilirken, hücrenin negatif elektrotuna hidrojen beslenir ve bunlar hidrojen bromür (HBr) oluşturmak üzere reaksiyona girer; standart elektrik potansiyeli 1.098 V'dir. Boşalma sırasında hidrojenden gelen proton bromun azalmasına neden olur (Cho et al., 2012).



Şekil 2.3. Hidrojen/brom akış pilinin görünümü (Cho et al., 2012)

Hidrojen bromun elektrokimyasal reaksiyonu hızlı ve tersine çevrilebilir (Cho et al., 2015). Daha doğrusu anotta hidrojen deşarj sırasında oksitlenirken şarj sırasında

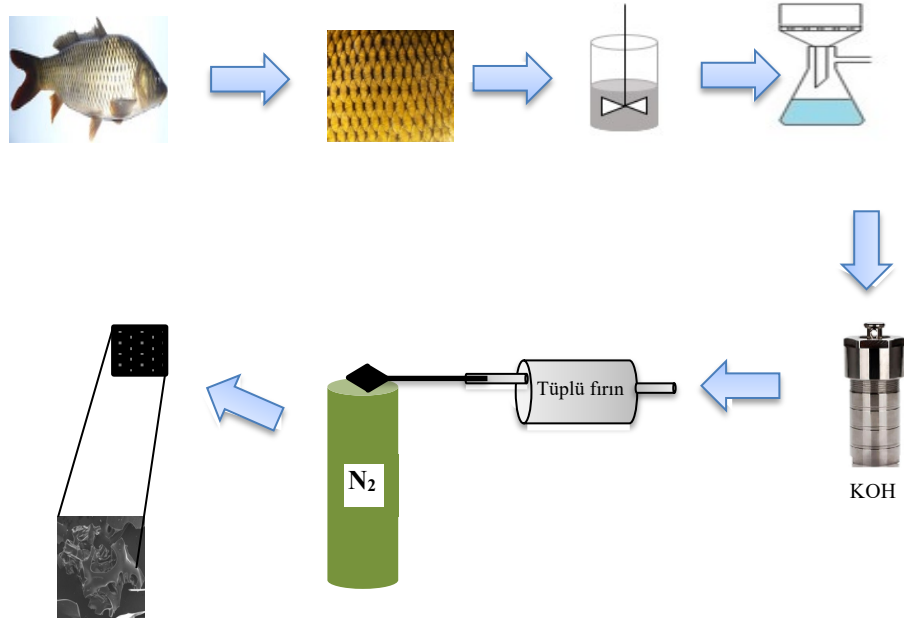
azalır. Aksine, hücrenin katodunda, brom sırasıyla deşarj ve şarj sırasında indirgenir ve oksitlenir. H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> pilin 25°C'deki ideal elektrokimyasal hücre reaksiyonları aşağıdaki şekilde sunulmuştur (Cho et al., 2012).



Hidrojen brom redoks akışlı pili, yüksek güç yoğunluğu, yüksek gidiş-dönüş verimliliği ve düşük maliyeti nedeniyle büyük ölçekli elektrik enerjisi depolaması için çekici bir teknolojidir (Nguyen et al., 2014). Lawrence Berkley Ulusal Laboratuvarı'ndaki son bulguya göre, H<sub>2</sub>-Br<sub>2</sub> akış pili, yaklaşık %88 gibi yüksek bir enerji depolama verimliliğine sahiptir (Tucker et al., 2015). Sonuç olarak, hidrojen brom akış pili, en umut verici elektrik enerjisi depolama sistemlerinden biri haline geliyor. H<sub>2</sub>-Br<sub>2</sub> akış pilinin avantajları; Elektrot reaksiyonları, yüksek verim sağlayan hızlıdır. Sistem hem aşırı deşarjı hem de şarjı tolere eder, bu nedenle cihaza zarar verme olasılığı bu etkilerden dolayı hücre azalır. Kendi kendine deşarjı düşüktür ve bu nedenle hücrenin coulomb verimi yüksektir. Brom düşük buhar basıncına sahip olduğundan ve sağlık için tehlikeli olduğundan brom elektroliti ve brom elektrotu ortam basıncında çalışabilir (Yeo & Chin, 1980) ve (Savinell & Fritts, 1986).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Deneysel Yöntem



Şekil 3.1. Balık pullarından elde edilen gözenekli karbon malzemenin şematik gösterimi

Bu tez çalışmasında kullanılan kimyasalların kullanım amaçları ve kullanılan alet ve cihazların kullanımını Tablo 3.1-3.2’de verilmiştir.

Tablo 3 1.Kullanılan Kimyasallar

KİMYASALLAR	KULLANIM AMACI
N <sub>2</sub> Gazı	Karbonizasyon işleminde inert atmosfer oluşturmak için
KOH -ISOLAB	Kimyasal Aktivasyon için
HCl	Asidik işlem
HF	Si uzaklaştırma

Tablo 3 2.Kullanılan Cihazlar

CİHAZLAR	KULLANIM AMACI
PROTHERM FURNACES PTF 12/50/600 MODEL FIRIN	Karbonizasyon ve Kimyasal Aktivasyon İşlemi için
IVIUM POTANSİYOSTAT-GALVANOSTAT (IVIUM <sup>®</sup> STAT.H, IVIUM HOLLAND)	CV ölçümleri için
ETÜV -NÜVE MARKA	Kurutma işlemlerinde
QUANTACHROME MARKA AUTOSORB IQ2 MODEL CİHAZ (BET)	Yüzey Analiz Ölçümünde
JEOL, JSM-7001F (SEM)	Yüzey Alanı Görüntülemeye
TA INSTRUMENTS DMAQ800 MODEL (TGA)	Termal özelliklerin belirlenmesi için gereklidir.
LABCONCO FREEZE DRYER FREEZE 12 PLUS (LİYOFİLİZATÖR)	Numunenin dondurularak kurutmak için
RİGAKU ZSX PRIMUS II (XRF)	Elemental ve kimyasal kompozisyonu belirlemede
RADWAG AS 220R2 (ANALİTİK TERAZİ)	Tartım
WISESTİR MSH-30D (MANYETİK KARIŞTIRICI)	Homojen karıştırma
Ultrasonik Banyo	CV için çözelti hazırlamada

Bu çalışmada hidrojen/brom ( $H_2/Br_2$ ) akış pilinde katot kinetiğini geliştirme amaçlı biyokütleden karbon sentezi çalışmalarına yer verilmiştir. Bu çalışmada katalizör destek malzemesi olarak kullanılacak karbon sentezi yapılmıştır. Biyokütleden elde edilen  $H_2/Br_2$  redoks akış pili katot elektrotu için enerji depolama elektrokatalizörün iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Balık pulları yüksek miktarda N elementi ve Ca eksikliği olan hidroksiapatit( $Ca_5(PO_4)_3OH$ ) içeren kolajen yapıdadır. Nano boyut yapısı, geniş yüzey alanı, bol oksijen ve azot içeren fonksiyonel gruplara sahip balık pulu tercih edilmiştir. Karbon bazlı katalizör hazırlamak için KOH reaktifi kullanılması şarttır. Akış pili olarak Hidrojen/Brom katot elektrotunda ilk defa çalışılacaktır. Sazan balığı pulundan elde edilen karbon sentezini gerçekleştirmek için ilk olarak HCl ile yıkandıktan sonra hidrotermal işleme tabi tutulur ve kurutmak için

liyofilizasyon kullanılır. 750°C, 800°C, 850°C, 1000°C sıcaklıklarda karbonizasyon yapılır. Çalışma da balık pulundan sentezlenen karbon H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> redoks akış pilinde performans ölçümleri yapılır.

750°C, 800°C, 850°C, 1000°C'de karbonizasyondan sonra karbondaki mikro bol oksijen içeren gruplar olması beklenmektedir. Sentezlenen karbonun çevrimsel voltametri (CV), X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS), Termogravimetrik analiz (TGA), N<sub>2</sub>-Adsorpsiyonu (BET), X-Işını Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) gibi karakterizasyonları gerçekleştirilecektir.

Sazan balığı pulundan sentezlenen biyokütle atığından karbon için hidrotermal, liyofilizasyon, karbonizasyon işlemleri uygulandı. Balık pulları önce oda sıcaklığında HCl çözeltisinde kalsiyum tuzunun giderilmesi için asidik işleme tabi tutuldu. Islatılmış balık pulu nötr olan kadar vakumlu filtrasyon yöntemi ile yıkandı. Basit hidrotermal işlem ile balık pulu KOH çözeltisi ile ekstrakte edildi. Daha sonra jelatin oluşturmak için hidrolize edildi. Bu işlem KOH solüsyonu ile ıslanmış balık pulu teflon kaplı bir otoklav içerisinde ısıtıldı. Elde edilen çözelti süzme yapılarak tortudan ayrıldı. Vakumlu liyofilizasyon süzüntüyü kurutmak için kullanıldı. KOH çözeltisi vakumlu liyofilizasyon kurutma esnasında tabaka benzeri kristal oluşması gözlemlendi. Kurutulmuş numune tüp fırın içerisinde azot atmosferinde karbonize edildi. Elde edilen numune HCl çözeltisinde bekletildi ve nötr hale getirildikten sonra kurutuldu. Sentezlenen karbonun elektrokimyasal ve yapısal karakterizasyonları gerçekleştirildi.

### **3.1.1. Balık Pulu Temini**

Bu tez çalışmasında hiçbir ön işleme tabi tutulmadan analize alınan biyokütle sazan balığı Kars ilimize ait barajdan alınarak temin edilmiştir. Bir tür düşük maliyetli biyokütle atığı olarak, balık pulları kolajen açısından zengindir (Fang et al., 2014a). Sazan balığının çok pullu olması tercih edilmesindeki en büyük nedendir. Sazan balığı pulu (grass carp scale) karbonizasyonu gerçekleştirildi. Karbon sentezi ilk aşamada balık pulları derisinden ayıklandı yıkandı oda sıcaklığında kurutuldu.



a)

b)

Şekil 3.2. Hammadde a) Sazan balığı b) Sazan balığı pulu

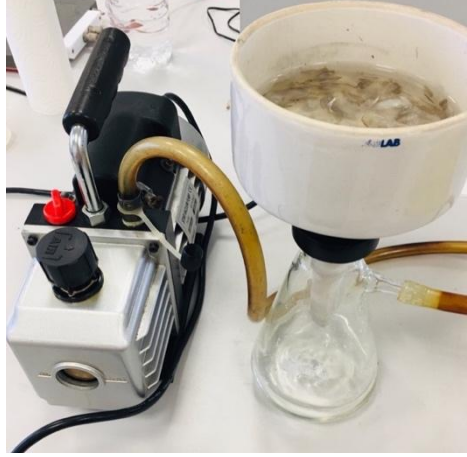
### 3.1.2. Hidrotermal

Biyokütle kaynağı olan kurutulmuş balık pulu (ot sazanı) önce 3 gr tartılarak oda sıcaklığında 2 saat boyunca 1M 30 ml hidroklorik asit ile asidik işleme tabi tutuldu. Asidik işlem ise kalsiyum tuzunun giderilmesinde pratik, düşük maliyetli ve kısa işlem süresi sunduğu için avantajlı bir yöntemdir. Asit veya alkali solüsyon jelatin oluşturmak için kullanılabilir (Duan et al., 2009; Kaewdang et al., 2014).

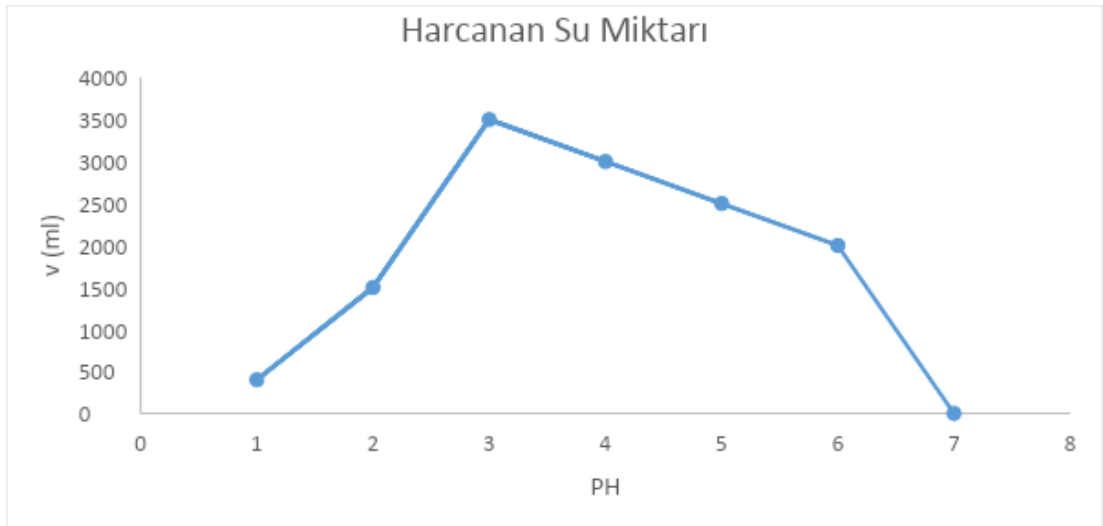


Şekil 3.3. Kurutulmuş balık pulu

Islatılmış balık pulu, Şekil 3.4'te gösterildiği gibi su nötr olana kadar vakumlu filtrasyon yöntemiyle deiyonize su ile yıkandı.



Şekil 3.4. Vakumlu filtrasyon yöntemi



Şekil 3.5. Harcanan Su Miktarı

Teflon kap ve paslanmaz çelik otoklav sistemi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Teflon kap içerisine yerleştirilen balık pulları paslanmaz çelik otoklav jelatin ekstraksiyonu, şablon aktivatör olarak 90 ml 0,01 M KOH çözeltisi kullanıldı. HCl solüsyonu ile önceden işlenmiş balık pulu teflon ile kapatılmış bir otoklav içerisine alındı ve jelatin olarak 80 °C'de 24 saat KOH solüsyonu kullanılarak etüv de ısıl işleme tabi tutuldu. Balık pullarındaki kolajenden ekstrakte edildi.



a)



b)

Şekil 3.6. a) Paslanmaz çelik otoklav ve teflon kap b) Etüv

Süzme yöntemi Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Jelatin ekstraksiyon gerçekleştirildikten sonra otoklav içerisinde jelatin ve balık pulları bulunan uçuk sarı solüsyon gözlenmiştir. Bu solüsyon filtre membran ile süzme yöntemiyle tortudan ayrıldı. Çoklu heteroatom katkılı ultra ince BPK için sentez yöntemi, balık pullarından jelatin ekstraksiyonundan esinlenmiştir. Düşük maliyetli biyokütle atığı olarak, balık pulları kolajen açısından zengindir (Fang et al., 2014b).



Şekil 3.7.Süzme Yöntemi

### 3.1.3. Liyofilizasyon

Numunenin yapısının bozulmaması için sıcaklık kullanılmadan kurutulması istenmektedir. Süzüntüyü kurutmak için vakumlu liyofilizasyon kullanıldı. Süzüntü sarı solüsyondan süzülerek ayrıldıktan sonra liyofilize edildi. Böylece kurutulan ürünün şekli, rengi ve aromatik yapısı korundu.



Şekil 3.8. Vakumlu Liyofilizasyon



Şekil 3.9. Liyofilizasyon sonrası balık pullarının görüntüsü



Santrifüj yöntemi Şekil 3.12’de gösterilen İsolab marka santrifüj cihazı ile yapılmıştır. Nötr olana kadar santrifüj yöntemi ile numune ayrıştırıldı.



Şekil 3.12. Santrifüj yöntemi

Nötr hale getirildikten sonra 80°C’de 4 saat etüvde kurutulmuştur. Sentezlenen numune BPK olarak adlandırıldı. Şekil 3.13’te kurutulmuş ve sentezlenen balık pulu katalizör gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 3.13. a) Sentezlenen karbon b) BPK



Şekil 3.14. Saf sazan pulundan elde edilen karbon numuneleri

### 3.2. Karakterizasyon

Yapısal karakterizasyon numunenin yüzey morfolojisini taramalı elektron mikroskobu (SEM) (JEOL, JSM-7001F) kullanılarak analiz edilmiştir. (Hızlanma gerilimi 15kV). Karbonun termal özelliklerini belirlemek için termo gravimetrik analiz (TGA) (TA instruments marka DMAQ800) kullanılarak doğrulanmıştır. Termo gravimetrik analiz azot atmosferi altında ve 15°C/dk tarama hızında yapılmıştır. Gözenek hacmi, gözenek çapı ve gözenek dağılım bilgileri için Azot Adsorpsiyonu (Quantachrome marka Autosorb IQ2) BET analizi yapılmıştır. Numunenin kurutulması için liyofilizatör (Labconco Freeze dryer 12 plus) kullanılmıştır. Liyofilizasyon -85°C 0,020 mbar'da çalışılmıştır. Malzemenin temel bileşimlerini belirlemek için X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) (Rigaku ZSX Primus II) model cihaz ile yapılmıştır.

#### 3.2.1. Termo gravimetrik Analiz Yöntemi (TGA)

Karbonun sentez aşamasında karbonizasyon sıcaklığının belirlenmesi amacıyla Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezinde KİTAM'da bulunan TA instruments marka DMAQ800 model TGA analiz cihazı ile analiz yapılmıştır. Sıcaklık 0 ila 1000°C arasında ısıtma hızı 20°C/dk olup azot (N<sub>2</sub>) atmosferinde analiz edilmiştir.

### **3.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS)**

Numunelerin yüzey morfolojisi SEM görüntüleri Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezinde (KİTAM) bulunan JEOL marka JSM-7001F model cihaz ile alınmıştır. Hızlandırma gerilimi 15.0 kV'dır. Katalizör yapının morfolojik özellikleri SEM görüntüleri ile analiz edilmiştir. Kütlece bileşimi bulmak için malzemelere enerji yayımlı X-ışını (EDS) analizi yapılmıştır. Ca, C, Cl, O, F ve K elementleri için haritalama yapılmıştır.

### **3.2.3. Azot Adsorpsiyonu (BET)**

Sentezlenen numunenin yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek çapı değerlerinin bulunması amacı ile N<sub>2</sub> adsorpsiyonu/desorpsiyonu tekniği kullanılmıştır. Analiz Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi merkez laboratuvarında bulunan Quantachrome marka Autosorb IQ2 model cihaz ile yapılmıştır.

### **3.2.4. X- Işını Floresans Spektrometresi (XRF)**

İşlem öncesi saf sazan balığı pulunun elemental ve kimyasal kompozisyonu belirlemek için kullanılmıştır. ODTÜ Merkez Laboratuvarında bulunan Rigaku ZSX Primus II marka cihaz ile analiz yapılmıştır. Analiz aralığı Bor-Uranyum ile çalışılmıştır. Sazan balığı pulları pelet ile preslenerek analiz edilmiştir.

### **3.2.5. X- Işını Kırınım Yöntemi (XRD)**

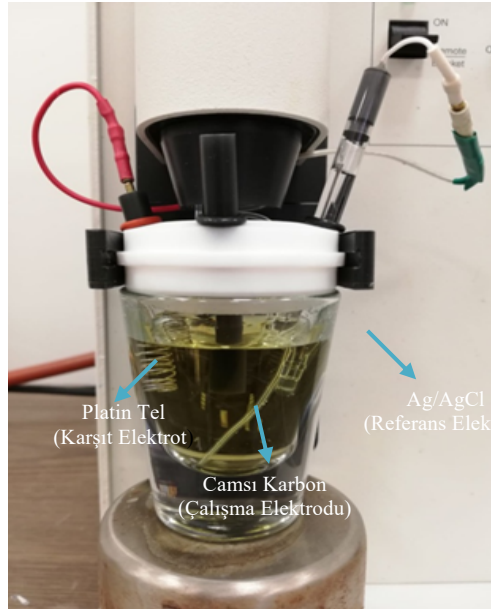
Yapısal karakterizasyonda sentezlenen karbonun doğruluğunu teyit etmek için XRD analizi yapılmıştır. Numunelerin X-ışını difraktometre (XRD) verileri Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezinde (KİTAM) bulunan Rigaku, Smartlab cihaz ile analiz yapılmıştır. Tarama açısı 2- 90<sup>o</sup> ve tarama hızı 2<sup>o</sup>/dk ve Cu-K $\alpha$ 1 kaynağı kullanılarak yapılmıştır.

### **3.2.6. X- Işını Fotoelektron Spektrometresi (XPS)**

X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) elektrot yüzeyindeki fonksiyonel grupların tespiti için kullanılmıştır. Karbonun yüzeyindeki elementel ve moleküler bileşenlerinin belirlenmesi için ODTÜ Merkez Laboratuvarında bulunan PHI 5000 VersaProbe ile analiz yapılmıştır.

### 3.2.7. Çevrimsel Voltametri Analizi (CV)

Elektrokimyasal özelliklerin belirlenmesi için dönüşümlü voltametri (CV) tekniğinden yararlanılmıştır. Testler, standart bir üç elektrotlu elektrokimyasal hücre (Basi marka RDE-2) model stant ile Ivium potansiyostat-galvanostat (Ivium®Stat.h, Ivium Holland) kullanılarak N<sub>2</sub> ortamında yapılmıştır. Referans (RE-5B, Basi®), karşıt (MW-1033, Basi®) ve çalışma elektrotu kullanılmıştır. Sırasıyla Ag/AgCl (3 M NaCl), Pt tel ve çalışma elektrotu olarak balık pulundan sentezlenen karbon kullanılmıştır. Katalizör mürekkebi için, 10 µL ağırlıkça %0,05 Nafion çözeltisi, ultrasonik bir banyoda 0,5 mL 2-propanol içerisinde çözündürülmüştür. Daha sonra hazırlanan karışıma 2,5 mg katot katalizörü sentezlenen karbon ilave edilmiştir ve 15 dakika ultrasonik banyoda tutulmuştur. Son olarak, 10 µL katalizör mürekkebi GCE temiz yüzeye damlatılmış ve kurutulmuştur. Çevrimsel voltametri testlerinde elektrolit 0,010 M HBr + 0,005 M Br<sub>2</sub> solüsyonu kullanılmıştır. Elektrolit ve elektrotlar analiz haznesine yerleştirildikten sonra ortam inertliğünün sağlanması adına sistem 20 dakika boyunca N<sub>2</sub> akışı altında purge edilmiştir. Farklı tarama hızlarında (50-500 mV/s) 0,0-1,0V potansiyel aralığında gerçekleştirilmiştir.



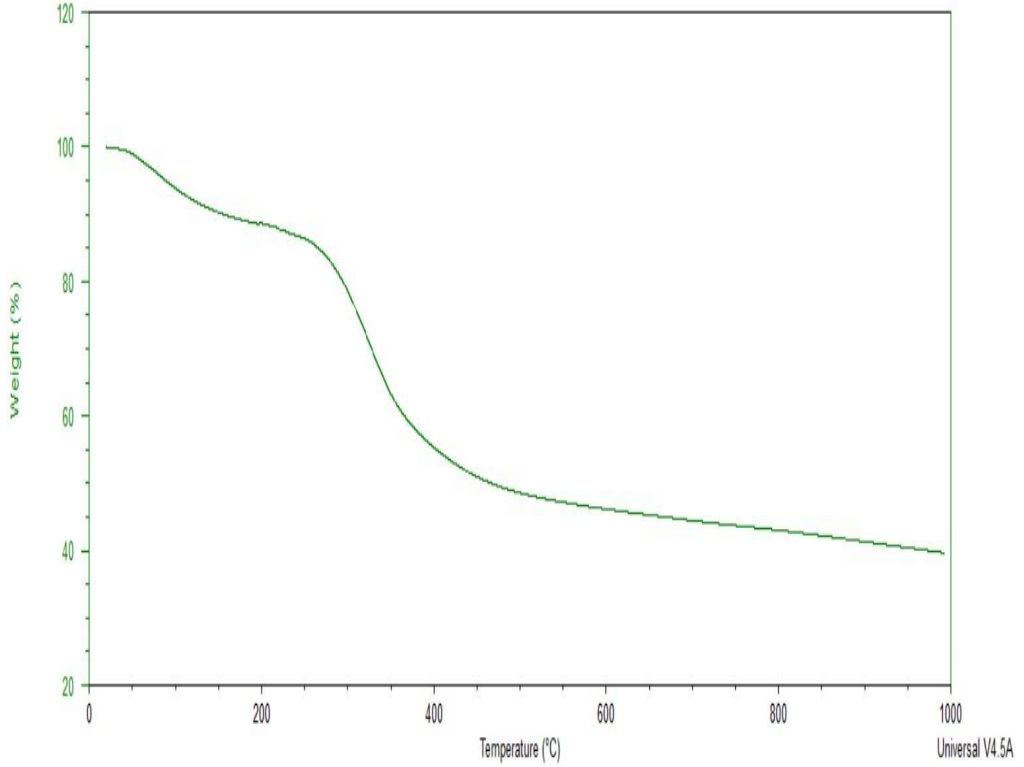
Şekil 3.15. Üç elektrotlu elektrokimyasal hücre

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Karakterizasyon Sonuçları

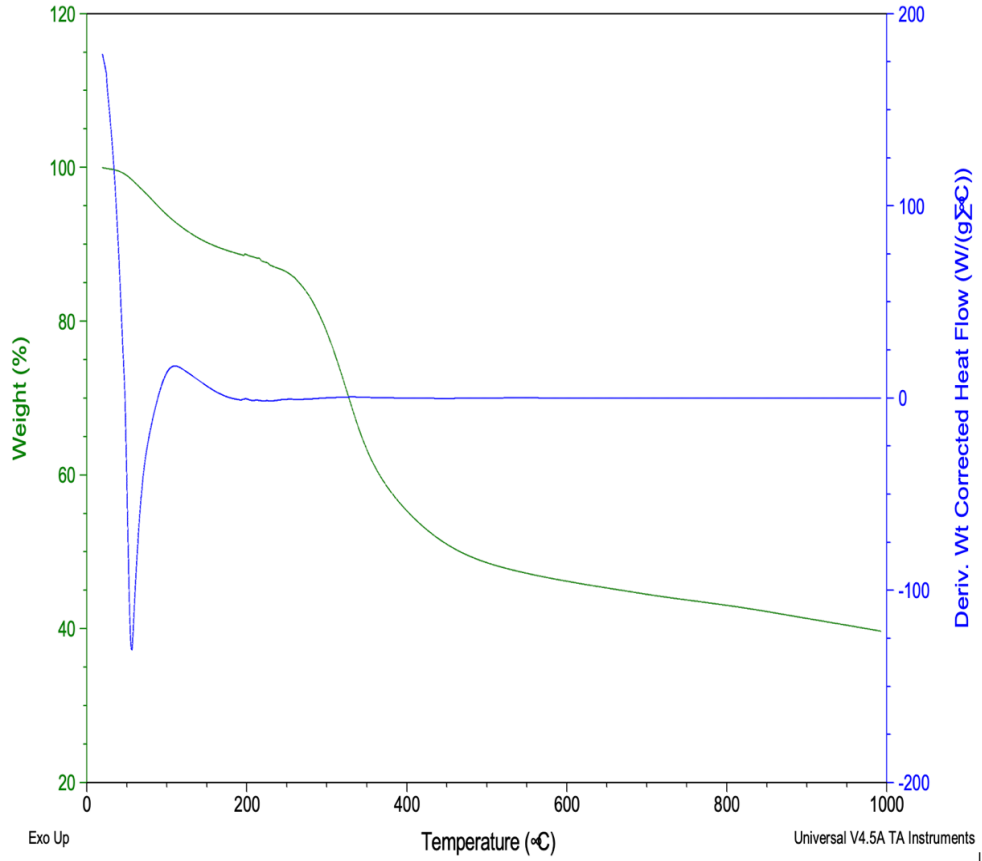
#### 4.1.1. Termo Gravimetrik Analiz Yöntemi (TGA)

Balık pulu katalizörün TGA eğrisi şekil 4.1'de sunulmuştur. İşlem görmemiş balık pulunun kütle kaybı adsorbe edilen neme atfedilmiştir. 300°C kütle kaybı numunedeki nemden kaynaklandığı düşünülmektedir. 300°C- 800°C deki 1. ve 2. kütle kayıpları gözlenmiştir.



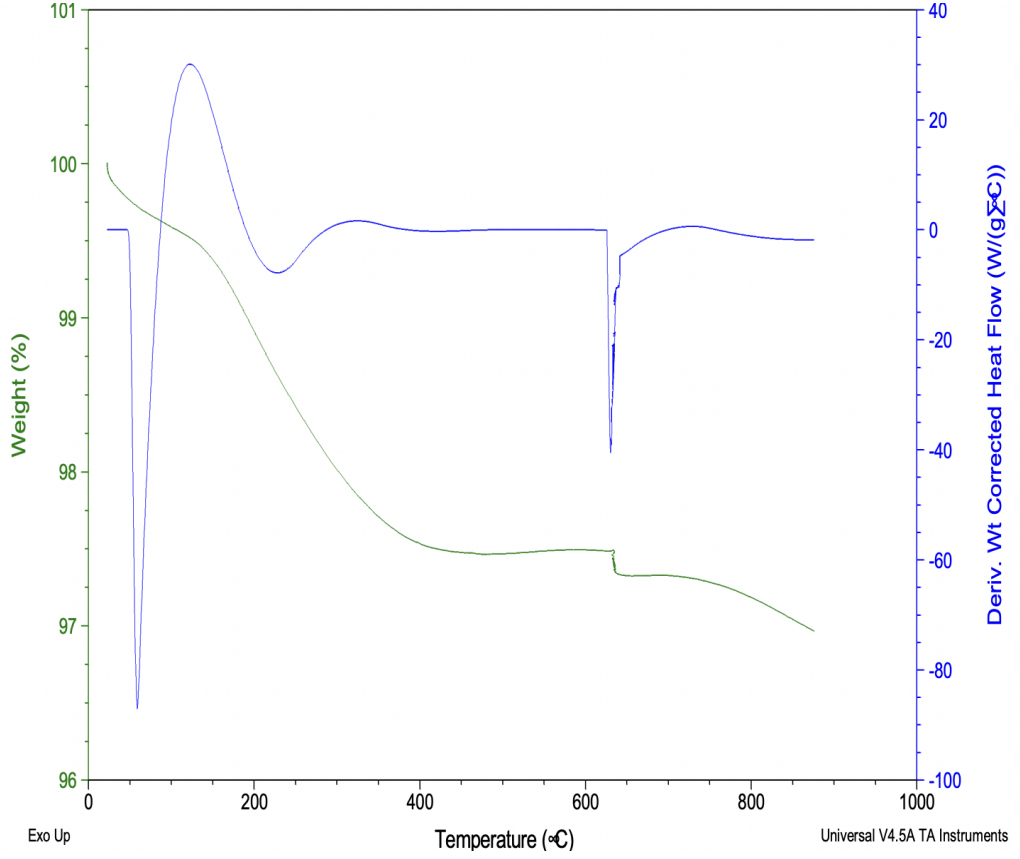
Şekil 4.1.Saf sazan balığı pulu TGA eğrisi

800°C ait TGA eğrisi Şekil 4.2'de verilmiştir. Yaklaşık 200°C'ye kadar olan ilk kayıp numuneye bağlı nemden kaynaklanmıştır. Yaklaşık 600°C'ye kadar karbon kütlelerinde ciddi bir kayıp olmamıştır. 600°C'den sonra ise karbonun kütlesi sabit kalmıştır.



Şekil 4.2. 800°C BPK TGA eğrisi

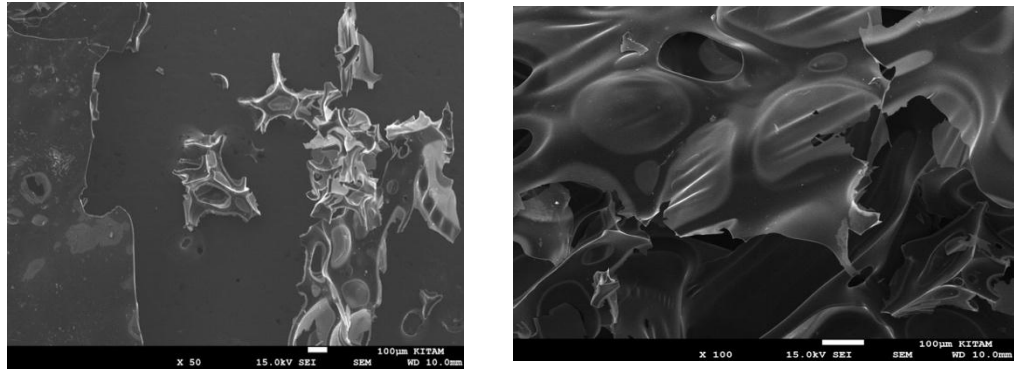
Karbonizasyon öncesi ve sonrası kütle kayıpları incelendiğinde kütle kaybının arttığı belirlenmiştir. Bu kütle artışı karbonizasyon sonrası katalizör yüzeyinde bulunan oksijen içeren fonksiyonel grupların artışı ve karbonizasyon sırasında salınmasına atfedilmiştir. 1000°C’de sentezlenen katalizöre ait TGA eğrisi şekil 4.3’te verilmiştir. Yaklaşık 100 °C’ye kadar olan nemden kaynaklanan ilk kütle kayıplarının benzer olduğu görülmüştür. BPK yapısında görüldüğü gibi 600 °C’ye kadar bir kütle kaybı olmamıştır.



Şekil 4.3. 1000°C BPK TGA eğrisi

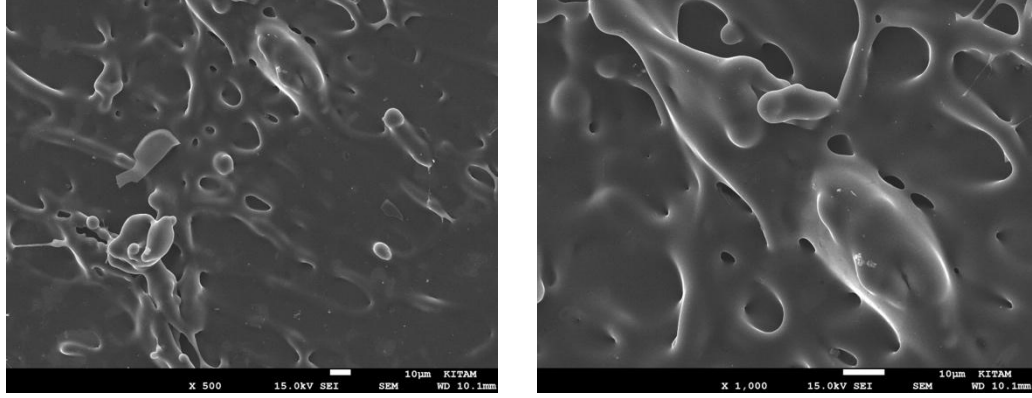
#### 4.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

Balık pulundan sentezlenen katalizörlerin 750°C, 850°C, 1000°C'deki karbonizasyon sonrası yüzey morfolojisi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi ile gerçekleştirilmiştir. Yüzeyde bulunan oksijen içeren fonksiyonel gruplar EDS haritası ile gözlemlenmiştir. 750°C'deki sentezlenen katalizörün SEM görüntüleri şekil 4.4'te sunulmuştur. Katalizörün düzensiz bir yapıya sahip olduğu ve safsızlıklar içerdiği gözlemlenmiştir.



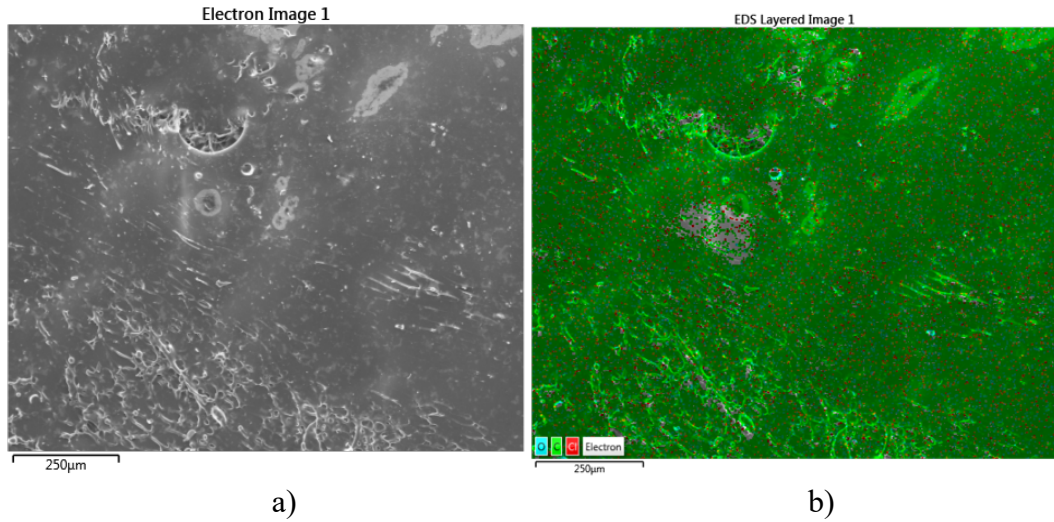
Şekil 4.4.750°C'de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütme SEM görüntüleri

BPK, 10 mm boyutlarında 2 boyutlu nanotabakadan oluşur. Görüldüğü gibi BPK, 100  $\mu\text{m}$  boyutlarında düzensiz pürüzlü yüzeylidir. Yüzeyde belirgin aşınmalar olmuştur.



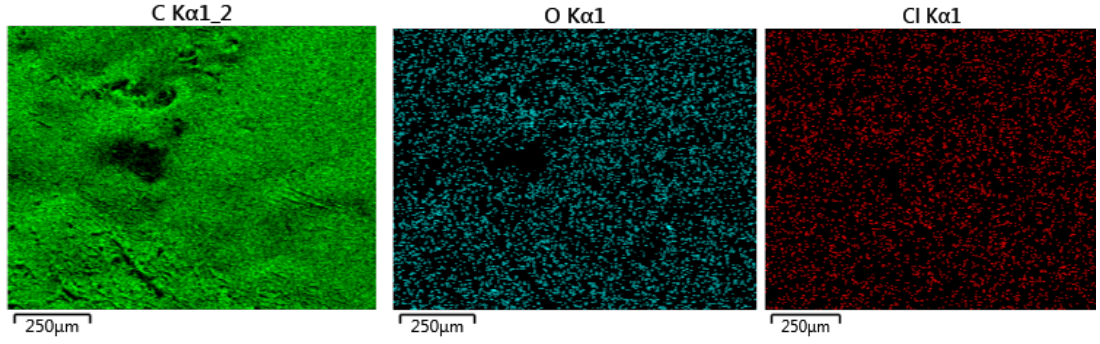
Şekil 4.5. 750°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelede SEM görüntüleri

750°C’deki sentezlenen katalizörün farklı büyütmeledeki SEM görüntüleri şekil 4.5’te sunulmuştur. Balık pulu katalizör 750°C’deki karbonizasyon sonrası SEM görüntüsü ve EDS haritası şekil 4.6’de sunulmuştur.



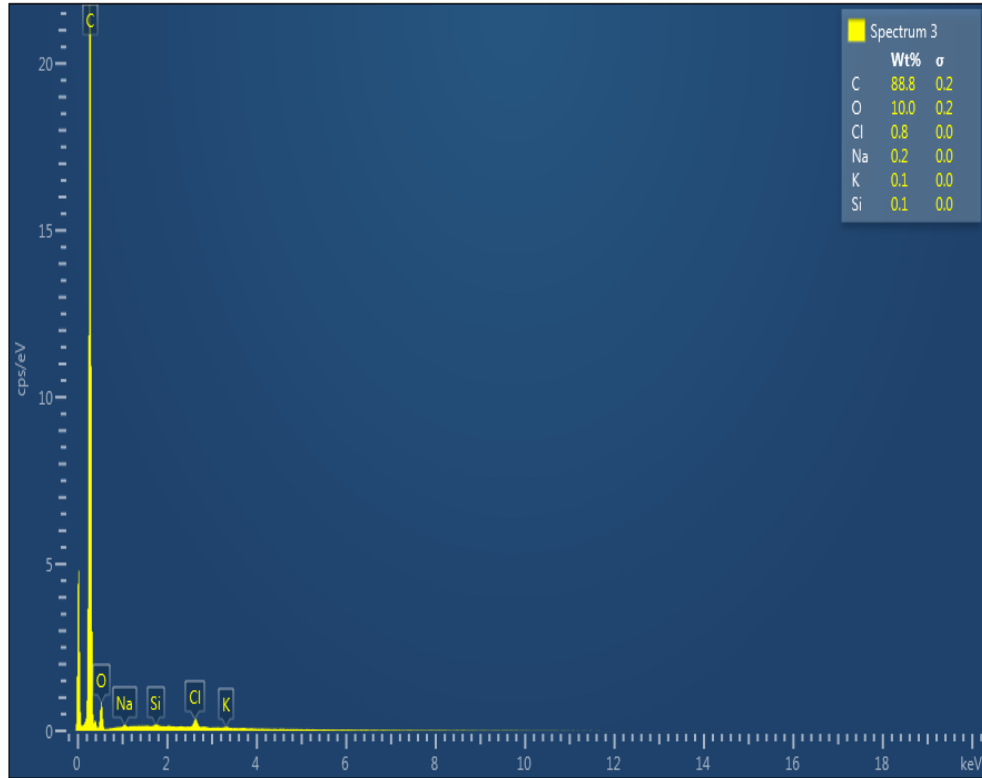
Şekil 4.6.750°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait a) Elektron görüntüsü b) EDS haritası

Balık pulu katalizör 750°C’deki karbonizasyon sonrası SEM görüntüleri Balık pulu katalizörün karbonizasyon sonrası EDS haritası incelendiğinde, asidik modifikasyona atfedilen oksijen içeren fonksiyonel gruplar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. 750°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl elementlerinin EDS görüntüleri

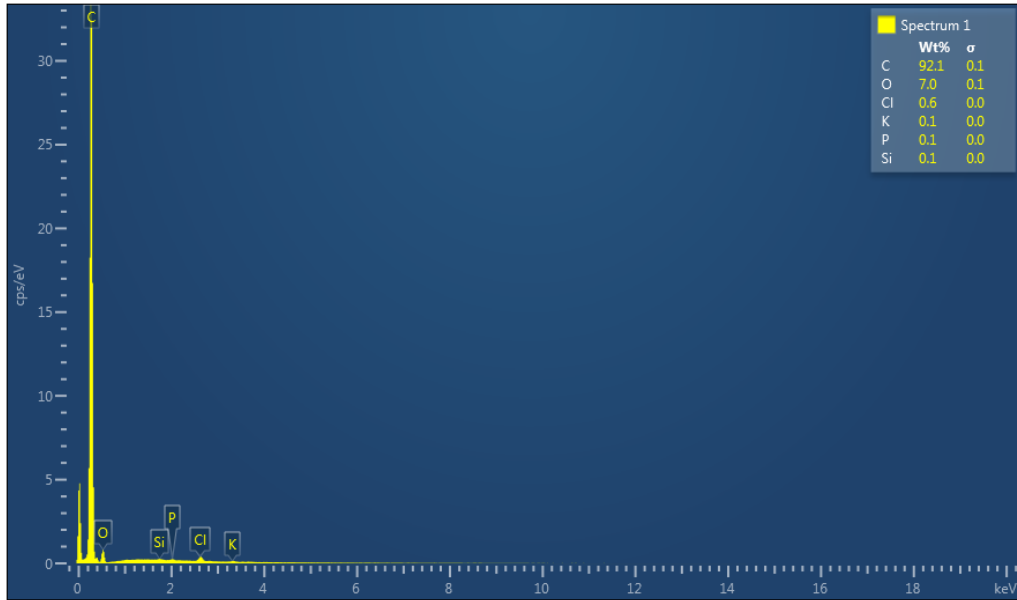
750°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl elementlerinin EDS haritalama görüntüleri şekil 4.7’te verilmiştir. C, O ve Cl elementleri yüzeye eşit olarak yerleştirilmiştir. Elde edilen karbon nano tabakanın, jelleşme ve KOH’in çoklu amino asidinden gelen oksijen atomlarını içerdiğini göstermektedir.



Şekil 4.8. 750 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.

Tablo 4 1.750 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları

Element	Wt%
<b>C</b>	88,79
<b>O</b>	10,00
<b>Na</b>	0,17
<b>Si</b>	0,11
<b>Cl</b>	0,79
<b>K</b>	0,15
<b>Total:</b>	100,00



Şekil 4.9. 750 °C'de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.

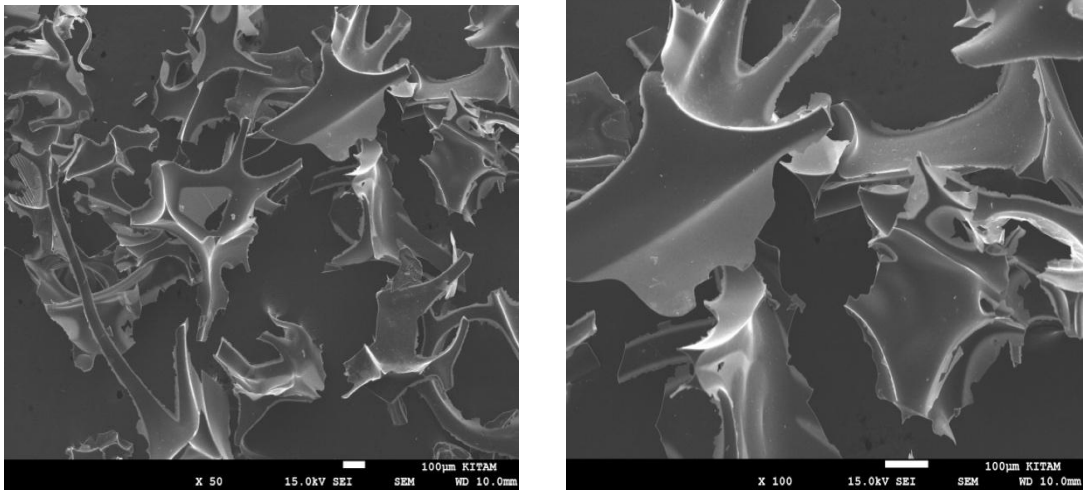
Şekil 4.9'da 750 °C'de sentezlenmiş katalizöre ait EDS analizini içermektedir. EDS analizi incelendiğinde sentezlenen katalizörünün yüksek oranda karbon içerdiği görülmektedir.

Tablo 4 2. 750 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları

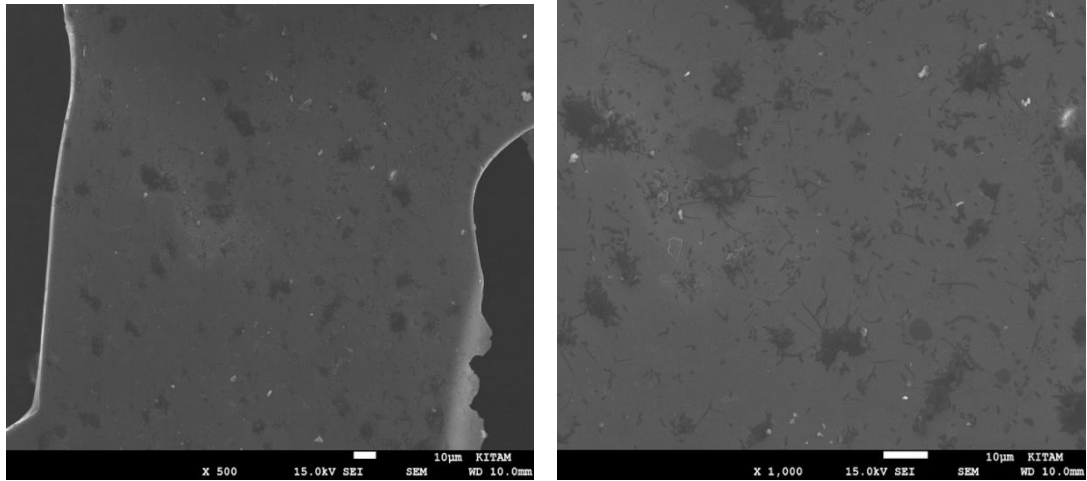
Element	Wt%
<b>C</b>	92,05
<b>O</b>	7,02
<b>Si</b>	0,07

<b>P</b>	0,12
<b>Cl</b>	0,60
<b>K</b>	0,14
<b>Total:</b>	100,00

800°C'deki sentezlenen katalizörün SEM görüntüleri şekil 4.10'da sunulmuştur. Jelatin türevli karbon nano tabakalarda çok sayıda gözenek ve kusur oluşturduğu görülmüştür.

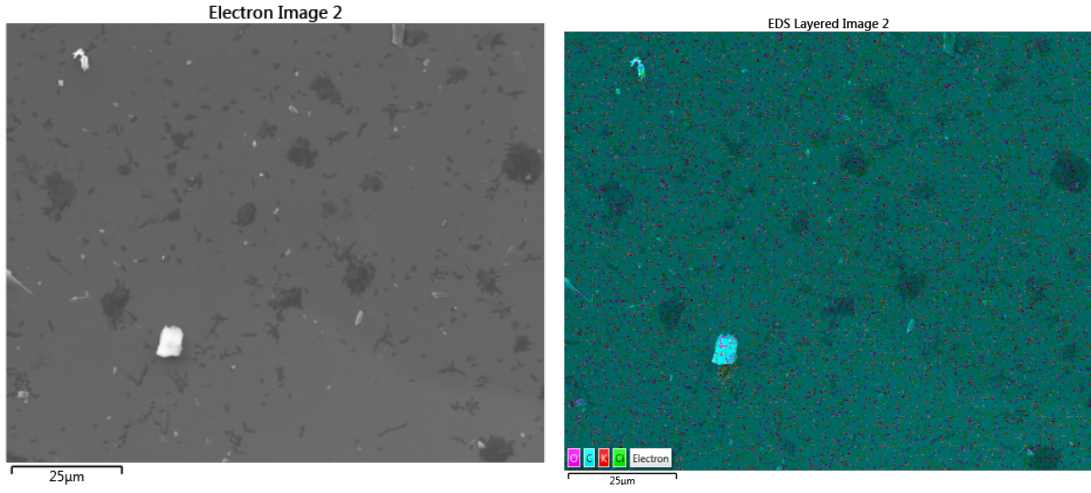


Şekil 4.10.800°C'de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütme SEM görüntüleri

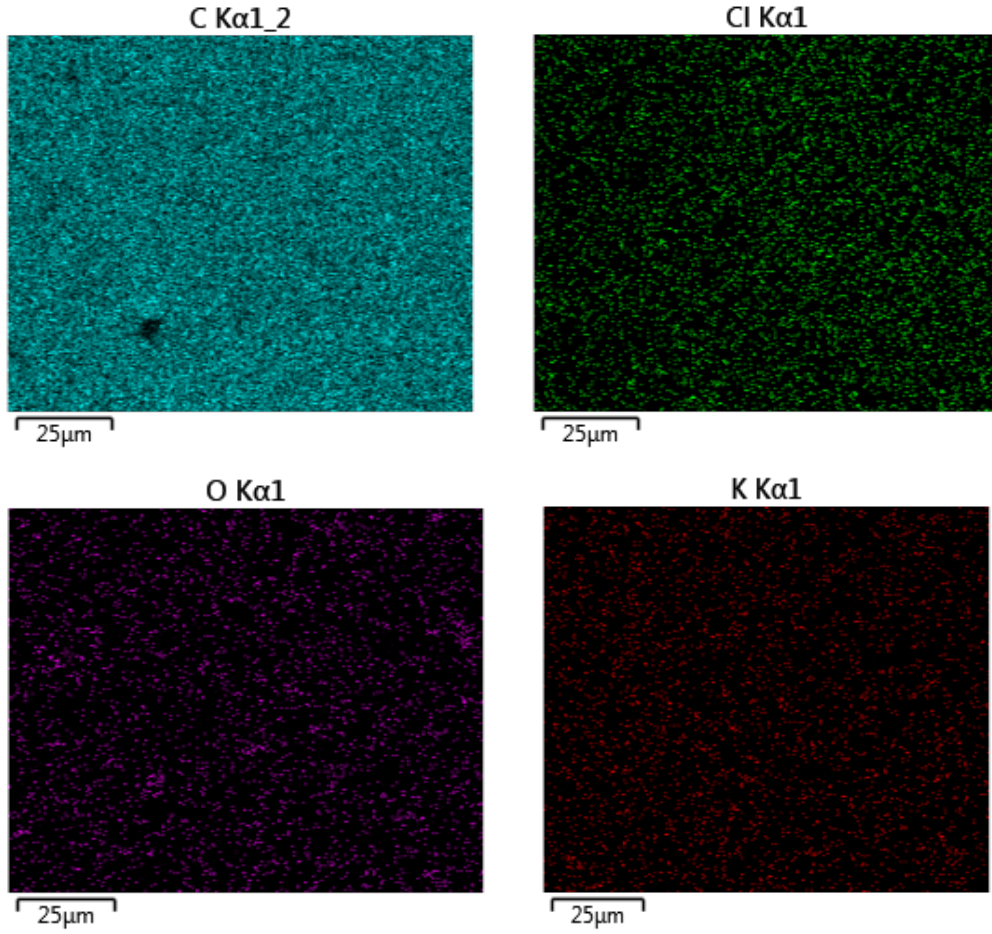


Şekil 4.11. 800°C'de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütme SEM görüntüleri

BPK numunesinin karbon miktarının belirlenmesi için EDS tekniğinden yararlanılmıştır. Bunun için haritalama (mapping) yapılmıştır. BPK için yapılan haritalama görüntüleri Şekil 4.12-4.13'te verilmiştir.



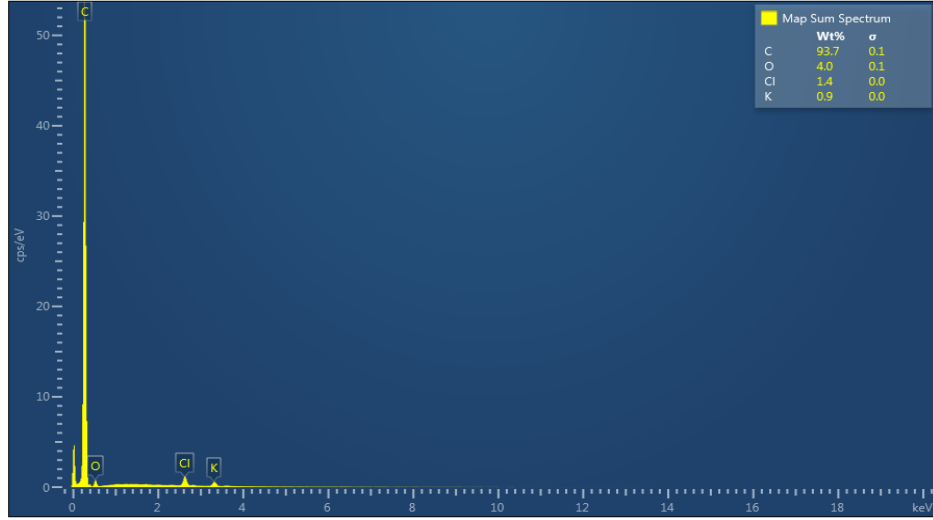
Şekil 4.12. 800°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait a) Elektron görüntüsü b) EDS katmanı



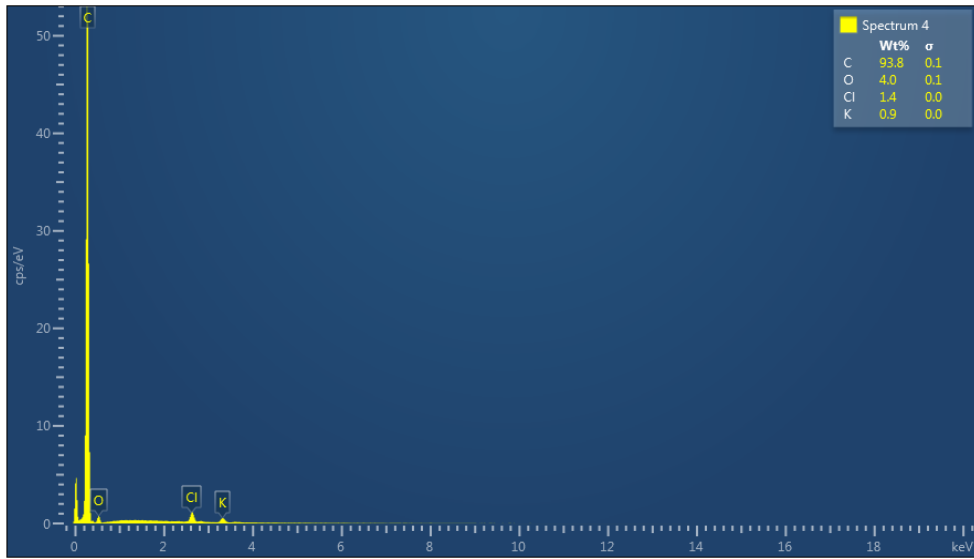
Şekil 4.13.800°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl elementlerinin EDS görüntüleri

BPK’ nin enerji-dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) haritalama görüntüleri şekil 4.13’te verilmiştir. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen katalizörün EDX haritası incelendiğinde %93,7 C elementi görülmüştür. BPK’nin SiO<sub>2</sub> ile

yıkınması sonucu başarıyla sonuçlanmıştır. EDS haritalama görüntülerinde Si elementi görülmemiştir.



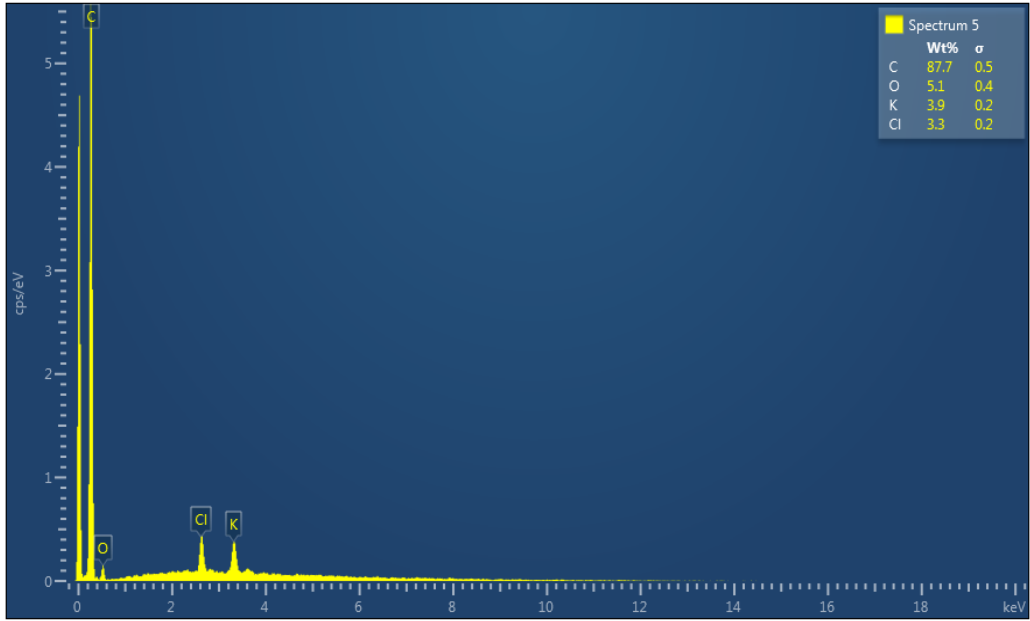
Şekil 4.14. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası



Şekil 4.15. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası

Tablo 4 3. 800 °C’deki EDS elementel analiz sonuçları

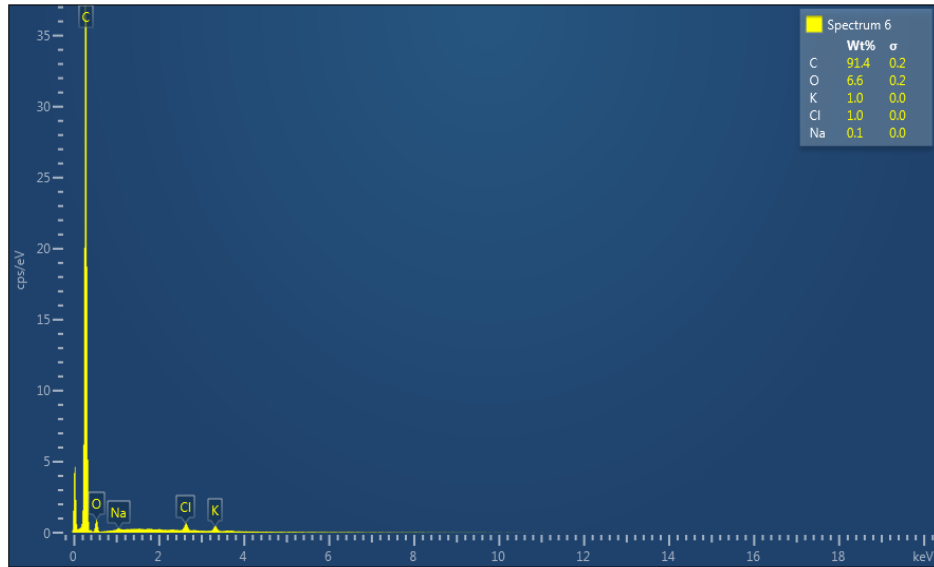
Element	Wt%
C	93,81
O	3,98
Cl	1,35
K	0,85
<b>Total:</b>	<b>100,00</b>



Şekil 4.16. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası

Tablo 4 4.800 °C’deki EDS elementel analiz sonuçları

Element	Wt%
C	87,73
O	5,09
Cl	3,29
K	3,89
<b>Total:</b>	<b>100,00</b>



Şekil 4.17. 800 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.

Tablo 4 5.800 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları

Element	Wt%
C	91,38
O	6,57
Na	0,13
Cl	0,96
K	0,96
<b>Total:</b>	<b>100,00</b>

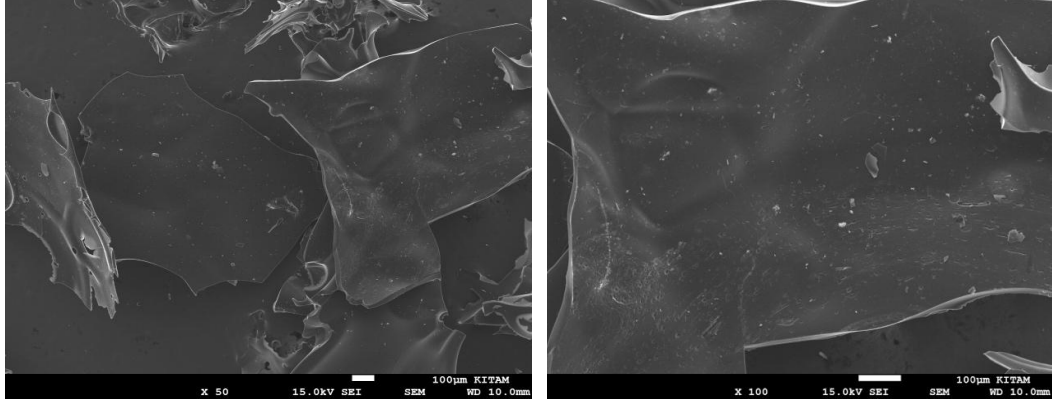


Şekil 4.18. 800 °C'de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.

800°C'de sentezlenen BPK katalizörünün C elementinin EDS haritalama görüntüleri şekil 4.18'de verilmiştir. C elementi %92,6 olarak gözlenmiştir. Yüzeyde çok az miktarda Si elementine rastlanmıştır. EDX haritası incelendiğinde amino asitten gelen oksijen atomları %6,7 olarak gözlenmiştir.

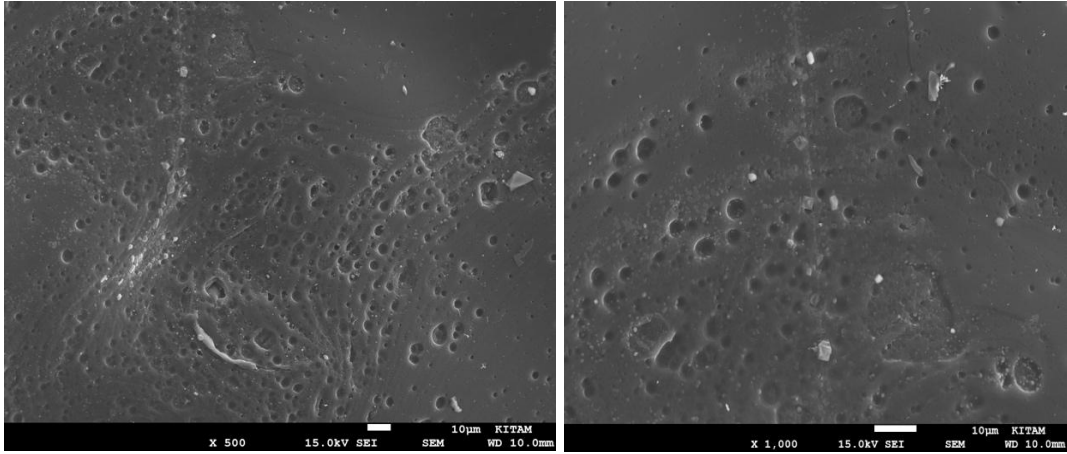
Tablo 4 6. 800 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları

Element	Wt%
C	92,58
O	6,66
Si	0,09
Cl	0,57
K	0,11



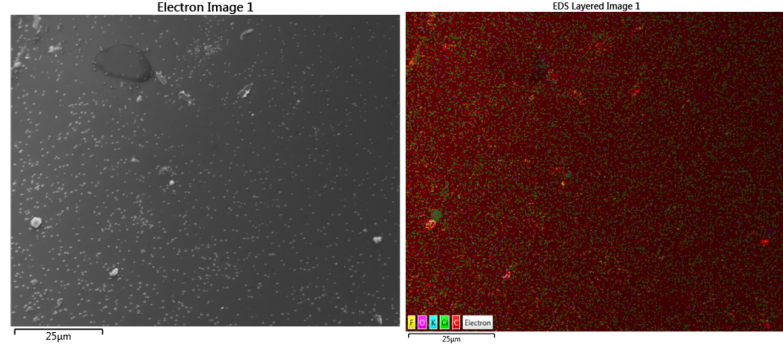
Şekil 4.19. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelerde SEM görüntüleri

Sentezlenen BPK’nin SEM görüntüleri Şekil 4.19’da verilmiştir. BPK yapısı jelatin yapıda oluşmuştur.

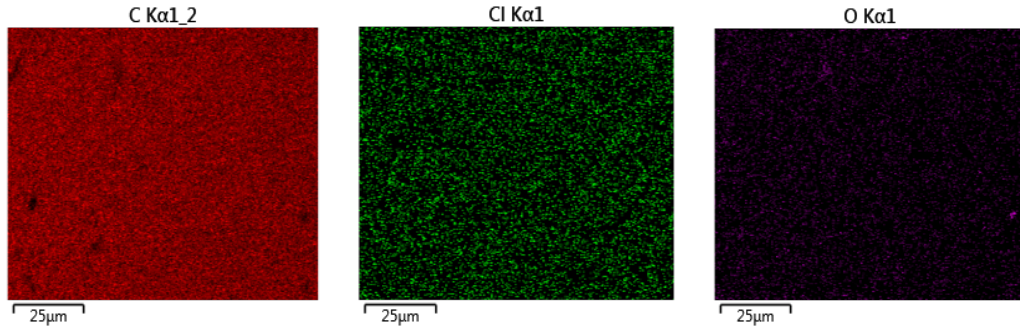


Şekil 4.20. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelerde SEM görüntüleri

850°C’de sentezlenen BPK yapıları homojen olarak oluşmuştur. EDS sonuçları şekil 4.20’de verilmiştir. BPK katalizörünün SEM görüntüleri, jelatinin film oluşturma özelliğinden dolayı liyofilizasyondan sonra balık pullarının üzerine jelatinin zengin C, O ve K atomları içeren pul şeklinde kaplandığını açıkça göstermiştir. (Jayaramulu et al., 2018).

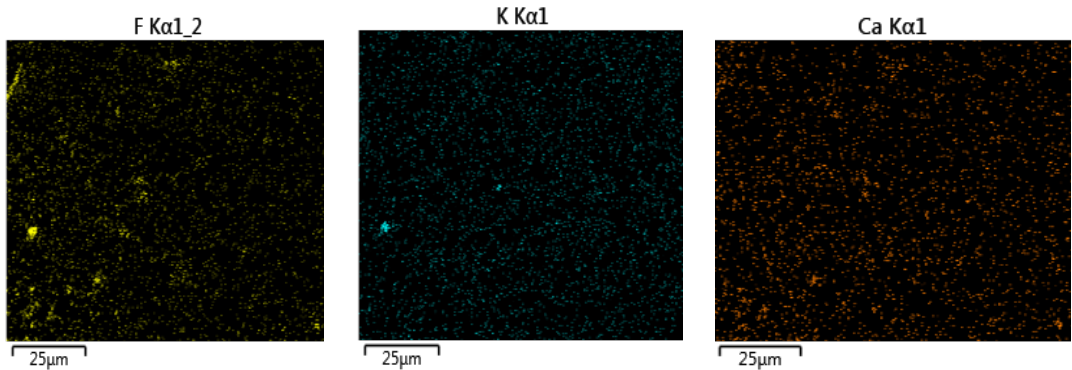


Şekil 4.21. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait a) Elektron görüntüsü b) EDS katmanı

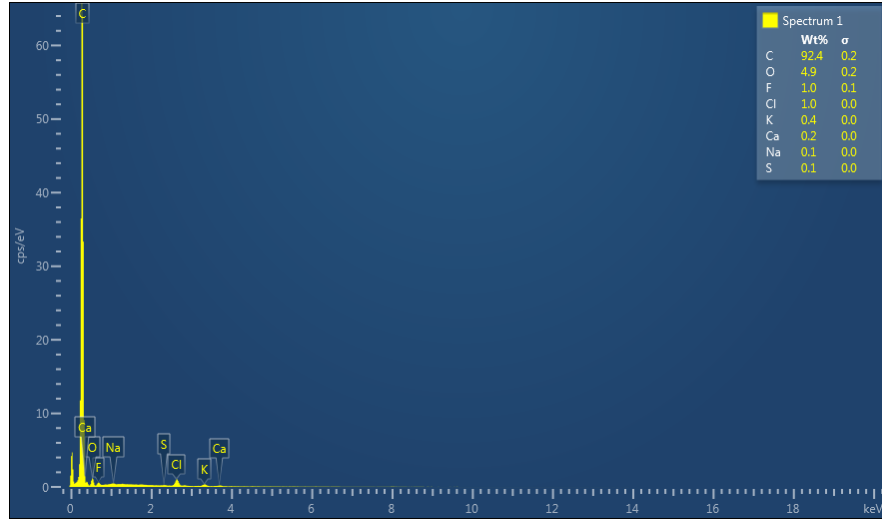


Şekil 4.22. 850°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl elementlerinin EDS görüntüleri

BPK’nin enerji-dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) haritalama görüntüleri şekil 4.21’de verilmiştir. Çok sayıda O atomunun karbon nano tabakalarında görüntülenmiştir. 850°C’de sentezlenen numunelerindeki O atomu gözlenmesi gözenekli yapıların nem tutma özelliklerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Balık pulundan elde edilen jelatin, zengin C, N, O ve S atomlarına sahip çoklu amino asitlerden (örn., glisin, prolin, alanin, metionin, vb.) oluşur. (Pati et al., 2010)



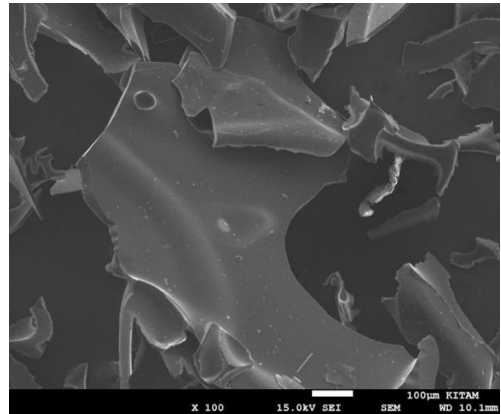
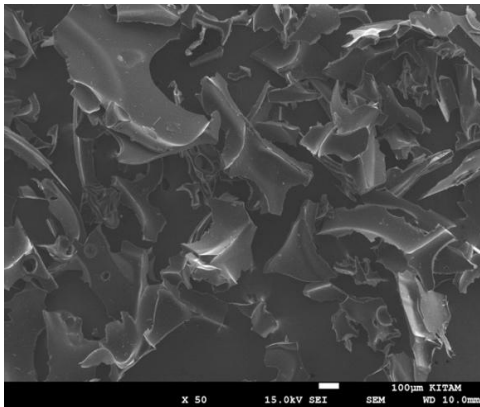
Şekil 4.23.850°C’de sentezlenen BPK katalizörünün F, K, Ca elementlerinin EDS görüntüleri



Şekil 4.24. 850 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.

Tablo 4 7.850 °C’deki EDS elementel analiz sonuçları

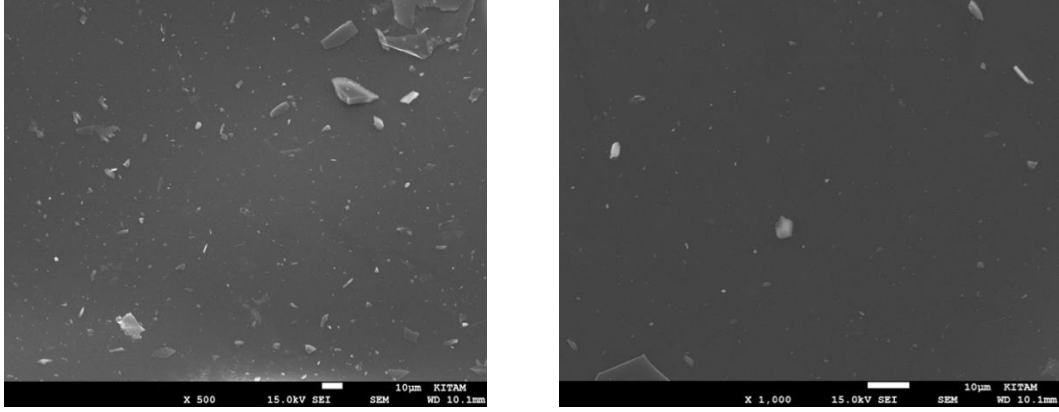
Element	Wt%
C	92,44
O	4,89
F	1,00
S	0,06
K	0,36
Cl	0,97
Na	0,09
Ca	0,18
<b>Total:</b>	<b>100,00</b>



Şekil 4.25.1000°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelerde SEM görüntüleri

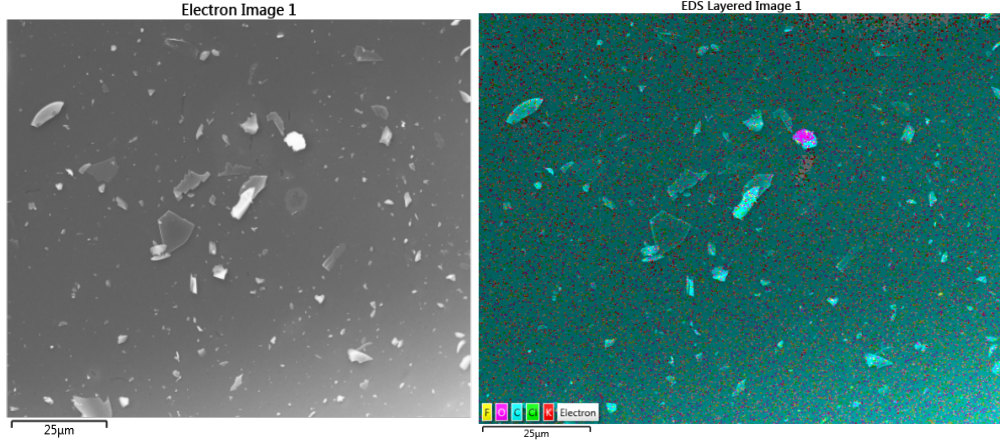
1000°C’deki sentezlenen balık pulu katalizörün farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri şekil 4.25’te sunulmuştur. BPK SEM görüntüleri incelendiğinde KOH,

liyofilizasyon işlemi sırasında tabaka benzeri kristal oluşmuştur. Balık pulundan sentezlenen karbonda jelatin tabakası olduğu gözlenmiştir. KOH kristal yüzey üzerine kaplanmıştır. Tüm BPK numuneleri farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip 2 boyutlu nano tabaka yapıdadır.



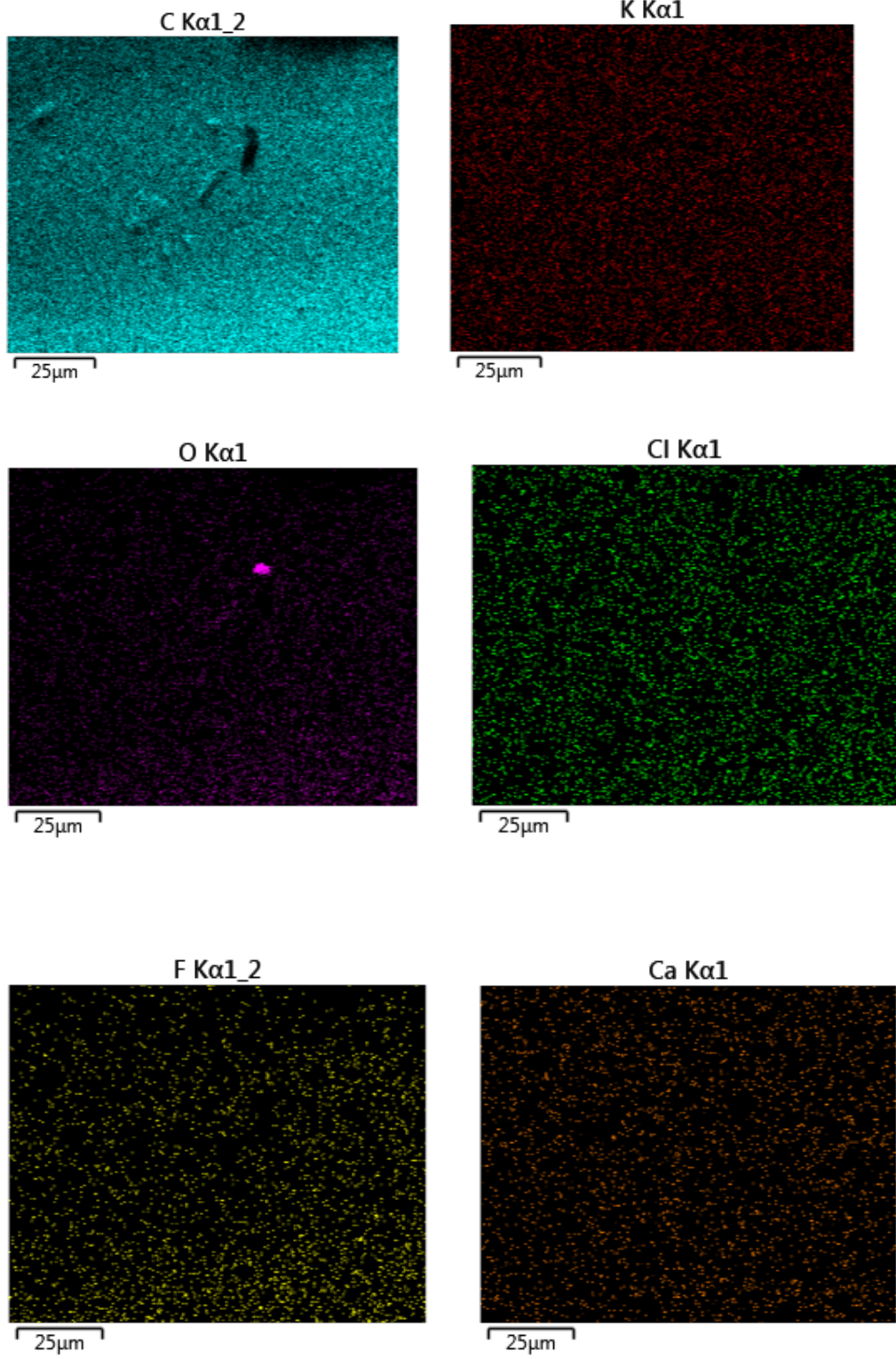
Şekil 4.26.1000°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait farklı büyütmelerde SEM görüntüleri

1000°C’deki sentezlenen balık pulu katalizörün farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri şekil 4.26’da sunulmuştur. Yüksek sıcaklıkta karbonizasyon sırasında, jelatin tabakası KOH aktivasyonu ile gözenekli karbon nano-tabaka elde edilmiştir.



Şekil 4.27. 1000°C’de sentezlenen BPK katalizörüne ait a) Elektron görüntüsü b) EDS katmanı

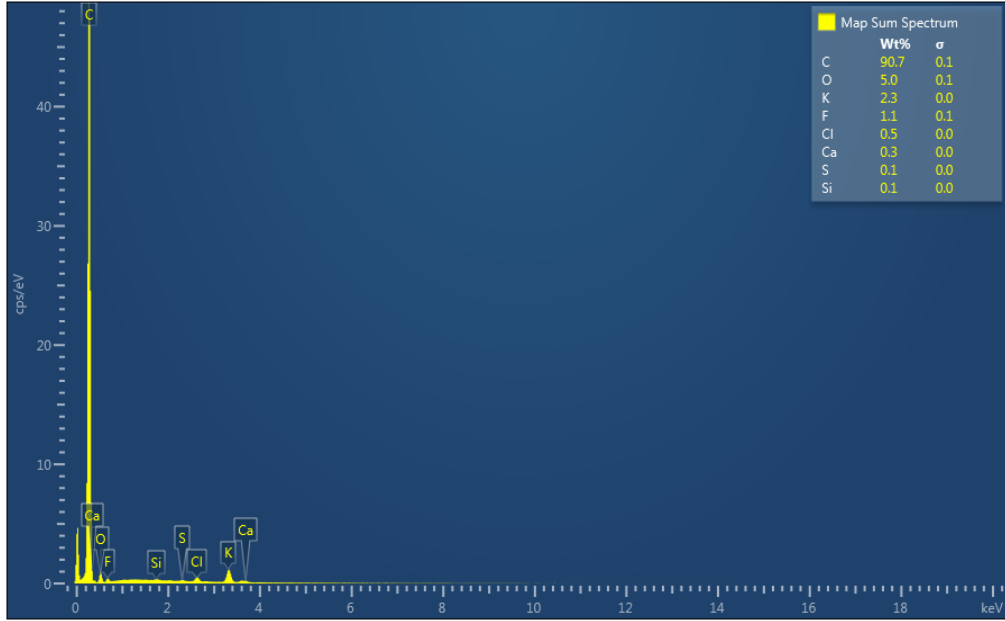
1000°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl, F, K elementlerinin EDS haritalama görüntüleri şekil 4.27’te verilmiştir.



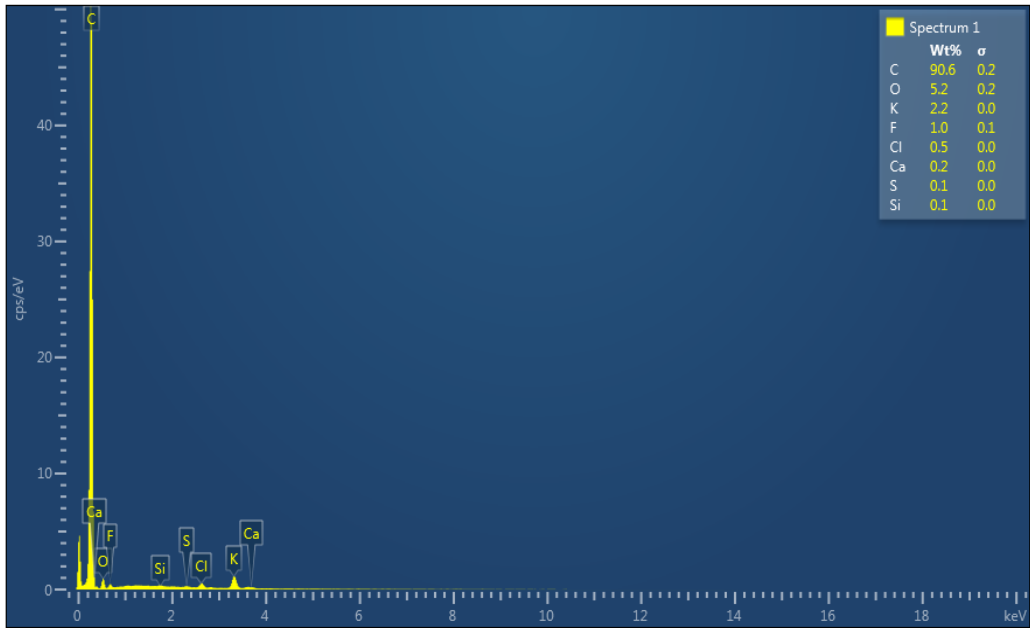
Şekil 4.28. 1000°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl, K, F, Ca elementlerinin EDS görüntüleri

1000°C’de sentezlenen BPK katalizörünün C, O, Cl, F, K elementlerinin EDS haritalama görüntüleri şekil 4.26’da verilmiştir. C, O ve Cl elementleri yüzeye eşit

olarak yerleştirilmiştir. Elde edilen karbon nano tabakanın, jelleşme ve KOH'in çoklu amino asidinden gelen oksijen atomlarını içerdiğini göstermektedir.



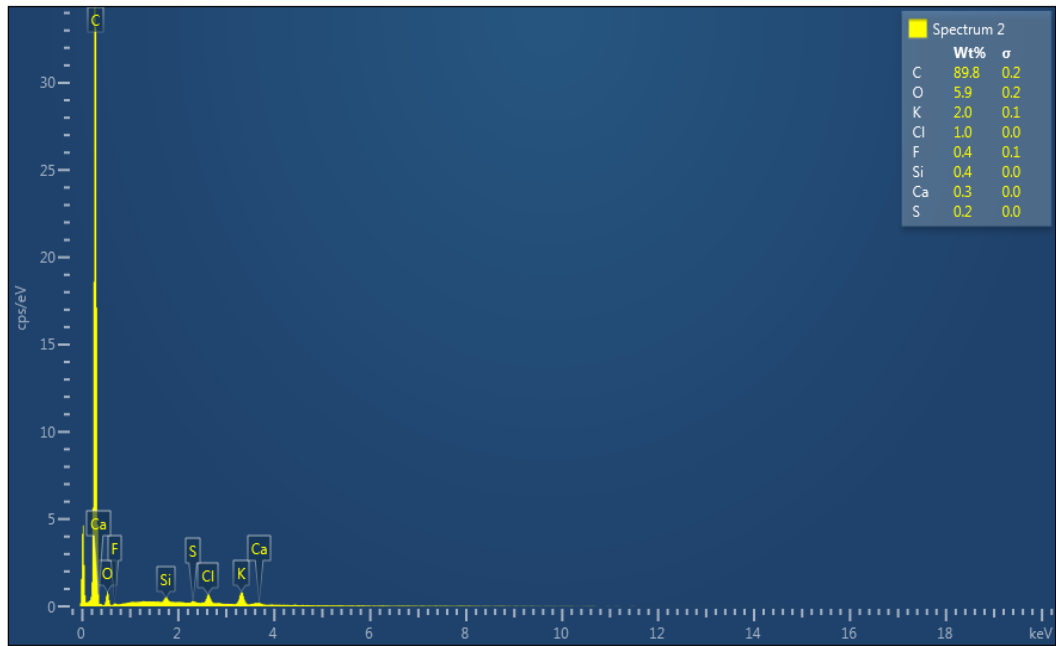
Şekil 4.29. 1000 °C'de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.



Şekil 4.30. 1000 °C'de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.

Tablo 4 8.1000 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları

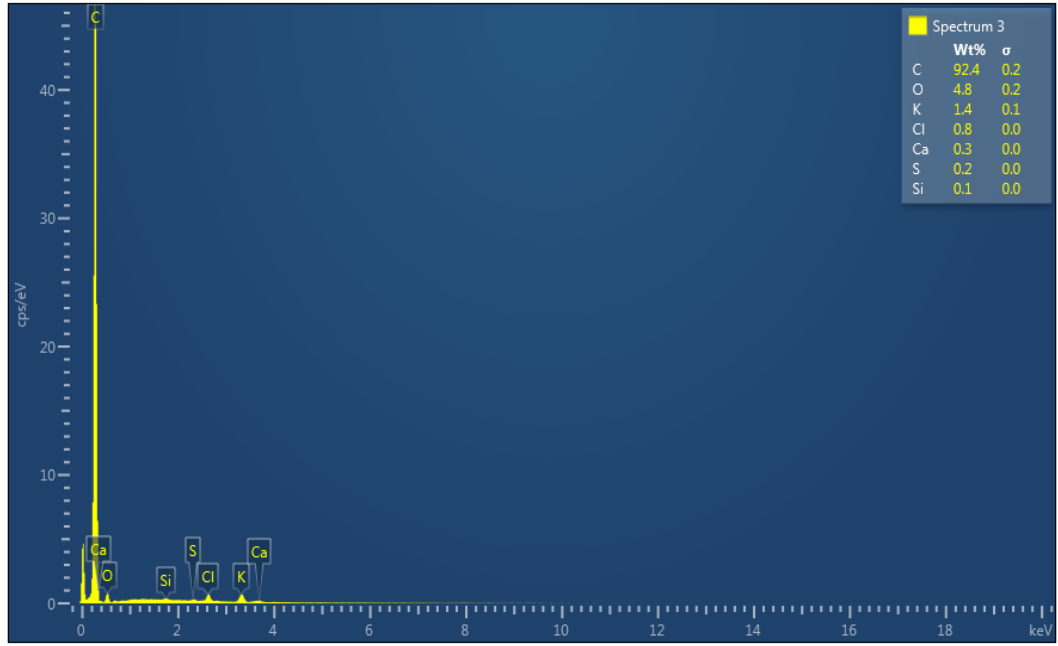
Element	Wt%
<b>C</b>	90,59
<b>O</b>	5,23
<b>F</b>	1,04
<b>Si</b>	0,07
<b>S</b>	0,11
<b>Cl</b>	0,55
<b>K</b>	2,18
<b>Ca</b>	0,24
<b>Total:</b>	100,00



Şekil 4.31. 1000 °C'de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.

Tablo 4 9.1000 °C'deki EDS elementel analiz sonuçları

Element	Wt%
<b>C</b>	89,81
<b>O</b>	5,93
<b>F</b>	0,43
<b>Si</b>	0,36
<b>S</b>	0,18
<b>Cl</b>	0,99
<b>K</b>	1,99
<b>Ca</b>	0,31
<b>Total:</b>	100,00



Şekil 4.32. 1000 °C’de karbonizasyon sonucu sentezlenen BPK EDS datası.

Tablo 4 10. 1000 °C’deki EDS elementel analiz sonuçları

Element	Wt%
C	92,43
O	4,80
S	0,15
Si	0,10
K	1,38
Cl	0,84
Ca	0,29
<b>Total:</b>	<b>100,00</b>

#### 4.1.3. X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF)

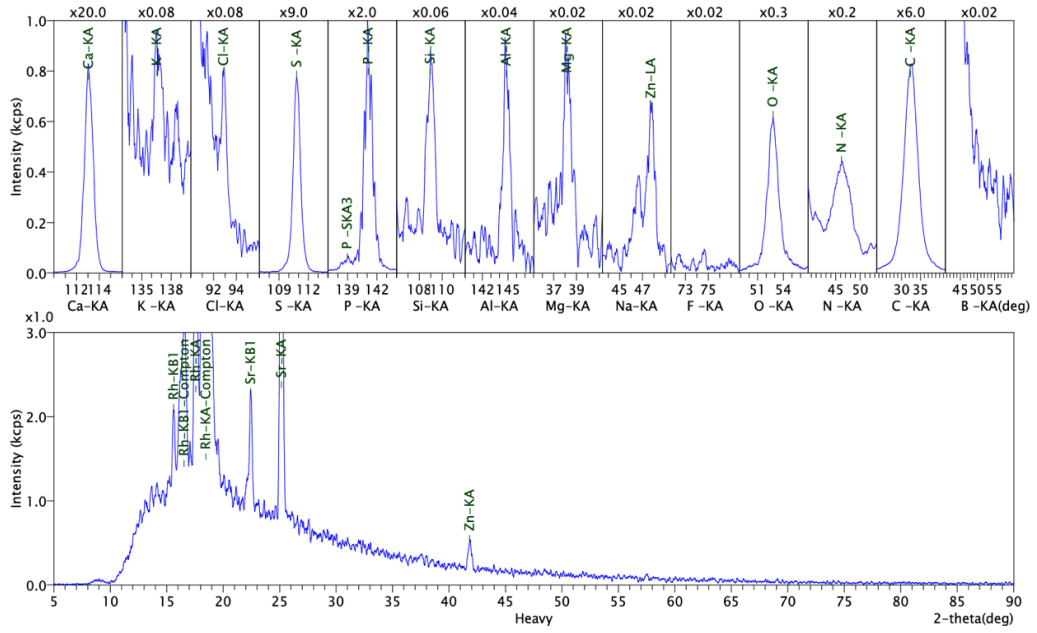
İşlem öncesi saf balık pulunun X-Işını Floresans Spektroskopisi (XRF), elementel kompozisyonu analiz edilmiştir.

Tablo 4 11.Saf sazan balığı pulu XRF elementel analiz sonuçları

No.	Component	Result	Unit	Det.limit	El.line	Intensity	w/o normal
1	C	46.1	wt%	0.21308	C -KA	4.7998	41.0720
2	O	26.2	wt%	0.76894	O -KA	0.1761	23.3259
3	N	25.5	wt%	4.13554	N -KA	0.0587	22.7333
4	Ca	1.25	wt%	0.00278	Ca-KA	15.8990	1.1174
5	S	0.692	wt%	0.00209	S -KA	6.8752	0.6158
6	P	0.147	wt%	0.00130	P -KA	1.7479	0.1310
7	Sr	0.0248	wt%	0.00050	Sr-KA	7.4213	0.0221
8	Mg	0.0104	wt%	0.00264	Mg-KA	0.0128	0.0092
9	Si	0.0102	wt%	0.00243	Si-KA	0.0407	0.0090
10	Al	0.0078	wt%	0.00180	Al-KA	0.0286	0.0070
11	Zn	0.0037	wt%	0.00086	Zn-KA	0.3396	0.0033

Tablo 4 12.Saf sazan balığı pulu XRF elementel analiz sonuçları

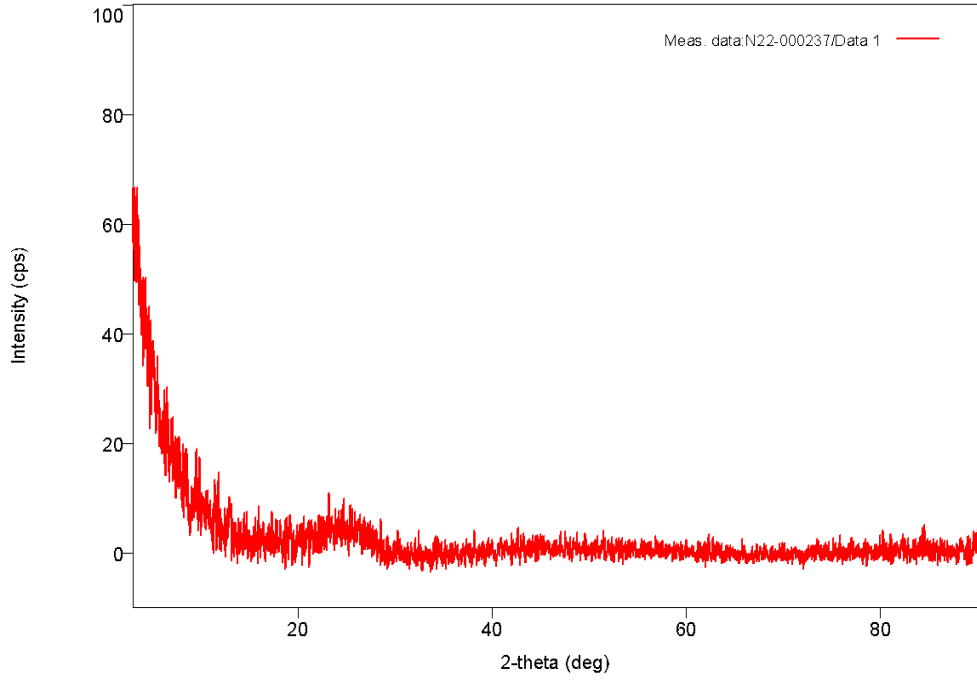
Spectrum	No.	Peak position (deg)	Peak int. (kcps)	BG int. (kcps)	Element line
Heavy	1	15.605	0.851	1.228	Rh-KB1
	2	16.268	1.189	1.342	
	3	16.533	1.895	1.388	Rh-KB1-Compton
	4	17.566	5.453	1.750	Rh-KA
	5	18.474	7.419	2.632	Rh-KA-Compton
	6	22.428	1.318	0.989	Sr-KB1
	7	25.145	7.421	0.679	Sr-KA
	8	41.820	0.340	0.185	Zn-KA
Ca-KA	1	113.067	15.899	0.097	Ca-KA
K -KA	1	136.590	0.032	0.036	K -KA
Cl-KA	1	92.890	0.037	0.028	Cl-KA
S -KA	1	110.812	6.875	0.051	S -KA
P -KA	1	138.994	0.087	0.027	P -SKA3
	2	141.143	1.748	0.030	P -KA
Si-KA	1	108.992	0.041	0.011	Si-KA
Al-KA	1	144.809	0.029	0.004	Al-KA
Mg-KA	1	38.168	0.013	0.002	Mg-KA
Na-KA	1	47.734	0.012	0.001	Zn-LA
O -KA	1	52.771	0.176	0.005	O -KA
N -KA	1	46.217	0.059	0.029	N -KA
C -KA	1	32.389	4.800	0.099	C -KA



Şekil 4.33. Saf sazan balığı pulu XRF analiz sonuçları

#### 4.1.4. X-Işın Kırınım Yöntemi (XRD)

Balık pulu katalizörün 1000°C'deki karbonizasyon sonrası kristal yapılarındaki değişim XRD ile tanımlanmıştır. Katalizörün 1000°C'deki XRD sonuçları şekil 4.34'te verilmiştir. Katalizörün pik yoğunlukları incelendiğinde önemli difraksiyon pikinin 20-30° aralığında olduğu tespit edilmiştir. 20-30°'da meydana gelen yaklaşık 24°'de yer alan geniş ve zayıf pikler kırınım (0 0 2) düzlemine denk gelmektedir. Sentezlenen katalizörde XRD desenleri incelendiğinde pik pozisyonlarında gözle görülür bir değişiklik tespit edilememiştir. Düşük açılı saçılmadaki yüksek yoğunluk, baskın derecede mikro/mezo gözeneklerin varlığını doğrulamaktadır. Yaklaşık 40°'de yer alan göze çarpmayan (1 0 0) pikler BPK için görülmüştür. Pik yoğunluklarında herhangi bir artış olmamıştır. Bu da BPK'nin düzensiz yapılarda olduğunu, ancak küçük kristal bölgelere sahip olduğunu gösterir (Niu et al., 2018). 1000 °C'de sentezlenen katalizör için hidroksiapatit tepe noktaları küçük ve dardır. BPK' nin ağırlıklı olarak gözenekli veya boşluklu rastgele yönlendirilmiş karbon katmanlarından oluştuğunu göstermektedir.



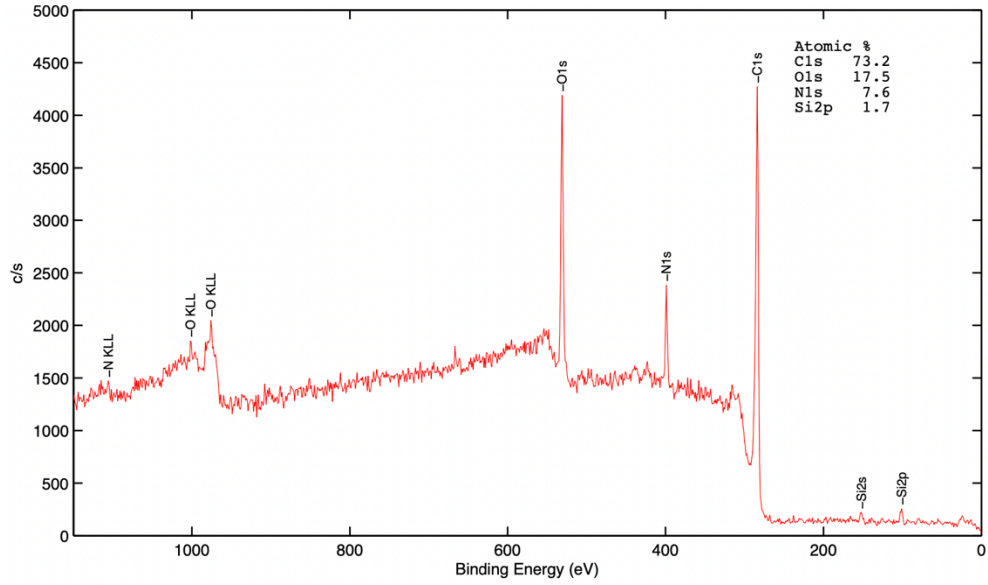
Şekil 4.34. Sentezlenen katalizörün 1000°C'deki XRD deseni

#### 4.1.5. X-Işını Fotoelektron Spektrometresi (XPS)

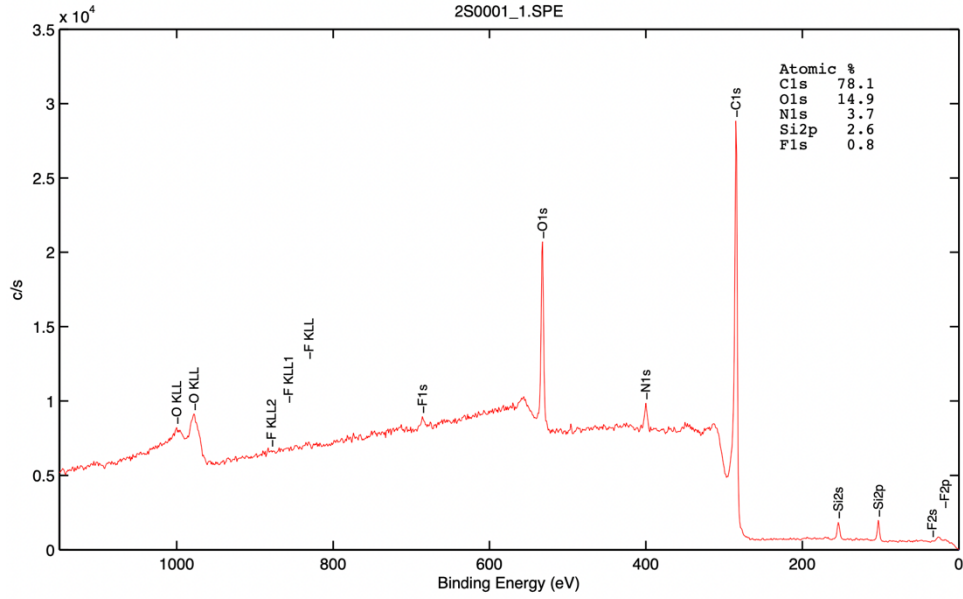
X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) analizi, 850°C ve 1000°C sentezlenen BPK numunesi için yüzey element bileşimini ve kimyasal durumu analiz etmek için gerçekleştirildi. Şekil 4.35- 4.36' da gösterildiği gibi, BPK için, XPS spektrumlarında C, O ve N türlerini gösterdi. Karbonizasyon sıcaklığı arttıkça yüzeydeki heteroatom içeriğinin (O ve N) azalmıştır. BPK için C1s, O1s ve N1s'nin yüksek çözünürlüklü XPS spektrumları, yüzey kimyasal durumlarını belirlemek için analiz edildi. Şekil 4.32'de gösterildiği gibi, çok sayıda sp<sup>3</sup>-bağlı ve heteroatoma bağlı C atomuna sahiptir, bu da BPK için yüksek kusur yoğunluklarını gösterir (Zou et al., 2017). C1s, N1s ve O1s'ye karşılık gelen piklerin, yapısal olarak karbon matrisine dahil edilmiş azot atomlarının varlığını gösterdiği gözlemlenebilir. Pik ataması ve element bileşimi Tablo 4.13'te özetlenmiştir.

Tablo 4.13. N1s, C1s ve O1s XPS verileri

	Pik	Bağlanma enerjisi (eV)	Atom %
800°C	N1s	400	7,6
	O1s	400-600	17,5
	C1s	285	73,2
1000°C	N1s	399	3,7
	O1s	400-600	14,9
	C1s	287	78,1



Şekil 4.35. 850°C'de sentezlenen BPK katalizörünün XPS analizi



Şekil 4.36. 1000°C’de sentezlenen BPK katalizörünün XPS analizi

BPK katalizörü için O 1s spektrumu tepe noktası (400-600 eV) olarak bulunmuştur. (Liu et al., 2013). Karbon malzemelerin iyi ıslanabilirliği için gerekli olan C=O içeriğinin düşük termostabilitesi nedeniyle karbonizasyon sıcaklığı 700 °C'nin üzerinde olduğu için C=O içeriğinin azaldığı belirtilmektedir (Figueiredo et al., 1999). O atomlarının yanı sıra, farklı kimyasal durumlara sahip N atomları da katalizörün ıslanabilirliğinin artırılmasında önemli rol oynamıştır. Piridinik-N (398,4 eV), pirrolik-N (399,9 eV) görülmüştür (Zhao et al., 2015). N katkılı karbon malzemelerin ıslanabilirliği için önemlidir.

#### 4.1.6. Azot Adsorpsiyonu (BET)

Balık pulu katalizörün 750 °C, 800 °C, 850 °C, 1000°C’deki karbonizasyon sonrası N<sub>2</sub> adsorpsiyon/desorpsiyon izotermi mikro gözenek boyutu dağılımı şekil 4.37-40’da sunulmuştur. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen katalizörün toplam yüzey alan değerleri 16.268-19.881 m<sup>2</sup>/g aralığında olduğu görülmektedir. KOH oranı arttırılırdı daha yüksek yüzey alanı elde edilebilirdi.

Yüzey alanını arttıran mezo gözeneklerin oluşmadığı ve mikro gözeneklere sahip olduğu görülmektedir. KOH’in etkisinin yetersiz kalması karbonizasyon sonucu yapının sağlamlaşması ve düzenlenmesinin oldukça düzenli geliştiği sonucu olabilir.

Tüm BPK numuneleri için N<sub>2</sub> adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi, mikro gözenekli yapılarla ilişkili tip I izoterm özellikleri sergiler KC’lerin oynadığı aktivatör rollerini doğruladı. Yüksek sıcaklıkta kademeli olarak artan kimyasal aktivasyon

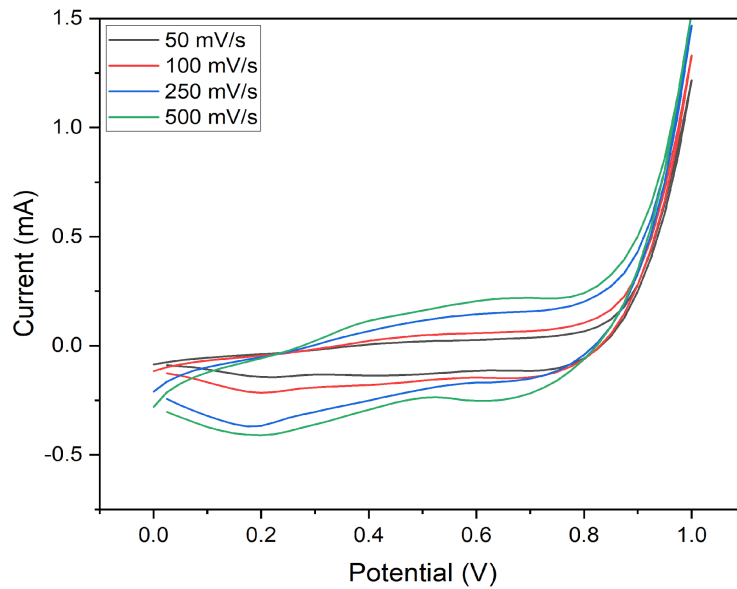
nedeniyle karbonizasyon sıcaklığı arttıkça her BPK numunesi için spesifik yüzey alanı ve gözenek hacmi arttı (He et al., 2017).

Tablo 4 14. BET analizi sonuçları

Sıcaklık	Yüzey alanı	$V_{mikro}$ (cm <sup>3</sup> /g)
750°C	16,268 m <sup>2</sup> /g	0,1708
800°C	19,207 m <sup>2</sup> /g	3,0901
850°C	6,653 m <sup>2</sup> /g	1,5245
1000°C	19,881 m <sup>2</sup> /g	0,5380

#### 4.1.7. Çevrimsel Voltametri (CV) Analiz Sonuçları

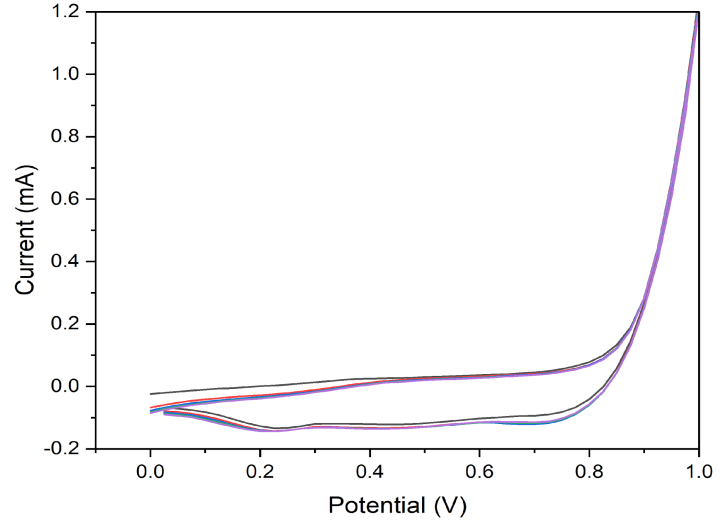
Sentezlenen balık pulu katalizörlerinin elektrokimyasal aktiviteleri çevrimsel voltametri analizi ile incelenmiştir. Tüm çevrimsel voltametri deneyleri, 0.005M Br<sub>2</sub> ve 0.010M HBr içeren bir elektrolit içinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.41, brom oksidasyonu ve indirgeme reaksiyonu için 10-50 mV/s tarama hızı aralığında 0-1.0 V potansiyel bölgesindeki BPK'nin çevrimsel voltaqramlarının göstermektedir.



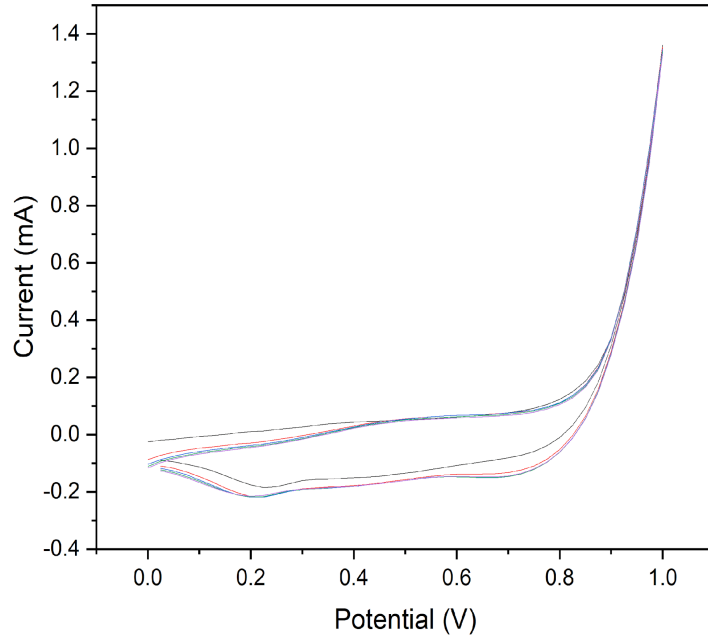
Şekil 4.37. BPK'nin farklı tarama hızlarındaki çevrimsel voltaqramları

Tarama hızının artması elektrokimyasal polarizasyonun şiddetlenmesine yol açabileceğinden, tepe potansiyeli ayrımı tarama hızının artmasıyla artar. BPK tepe şeklinde pik görülmesi için daha yüksek tarama hızında iyi olabilir. Bu da BPK'nin iyi

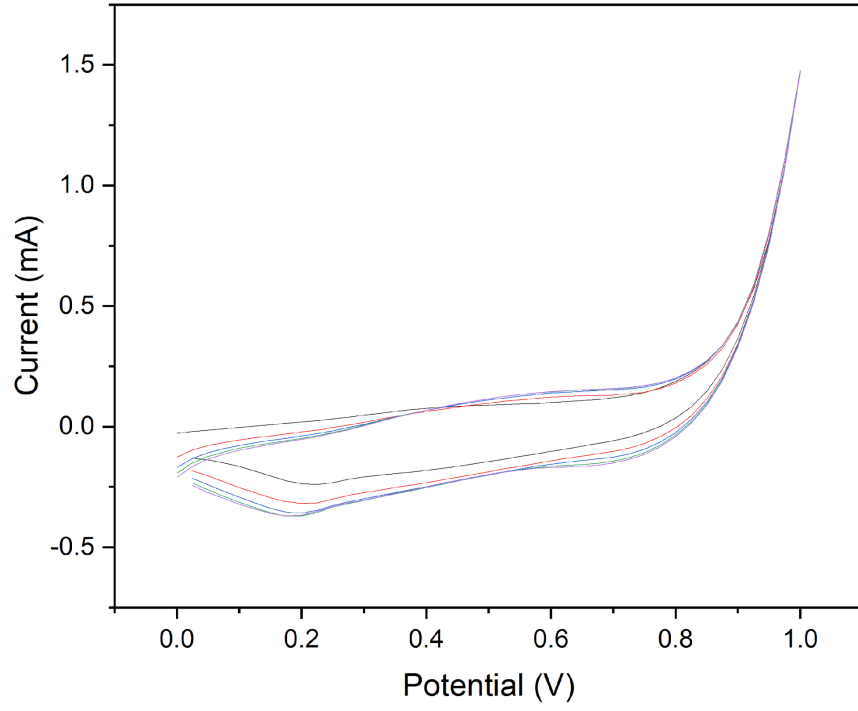
bir elektrokimyasal kararlılığa sahip olduğunu gösterir. BPK'nin daha aktif bölgelere, geniş yüzey alanına ve iyi ıslanabilirliğe sahip olması, brom iyonu difüzyonunu ve elektrokimyasal reaksiyonu desteklemesidir.



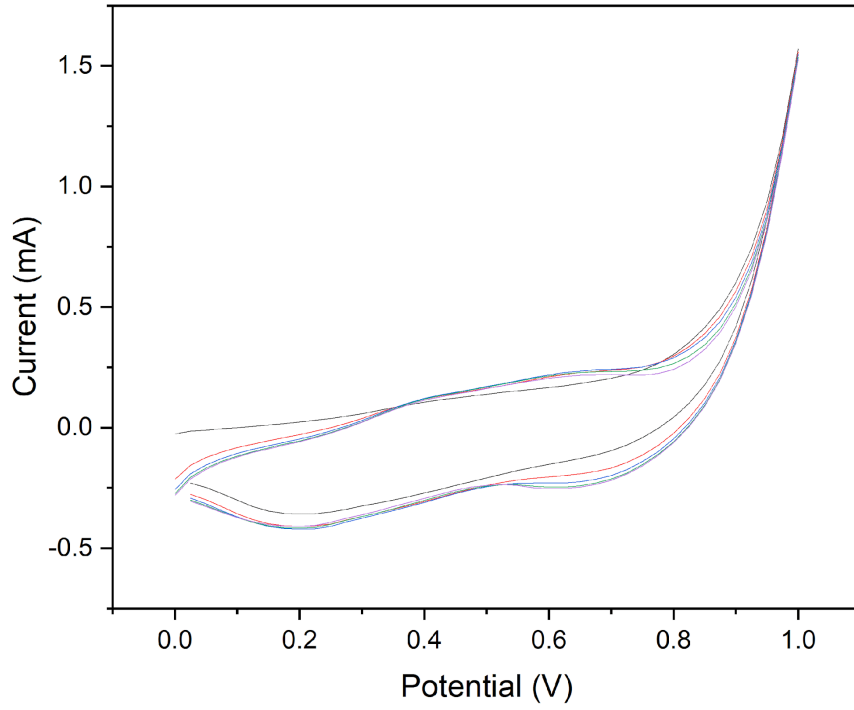
Şekil 4.38. BPK'nin tekrarlanan çevrimsel voltajları (50 mV/s)



Şekil 4.39. BPK'nin tekrarlanan çevrimsel voltajları (100 mV/s)



Şekil 4.40. BPK'nin tekrarlanan çevrimsel voltajları (250 mV/s)



Şekil 4.41. BPK'nin tekrarlanan çevrimsel voltajları (500 mV/s)

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında hidrojen/brom akış pillerinde katot kinetiğinin iyileştirilmesi dolayısıyla pil performansının artırılması amacıyla balık pulundan katalizör sentezlenmiştir. Evsel atık balık pulları ve KOH reaktifi basit hidrotermal, liyofilizasyon ve karbonizasyon işlemleriyle sentez işlemi yapıldı. Farklı sıcaklıklarda karbonizasyon sonucu en yüksek yüzey alanı 1000°C'de sentezlenen BPK katalizöründe görülmüştür. 1000°C'de BET spesifik yüzey alanı (19.881 m<sup>2</sup>/g) olarak sonuçlanmıştır. Kimyasal kalıntılar karbonun yüzey alanını azaltabilir. Literatüre göre daha düşük yüzey alanı çıkmıştır. BET spesifik yüzey alanına sahip birçok aktif bölgeye ıslanabilirliğe sahip 2 boyutlu nano tabaka hazırlamak için kullanıldı. Balık pulu süngerimsi azot katkılı gözenekli karbon BPK kolay bir yöntemle sentezlendi ve hidrojen/brom akış pili brom için ana maddesi olarak uygulandı.

Sürekli artan enerji ihtiyacının yanı sıra hızla değişen son teknoloji elektrik ve elektronik pazarlarını karşılamak için enerji depolama sistemleri geliştirilmektedir. Karbon malzemeler, çeşitli süper kapasitör modüllerinde ve hidrojen/brom akış pillerinde kullanılmaktadır. Karbon malzemelerin çoğu, sentetik koşullar altında ve yüksek maliyetlerle fosil yakıt bazlı üretilir. Biyokütle, bolluğu, sürdürülebilirliği, ilgi çekici mikro yapıları ve ucuz fiyatı nedeniyle enerji depolama sisteminde kullanılacak fonksiyonel karbon malzemelerinin üretilmesi için umut verici bir adaydır. Ayrıca, biyokütle kaynaklı karbonların geliştirilmesi akış pillerinde bazı alternatif enerji depolama teknolojilerinin ticarileştirilmesini de mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada doğal ve yenilenebilir biyokütle kaynaklarından balık pulundan karbon malzeme üretilmiştir. Sonuç olarak, yüksek yüzey alanı, gözenek boyutu dağılımı, gözeneklilik, yüzey kimyası ve morfolojisi elektrokimyasal performanslarını artırmak için sentezlendi. Biyokütleden elde edilen karbon yeniden şarj edilebilir piller için zenginleştirilmiş gözenek yapıları, iyon taşıma yollarını kısaltarak pillerin hız performansını arttırabilir. Ancak aşırı miktarda açılan gözenekler başlangıçtaki coulomb verimini düşürür bu da pillerin tersine çevrilebilir kapasitesini azaltır. Heteroatom kaynaklı dış kusurlar ve herhangi bir heteroatom içermeyen içsel kusurlar dahil olmak üzere karbon malzemelerin kusurlu yapıları, kusurlu yapılar elektrokimyasal reaksiyonların enerji bariyerini azaltabileceğinden, elektrokataliz için aktif alanlar olarak hareket edebilir. Biyokütleden türetilen karbon malzemenin mikro

yapıları ve fizikokimyasal özellikleri, diğer pillerde de uygun karbonizasyon-aktivasyon-yüzey modifikasyon işlemleri uygulanarak manipüle edilebilir.

Burada, balık pulundan sentezlenen karbonun enerji depolama cihazlarının gelecekteki gelişimine yardımcı olacak, böylece enerji tüketim yapısını yeniden şekillendirecek ve tüm dünyada daha temiz bir ekonomiye giden yolu açacaktır.

Bu çalışma, balık pulundan elde edilen H<sub>2</sub>/Br<sub>2</sub> çifti için katalizörün, enerji depolama performansını geliştirmek için önemli olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, daha fazla karbon bazlı katalizör materyalinin elde edilmesi için bir referans olarak da sunulabilir.

## KAYNAKLAR

- Alaçakır, F. B. (2001). Ülkemizde elektrik üretimini destekleyen bir çözüm: Güneş pilleri. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 182–185.
- Alotto, P., Guarnieri, M., & Moro, F. (2014). Redox flow batteries for the storage of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 325–335.
- Artkın, F. (2018). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Potansiyel Teknolojileri. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, (4), 285-295.
- Baldwin, R.S. (1987). Electrochemical Performance and Transport Properties of a Nafion Membrane in a Hydrogen-Bromine Cell Environment (No. NASA-TM-89862)
- Bayraç, H. N. (2011). Küresel Rüzgâr Enerjisi Politikaları ve Uygulamaları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30(1), 37-57.
- Bayraç, H. N., & ÖZARSLAN, B. (2018). Biyokütle enerjisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ampirik bir analizi: Türkiye örneği. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(17), 1-17.
- Bhattacharya, S. C., Salam, P. A., & Sharma, M. (2000). Emissions from biomass energy use in some selected Asian countries. *Energy*, 25(2), 169-188.
- Cho, K. T., Ridgway, P., Weber, A. Z., Haussener, S., Battaglia, V., & Srinivasan, V. (2012). High performance hydrogen/bromine redox flow battery for grid-scale energy storage. *Journal of The Electrochemical Society*, 159(11), A1806.
- Cho, K. T., Tucker, M. C., Ding, M., Ridgway, P., Battaglia, V. S., Srinivasan, V., & Weber, A. Z. (2015). Cyclic Performance Analysis of Hydrogen/Bromine Flow Batteries for Grid-Scale Energy Storage. *ChemPlusChem*, 80(2), 402-411.
- Demirbas, A. (2006). Turkey's renewable energy facilities in the near future. *Energy sources, part A*, 28(6), 527-536.
- Doğanay, H. (1998). *Ekonomik Coğrafya 2, Enerji Kaynakları, Genişletilmiş 2. Baskı, Şafak Yayınevi, Erzurum.*
- Duan, R., Zhang, J., Du, X., Yao, X., & Konno, K. (2009). Properties of collagen from skin, scale and bone of carp (*Cyprinus carpio*). *Food chemistry*, 112(3), 702-706.
- Elibüyük, U., & ÜÇGÜL, İ. (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum*, 2(3).
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and sustainable energy reviews*, 39, 748-764.
- Fang, Z., Wang, Y., Feng, Q., Kienzle, A., & Müller, W. E. G. (2014a). Hierarchical structure and cytocompatibility of fish scales from *Carassius auratus*. *Materials Science and Engineering: C*, 43, 145–152.
- Fang, Z., Wang, Y., Feng, Q., Kienzle, A., & Müller, W. E. G. (2014b). Hierarchical structure and cytocompatibility of fish scales from *Carassius auratus*. *Materials Science and Engineering: C*, 43, 145–152.
- Figueiredo, J. L., Pereira, M. F. R., Freitas, M. M. A., & Órfão, J. J. M. (1999). Modification of the surface chemistry of activated carbons. *Carbon*, 37(9), 1379–1389.
- Gürdil, G. A. K., Baz, Y. Ö., Demirel, Ç., & Demirel, B. (2015). Yakıt peleti ve briketi için güncellenmiş avrupa birliği standartları ve ilgili parametreler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2).

- Gokcol, C., Dursun, B., Alboyaci, B., & Sunan, E. (2009). Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey. *Energy Policy*, 37(2), 424-431.
- Gy En Vir, E. E., Gy En Er Gy En Vir, E. E., Y En Er Gy En Vir, U. T., & En Er G Y In, E. T. (n.d.). Biomass and Agriculture « SUSTAINABILITY, MARKETS AND POLICIES. Retrieved May 10, 2022.
- He, D., Niu, J., Dou, M., Ji, J., Huang, Y., & Wang, F. (2017). Nitrogen and oxygen co-doped carbon networks with a mesopore-dominant hierarchical porosity for high energy and power density supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 238, 310-318.
- Herrando, M., & Markides, C. N. (2016). Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations. *Applied energy*, 161, 512-532.
- Hook, P. (2015). Çevre Terimlerinin Küçük Kitabı, (1. b.), (B. Kurt, Çev.). Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları Yayını.
- Hu, L., Hou, J., Ma, Y., Li, H., & Zhai, T. (2016). Multi-heteroatom self-doped porous carbon derived from swim bladders for large capacitance supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(39), 15006-15014.
- Jayaramulu, K., Dubal, D. P., Nagar, B., Ranc, V., Tomanec, O., Petr, M., Datta, K. K. R., Zboril, R., Gómez-Romero, P., & Fischer, R. A. (2018). Ultrathin Hierarchical Porous Carbon Nanosheets for High-Performance Supercapacitors and Redox Electrolyte Energy Storage. *Advanced Materials*, 30(15).
- Jung, M.-S., Parrondo, J., Arges, C. G., & Ramani, V. (2013). Polysulfone-based anion exchange membranes demonstrate excellent chemical stability and performance for the all-vanadium redox flow battery Electronic Supplementary Information.
- Kaewdang, O., Benjakul, S., Kaewmanee, T., & Kishimura, H. (2014). Characteristics of collagens from the swim bladders of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Food Chemistry*, 155, 264-270.
- Karacan, A. R. (2007). Çevre ekonomisi ve politikası. Ege Üniversitesi Yayınları, İzmir.
- Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). The state of energy in world and turkey-general evaluation. *Engineer and Machine*, 54(639), 32-44
- Li, L., Kim, S., Wang, W., Vijayakumar, M., Nie, Z., Chen, B., Zhang, J., Xia, G., Hu, J., Graff, G., Liu, J., & Yang, Z. (2011a). A stable vanadium redox-flow battery with high energy density for large-scale energy storage. *Advanced Energy Materials*, 1(3), 394-400.
- Li, L., Kim, S., Wang, W., Vijayakumar, M., Nie, Z., Chen, B., Zhang, J., Xia, G., Hu, J., Graff, G., Liu, J., & Yang, Z. (2011b). A stable vanadium redox-flow battery with high energy density for large-scale energy storage. *Advanced Energy Materials*, 1(3), 394-400.
- Liu, Z., Nie, H., Yang, Z., Zhang, J., Jin, Z., Lu, Y., Xiao, Z., & Huang, S. (2013). Sulfur-nitrogen co-doped three-dimensional carbon foams with hierarchical pore structures as efficient metal-free electrocatalysts for oxygen reduction reactions. *Nanoscale*, 5(8), 3283-3288.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology*, 83(1), 47-54.
- Mehel, N. (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi: Potansiyeli, Kullanımı ve Almanya-Türkiye Karşılaştırması. Eskişehir Osmangazi.

- Mohanty, P., Muneer, T., Gago, E. J., & Kotak, Y. (2016). Solar radiation fundamentals and PV system components. *Green Energy and Technology*, 196, 7–47.
- Nguyen, T. van, Yarlagadda, V., Lin, G., Weng, G., Li, V. C.-Y., & Chan, K.-Y. (2014). Comparison of Acid and Alkaline Hydrogen-Bromine Fuel Cell Systems. *ECS Transactions*, 58(37), 29.
- Niu, J., Shao, R., Liu, M., Liang, J., Zhang, Z., Dou, M., Huang, Y., & Wang, F. (2018). Porous carbon electrodes with battery-capacitive storage features for high performance Li-ion capacitors. *Energy Storage Materials*, 12, 145–152.
- Obernberger, I., & Thek, G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 653–669.
- Oktit, Ş. (2000). Fotovoltaik güneş pilleri ve güç sistemleri dünü, bugünü, yarını. *Türkiye’de*, 8, 47–62.
- Öztürel, N., Zilan, R., & Ecevit, A. (2001). Türkiye ‘de Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin İzlenmesi Gereken Strateji, Planlama Politikaları ve Bunların Sosyal ve Siyasi Etkileri. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 28–32.
- Pati, F., Adhikari, B., & Dhara, S. (2010). Isolation and characterization of fish scale collagen of higher thermal stability. *Bioresource Technology*, 101(10), 3737–3742.
- Rühl, C. (2008). *Bp statistical review of world energy*, june 2008. London: BP.
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590–601.
- Seddegh, S., Wang, X., Henderson, A. D., & Xing, Z. (2015). Solar domestic hot water systems using latent heat energy storage medium: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 517–533.
- Shi, C., Hu, L., Hou, J., Guo, K., Zhai, T., & Li, H. (2018). Alkali metal boosted atom rearrangement in amorphous carbon towards crystalline graphitic belt skeleton for high performance supercapacitors. *Energy Storage Materials*, 15, 82–90.
- Skyllas-Kazacos, M., Chakrabarti, M. H., Hajimolana, S. A., Mjalli, F. S., & Saleem, M. (2011). Progress in Flow Battery Research and Development. *Journal of The Electrochemical Society*, 158(8), R55.
- Suganthi, L., & Williams, A. (2000). Renewable energy in India — a modelling study for 2020–2021. *Energy Policy*, 28(15), 1095–1109.
- Sun, J., Lv, C., Lv, F., Chen, S., Li, D., Guo, Z., Han, W., Yang, D., & Guo, S. (2017). Tuning the Shell Number of Multishelled Metal Oxide Hollow Fibers for Optimized Lithium-Ion Storage. *ACS Nano*, 11(6), 6186–6193.
- Tarascon, J. M. (2010). Key challenges in future Li-battery research. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1923), 3227–3241.
- Tucker, M. C., Cho, K. T., Spingler, F. B., Weber, A. Z., & Lin, G. (2015). Impact of membrane characteristics on the performance and cycling of the Br<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> redox flow cell. *Journal of Power Sources*, 284, 212–221.
- Ulaganathan, M., Aravindan, V., Yan, Q., Madhavi, S., Skyllas-Kazacos, M., & Lim, T. M. (2016). Recent Advancements in All-Vanadium Redox Flow Batteries. *Advanced Materials Interfaces*, 3(1).
- Wang, R., Li, Y., Wang, Y., & Fang, Z. (2019). Phosphorus-doped graphite felt allowing stabilized electrochemical interface and hierarchical pore structure for redox flow battery.

- Weber, A. Z., Mench, M. M., Meyers, J. P., Ross, P. N., Gostick, J. T., & Liu, Q. (n.d.). Redox flow batteries: a review.
- Zhang, S., Jiang, S.-F., Huang, B.-C., Shen, X.-C., Chen, W.-J., Zhou, T.-P., Cheng, H.-Y., Cheng, B.-H., Wu, C.-Z., Li, W.-W., Jiang, H., & Yu, H.-Q. (n.d.). Sustainable production of value-added carbon nanomaterials from biomass pyrolysis.
- Zhao, J., Lai, H., Lyu, Z., Jiang, Y., Xie, K., Wang, X., Wu, Q., Yang, L., Jin, Z., Ma, Y., Liu, J., & Hu, Z. (2015). Hydrophilic hierarchical nitrogen-doped carbon nanocages for ultrahigh supercapacitive performance. *Advanced Materials*, 27(23), 3541–3545.
- Zhou, H., Zhang, H., Zhao, P., & Yi, B. (2006). A comparative study of carbon felt and activated carbon based electrodes for sodium polysulfide/bromine redox flow battery. *Electrochimica Acta*, 51, 6304–6312.
- Zhu, Z., & Xu, Z. (2020). The rational design of biomass-derived carbon materials towards next-generation energy storage: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110308.
- Zou, G., Wang, C., Hou, H., Wang, C., Qiu, X., & Ji, X. (2017). Controllable Interlayer Spacing of Sulfur-Doped Graphitic Carbon Nanosheets for Fast Sodium-Ion Batteries. *Small*, 13(31).

## ÖZ GEÇMİŞ

Cansu Bodur Edremit Anadolu Lisesini bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında OMÜ LEE Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana Kimya öğretmeni olarak görev yapan C. B., orta derecede İngilizce bilmektedir.

### İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-1249-420X

### Yayınlar:

1. Bodur C, Fıçıcılar B. "Hidrojen/Brom Redoks Akış Pili Katot Elektrotu için Balık Pullarından Karbon Sentezi ve Karakterizasyonu", 13. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Sözlü Sunum (Online), Mart 11-12, 2022.