

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SAMSUN EVSEL ATIK SU ARITMA AKTİF  
ÇAMURUNUN KARBONİZASYON VE AKTİVASYON  
ÜRÜNLERİNİN DİZEL YAKITINA İLAVESİNİN DİZEL  
MOTORDA DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Hazırlayan  
Serhat BİLGİN**

**Danışman  
Prof. Dr. S. Orhan AKANSU  
İkinci Danışman  
Doç. Dr. Yunus ÖNAL**

**Doktora Tezi**

**Ağustos 2023  
KAYSERİ**

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SAMSUN EVSEL ATIK SU ARITMA AKTİF  
ÇAMURUNUN KARBONİZASYON VE AKTİVASYON  
ÜRÜNLERİNİN DİZEL YAKITINA İLAVESİNİN DİZEL  
MOTORDA DENEYSEL İNCELENMESİ  
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan  
Serhat BİLGİN**

**Danışman  
Prof. Dr. S. Orhan AKANSU  
İkinci Danışman  
Doç. Dr. Yunus ÖNAL**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi  
tarafından FDK-2021-11241 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Ağustos 2023  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Serhat BİLGİN

İmza

**“Samsun Evsel Atık Su Arıtma Aktif Çamurunun Karbonizasyon ve Aktivasyon Ürünlerinin Dizel Yakıtına İlavesinin Dizel Motorda Deneysel İncelenmesi”** adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

**Hazırlayan**

Serhat BİLGİN

**Danışman**

Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

**Makine Mühendisliği ABD Başkanı**

Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamda ve tım doktora programı siresince bana her tırlı desteğini veren Prof. Dr. Selahaddin Orhan AKANSU baőtla olmak üzere ikinci danıőmanlıęını yapan ve çalıőmalarım boyunca tım bilgi birikimini paylaőan, Doç. Dr. Yunus ÖNAL' a, iş hayatımdaki çalışma arkadaőlarıma, sabrı, anlayıőı ve desteklerinden dolayı sevgili hayat arkadaőım Seda GÜMÜŐTEKİN BİLGİN' e, oğlum Göktuğ BİLGİN' e, desteklerini esirgemeyen aileme ve bu tez çalıőmamı maddi olarak destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje Kodu: FDK-2021-11241) teőekkürlerimi sunarım.

Serhat BİLGİN

Ağustos 2023, KAYSERİ

# SAMSUN EVSEL ATIK SU ARITMA AKTİF ÇAMURUNUN KARBONİZASYON VE AKTİVASYON ÜRÜNLERİNİN DİZEL YAKITINA İLAVESİNİN DİZEL MOTORDA DENEYSSEL İNCELENMESİ

Serhat BİLGİN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Doktora Tezi, Ağustos 2023  
Danışman: Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

## ÖZET

Bu çalışmada AAT atığı olan AÇ' nin bertarafı ve motor yakıt katkısı olarak kullanımı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada iki aşama bulunmaktadır. Bu aşamalardan ilki AÇ' nin karbonlaştırılarak bertarafının araştırılması, ikinci aşama ise karbonlaştırılan AÇ' nin aktif karbona dönüştürülerek dizel motor yakıt katkısı olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. AÇ' nin bertarafına yönelik belirlenen karbonlaştırma ve aktif karbona dönüştürme işlemlerinde elde edilen numuneler kalorifik değer tayinine tabi tutulmuştur. Kalorifik değer tayini sonucu en düşük 1331.9 cal/gr ve en yüksek 12199.7 cal/gr değerleri elde edilmiştir. AÇ' nin yakıt katkısı olarak kullanılabilmesi için; AÇ önce kurutulmuş sonrasında fiziksel ve kimyasal aktivasyon proseslerine tabi tutularak aktif karbon haline getirilmiştir. Aktif karbonlar; AÇ' den farklı sıcaklık aralıklarında yapılan karbonlaşmış ürünler ile kurutulmuş haldeki AÇ' den elde edilmiştir. Elde edilen karbon, aktif karbon, kül ve pirolitik sıvılar için FT-IR, XRD, ICP-MS, GC-MS, TG-DTA, CHNS, SEM-EDX ve kalorifik değer tayini analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları doğrultusunda SAÇK12 ve SAÇK24 numuneleri seçilmiştir. Seçilen numuneler dizel yakıtta 50 ppm ve 100 ppm oranlarında bir ultrasonik karıştırıcı ile homojen şekilde karıştırılarak yakıt karışımları elde edilmiştir. Elde edilen karışımların deneylerin yapıldığı motor için motor performansı, yanma ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Bu çalışma için yapılan denemeler ve ölçümler 6 silindirli dizel motorda 600 rpm sabit devir hızında ve beş farklı yük altında (0, 50, 100, 150 ve 200 Nm) yapılmıştır. Emisyon karakteristiklerinde CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> ölçümleri ve karşılaştırmalı değerlendirilmeleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kanalizasyon Çamuru, Karbonizasyon, Aktivasyon, Piroliz, Dizel Motor, Emisyon, Aktif Karbon, Nanopartikül

# INVESTIGATION OF THE CARBONIZATION-ACTIVATION OF WASTE WATER TREATMENT SLUDGE AND ITS DIFFERENT APPLICATIONS

Serhat BİLGİN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, August 2023

Supervisor: Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

## ABSTRACT

In this study, research has been conducted on the disposal of WWTP (Wastewater Treatment Plant) waste and the utilization of different forms of SS (Sewage Sludge) as a motor fuel additive. The study consists of two phases. The first phase involves the investigation of SS disposal through carbonization, while the second phase explores the possibility of converting carbonized SS into activated carbon for potential use as a diesel engine fuel additive. Samples obtained from the carbonization and activation processes for SS disposal were subjected to calorific value determination. Calorific value analysis resulted in values ranging from a minimum of 1331.9 cal/g to a maximum of 12199.7 cal/g. To prepare SS for use as a fuel additive, it was first dried and then subjected to physical and chemical activation processes to convert it into activated carbon. Activated carbons were obtained from carbonized products at different temperature intervals and from dried SS. The obtained samples, including carbon, activated carbon, ash, and pyrolytic liquids, underwent FT-IR, XRD, ICP-MS, GC-MS, TG-DTA, CHNS, SEM-EDX, and calorific value determination analyses. The results of the analyses led to the selection of SACK12 and SACK24 samples. The selected samples were homogeneously mixed with diesel fuel at ratios of 50 ppm and 100 ppm using an ultrasonic mixer to ensure homogeneity and prevent sedimentation in the diesel fuel during subsequent periods. The performance of the engine, combustion characteristics, and emissions were examined for the obtained fuel blends in a 6-cylinder diesel engine operating at a constant speed of 600 rpm and under five different loads (0, 50, 100, 150, and 200 Nm). Emission characteristics, including CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, and NO<sub>x</sub> measurements, were made and comparatively evaluated.

**Keywords:** Sewage sludge, Carbonization, Activation, Pyrolysis, Diesel engine, Emission, Activated carbon, Nanoparticle.

## İÇİNDEKİLER

### ATIK SU ARITMA ÇAMURUNUN KARBONİZASYONUNUN- AKTİVASYONUNUN VE FARKLI KULLANIM ALANLARININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
GİRİŞ .....	1

#### 1. BÖLÜM

##### GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu .....	14
1.2. Araştırmanın Amacı .....	16
1.3. Araştırmanın Önemi.....	16

#### 2. BÖLÜM

##### YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Çamur Kurutma .....	19
2.2. Karbonizasyon.....	20
2.3. Aktif Karbon Üretimi .....	26
2.3.1. Fiziksel Aktivasyon .....	26
2.3.2. Kimyasal Aktivasyon .....	28
2.4. Karakterizasyon ve Analiz Yöntemleri.....	33
2.4.1. Kül Analizi .....	33
2.4.2. FT-IR (Fourier Transform Infrared Spektrofotometre).....	35
2.4.3. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Kütle Spektrometresi).....	36
2.4.4. CHNS (karbon, hidrojen, azot, kükürt elementel analizör).....	36
2.4.5. XRD (X-ışınları difraktometresi) .....	37
2.4.6. GC- MS (Gaz kromatografisi–kütle spektrometresi) .....	38
2.4.7. BET (Brunauer-Emmett-Teller) Denklemi ile Yüzey Alanı Ölçümü .....	38

2.4.8. SEM-EDX (Taramalı elektron mikroskopu-EDAX) .....	39
2.4.9. TG- DTA (Termogravimetri-Diferansiyel Termal Analiz) .....	40
2.4.10. Isıl Değer (Kalorifik Değer) Tayini .....	40
2.5. Yakıt Karışımı Hazırlama .....	42
2.6. Motor Test Düzenegi.....	46
2.6.1. Dizel Motor .....	46
2.6.2. Dinamometre .....	47
2.6.3. Yakıt Ölçümü .....	48
2.6.4. Enkoder .....	48
2.6.5. Amplifikatör .....	49
2.6.6. Silindir İçi Basınç Ölçümü .....	49
2.6.7. Emisyon Ölçümü .....	50
2.7. Katalitik Konvertör ve Aktif Karbon Filtre Tasarımı .....	51
2.7.1. Aktif Karbon Filtre .....	52
2.7.2. Seramik Kartuş .....	52
2.7.3. Yakıt Hazırlama .....	53
2.8. Belirsizlik Analizi .....	53

### 3. BÖLÜM BULGULAR

3.1 Analiz Sonuçları .....	55
3.1.1. Kül Analizi .....	55
3.1.2. FT-IR Analizi.....	56
3.1.3. ICP-MS Analizi .....	58
3.1.4. CHNS.....	61
3.1.5. XRD Sonuçları.....	64
3.1.6. GC- MS Sonuçları.....	65
3.1.7. BET (Brunauer Emmett and Teller Method) Yüzey Alanı Sonuçları .....	66
3.1.8. SEM-EDX Sonuçları.....	67
3.1.9. TG- DTA Sonuçları.....	69
3.1.10. Isıl Değer Tayini Sonuçları.....	73
3.2. Aktif Karbon Seçimi .....	74
3.2.1. Karbonizasyon Sonuçları .....	74
3.2.2. Aktivasyon Sonuçları.....	75

<b>3.3. Yanma Parametreleri .....</b>	<b>76</b>
<b>3.3.1. Silindir İçi Basıncı .....</b>	<b>76</b>
<b>3.3.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı .....</b>	<b>77</b>
<b>3.3.3. Termal Verimlilik .....</b>	<b>78</b>
<b>3.4. Emisyon Değerleri .....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.1. Karbon monoksit (CO) .....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.2. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) .....</b>	<b>80</b>
<b>3.4.3. Hidrokarbon (HC) .....</b>	<b>81</b>
<b>3.4.4. Azot oksitler (NO<sub>x</sub>) .....</b>	<b>82</b>

## **4. BÖLÜM**

### **TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER**

<b>4.1. Tartışma .....</b>	<b>83</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>89</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>101</b>
<b>EK 1. Makale Kabul Yazısı .....</b>	<b>101</b>
<b>EK 2. FT-IR Analiz Sonuç Grafikleri .....</b>	<b>102</b>
<b>EK 3. GC-MS Analiz Sonuç Tabloları .....</b>	<b>109</b>
<b>EK 4. SEM Görüntüleri .....</b>	<b>116</b>
<b>EK 5. TG-DTA Analiz Sonuç Grafikleri .....</b>	<b>121</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>129</b>

## KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AÇ	: Arıtma Çamuru
FT-IR	: Fourier Transform Infrared Spektrofotometre
XRD	: X-Işınları Difraktometresi
ICP-MS	: İndüktif Eşlemeli Plazma-Kütle Spektrometresi
TG-DTA	: Termogravimetrik Diferansiyel Termal Analiz
CHNS	: Karbon Hidrojen Azot Sülfür (Elementel Analiz)
SEM-EDX	: Taramalı Elektron Mikroskopu
CPX	: Ciprofloxacın
BET	: Brunauer Emmett ve Teller Metodu
Qs	: Doyma Adsorpsiyon Kapasitesini
CO	: Karbon Monoksit
HC	: Hidrokarbon
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
O <sub>2</sub>	: Oksijen
NO <sub>x</sub>	: Azotoksitler
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
Mİ	: Maden İşletmeleri
TS	: Termik Santraller
İSİ	: İmalat Sanayi İşyerleri
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
HTL	: Hidrotermal Sıvılaştırma
KKT	: Külsüz Kuru Temel
TAUM	: Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
İBTAM	: İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi
PA50	: Fiziksel aktivasyon ile üretilmiş aktif karbonun 50 ppm yakıt karışımı
PA100	: Fiziksel aktivasyon ile üretilmiş aktif karbonun 100 ppm yakıt karışımı
CA50	: Kimyasal aktivasyon ile üretilmiş aktif karbonun 50 ppm yakıt karışımı
CA100	: Kimyasal aktivasyon ile üretilmiş aktif karbonun 100 ppm yakıt karışımı

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Türkiye yer altı suları durumu .....	15
Tablo 2.1.	Analiz listesi .....	33
Tablo 2.2.	Deney motoru teknik özellikleri .....	46
Tablo 2.3.	Denemelerde kullanılan cihazların ölçüm hassasiyetleri ve hesaplanan belirsizlikler .....	54
Tablo 3.1.	Kül analizi sonuçları .....	56
Tablo 3.2.	ICP-MS sonuçları-1 .....	59
Tablo 3.3.	ICP-MS sonuçları-2 .....	61
Tablo 3.4.	Elementel analiz tablosu .....	62
Tablo 3.5.	Külsüz kuru temel hesaplanmış elementel analiz tablosu .....	63
Tablo 3.6.	Aktif karbonların yüzey alanı tablosu.....	66
Tablo 3.7.	Isıl değer tablosu .....	73
Tablo 3.8.	Karbonizasyon işleminde karbonize katı, piroliz sıvısı ve piroliz gazı yüzdesel verim değerleri (m/m).....	75

## ŞEKİLLER LİSTESİ

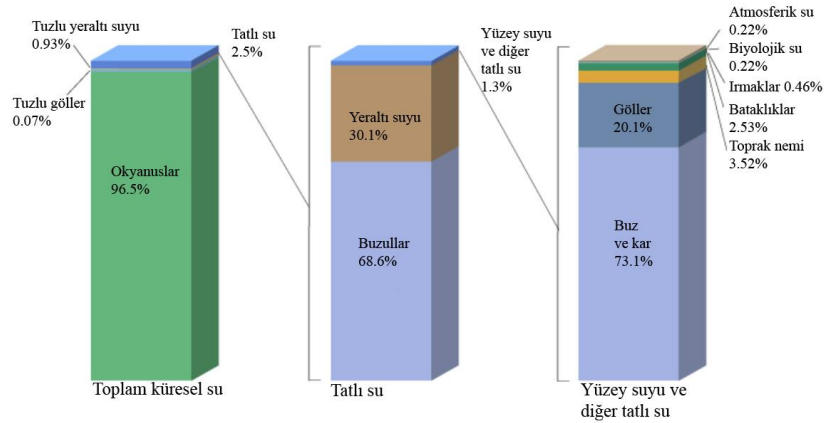
Şekil 1.	Dünya su dağılımı .....	1
Şekil 2.	Dünya ülkeler bazında kullanım suyu miktarları.....	2
Şekil 3.	Dünya ülkeler bazında kişi başı günlük kullanım suyu miktarları .....	2
Şekil 4.	Türkiye yüzey suları kalite sınıfları .....	3
Şekil 5.	Türkiye’ deki atık su arıtma tesisleri ve sayıları.....	3
Şekil 6.	Atık suyun ülkeler bazında; kişi başı yıllık üretim (a), toplama (b), arıtma (c), yeniden kullanma (d).....	4
Şekil 7.	Atık çamurun içerisindeki su formları .....	5
Şekil 8.	Atık su arıtma tesisi akış şeması .....	5
Şekil 9.	Atık su arıtma prosesleri akış şeması.....	6
Şekil 10.	Karbonizasyon fırın örneği .....	11
Şekil 11.	Kurutulmuş ham çamur .....	12
Şekil 12.	Aktif Karbon SEM görüntüsü.....	13
Şekil 1.1.	Aktif Karbon Kullanım Alanları Tablosu .....	16
Şekil 2.1.	Bantlı atık çamur kurutma tesisi .....	19
Şekil 2.2.	Avdan enerji atık ısının kullanım şeması.....	20
Şekil 2.3.	Piroliz fırın sistemi şematik gösterimi .....	21
Şekil 2.4.	Karbonizasyon deney düzeneği-1 .....	22
Şekil 2.5.	Karbonizasyon deney düzeneği-2 .....	23
Şekil 2.6.	Karbonlaşmış atık çamur .....	23
Şekil 2.7.	Kodlanan karbonlaşmış numuneler .....	24
Şekil 2.8.	Kondenser cam tüp .....	24
Şekil 2.9.	Karbonizasyon sonucu kondenser kullanılarak elde edilmiş olan piroliz SIVISI .....	25
Şekil 2.10.	İnert ortam bozulması sonucu yanan karbonlaşmış AÇ .....	25
Şekil 2.11.	Yüksek sıcaklık fırını (inert ortam) .....	26
Şekil 2.12.	Tasarlanıp üretilen 310 paslanmaz çelik tüp.....	27
Şekil 2.13.	Fiziksel aktivasyon düzeneği .....	27
Şekil 2.14.	Aktif karbon (fiziksel aktivasyon) .....	28
Şekil 2.15.	Hava teması ile yanan aktif karbon.....	28

Şekil 2.16.	Kimyasal aktivasyon iş akışı.....	29
Şekil 2.17.	½ Oranında KOH karışımli karbonlaşmış AÇ.....	29
Şekil 2.18.	Etüv fırını.....	30
Şekil 2.19.	Agat taş havan öğütücü.....	30
Şekil 2.20.	Aktif karbon (kimyasal aktivasyon) .....	31
Şekil 2.21.	Kimyasal aktivasyon aşamaları-1 .....	31
Şekil 2.22.	Kimyasal aktivasyon aşamaları-2 .....	32
Şekil 2.23.	Aktif karbon yıkama ve çözelti süzme işlemi.....	32
Şekil 2.24.	Aktif karbon kodlanmış saklama kapları .....	32
Şekil 2.25.	Hassas terazi .....	34
Şekil 2.26.	Kül fırını ve kodlanmış seramik potalar .....	34
Şekil 2.27.	Seramik potalarda kül numuneleri.....	35
Şekil 2.28.	FT-IR cihazı.....	35
Şekil 2.29.	ICP-MS cihazı.....	36
Şekil 2.30.	CHNS elementel analiz cihazı .....	37
Şekil 2.31.	XRD analiz cihazı.....	37
Şekil 2.32.	GC-MS analiz cihazı.....	38
Şekil 2.33.	BET analiz cihazı.....	39
Şekil 2.34.	FE SEM analiz cihazı .....	39
Şekil 2.35.	TG-DTA analiz cihazı .....	40
Şekil 2.36.	Kalorimetre cihazı.....	41
Şekil 2.37.	Kalori bombası iç yapısı .....	41
Şekil 2.38.	Yakıt karışımı hazırlanan sonikatör .....	43
Şekil 2.39.	Kabinli hassas terazi .....	43
Şekil 2.40.	Sınıflandırılan ve tartımı yapılan aktif karbonlar .....	44
Şekil 2.41.	Cam karışım kabı .....	44
Şekil 2.42.	Dizel yakıt aktif karbon karışımı .....	45
Şekil 2.43.	Dizel yakıt aktif karbon karışımları .....	45
Şekil 2.44.	Motor test düzeneği .....	46
Şekil 2.45.	Dizel motor test düzeneği .....	47
Şekil 2.46.	Eddy akım dinamometre sistemi.....	47
Şekil 2.47.	Kütlesel yakıt ölçüm terazisi.....	48
Şekil 2.48.	Enkoder .....	49

Şekil 2.49.	Amplifikatör.....	49
Şekil 2.50.	Piezoelektrik basınç sensörü.....	50
Şekil 2.51.	Emisyon ve is ölçüm cihazları.....	51
Şekil 2.52.	Yeni tasarım katalitik konvektör.....	51
Şekil 2.53.	Aktif karbon filtre.....	52
Şekil 2.54.	Seramik kartuşlar.....	52
Şekil 2.55.	Dizel yakıt- kullanılmış motor yağı- karışım yakıtı.....	53
Şekil 3.1.	SAÇK1 FT-IR analiz sonuç grafiği.....	57
Şekil 3.2.	XRD analiz sonuç grafiği.....	64
Şekil 3.3.	SAÇK1 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları.....	66
Şekil 3.4.	SAÇK1 SEM görüntüsü.....	67
Şekil 3.5.	SAÇK20 SEM görüntüsü.....	68
Şekil 3.6.	SAÇK21 SEM görüntüsü.....	68
Şekil 3.7.	SAÇK22 SEM görüntüsü.....	69
Şekil 3.8.	SAÇK1 TG – DTA grafiği.....	70
Şekil 3.9.	SAÇK7 TG-DTA grafiği.....	70
Şekil 3.10.	SAÇK1 TG-DTA grafiği (hava).....	71
Şekil 3.11.	SAÇK7 TG-DTA grafiği (hava).....	71
Şekil 3.12.	SAÇK13 TG-DTA grafiği (hava).....	71
Şekil 3.13.	SAÇK2 TG-DTA grafiği (hava).....	72
Şekil 3.14.	Yakıt karışımlarının silindir basıncı ve krank açısına göre değişim grafiği.....	77
Şekil 3.15.	Yakıt karışımlarının motor yükü ve silindir üst basıncına göre değişim grafiği.....	77
Şekil 3.16.	Yakıt karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı ve motor yükü değişim grafiği..	78
Şekil 3.17.	Yakıt karışımlarının fren termal verimliliği ile motor yükü değişim grafiği.....	79
Şekil 3.18.	Yakıt karışımlarının CO emisyonunun motor yükü değişim grafiği.....	80
Şekil 3.19.	Yakıt karışımlarının CO2 emisyonunun motor yükü değişim grafiği.....	81
Şekil 3.20.	Yakıt karışımlarının HC emisyonunun motor yükü değişim grafiği.....	82
Şekil 3.21.	Yakıt karışımlarının NO emisyonunu motor yükü değişim grafiği.....	82

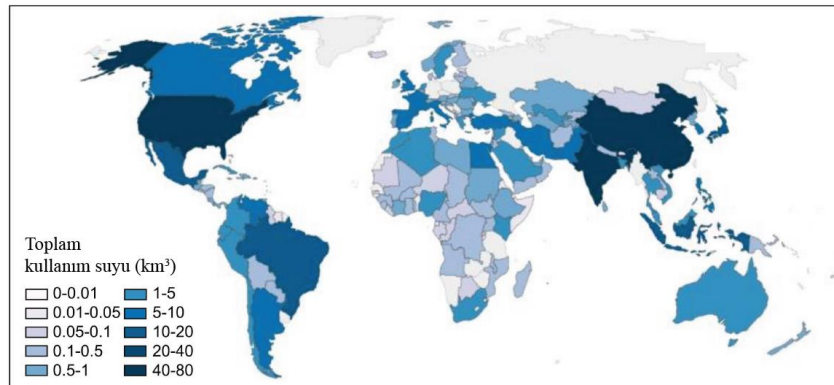
## GİRİŞ

Dünyadaki kullanılabilir su miktarı, bilinenin aksine oldukça sınırlıdır. Şekil 1' den de görülebileceği gibi, dünya genelindeki toplam su miktarının %96.5'i okyanus sularından oluşmakta ve tatlı su miktarı toplamda %2.5 seviyelerindedir. Bu tatlı su miktarının %30.1'i yeraltı sularından, %68.6'sı buzullardan ve %1.3'ü ise yüzey ve diğer tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır. Bu oranlar, kolaylıkla erişilebilen kullanılabilir tatlı su miktarının dünya genelindeki toplam tatlı su miktarının on binde üçü (%0.03) kadar olduğunu göstermektedir. Bu miktarın büyük bir bölümü buzullardan oluşmaktadır. Özetlemek gerekirse, kolaylıkla ulaşabileceğimiz (yeraltı suları hariç) kullanılabilir tatlı su miktarı, toplam küresel su miktarının yüz binde altısı (%0.006) kadardır (1).



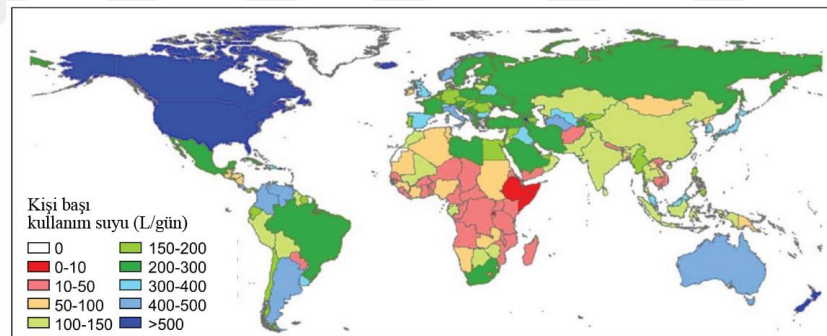
Şekil 1. Dünya su dağılımı

Global ölçekte ülkeler bazında tüketilen kullanılabilir su miktarlarını gösteren Şekil 2 incelediğinde ülkemizin dünya ülkeleri arasında orta seviyede tüketim ( $5-10 \text{ km}^3$ ) gösteren ülkeler arasında olduğu görülmektedir (2).



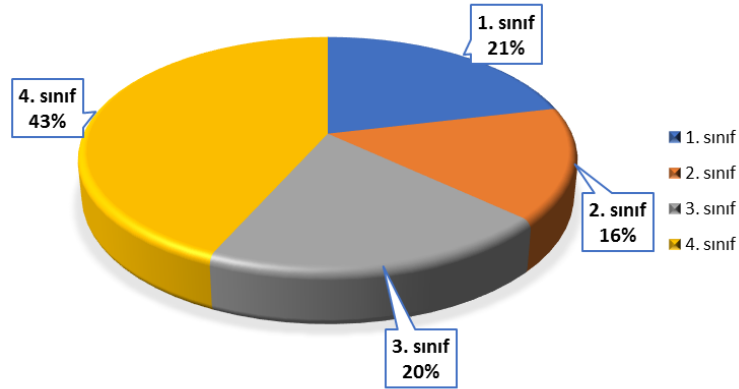
Şekil 2. Dünya ülkeler bazında kullanım suyu miktarları

Dünyadaki ülkeler arasında kişi başı günlük su tüketim miktarlarını gösteren Şekil 3' e göre ülkemiz kişi başı 200-300 L/gün tüketim miktarı ile orta üzeri tüketim seviyelerinde olan ülkeler arasında yer almaktadır (2). Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 2021 yılında yapılan bir çalışmada ülkemizde kişi başı ortalama günlük su tüketim miktarı 228 litre olarak belirlenmiştir (3).



Şekil 3. Dünya ülkeler bazında kişi başı günlük kullanım suyu miktarları

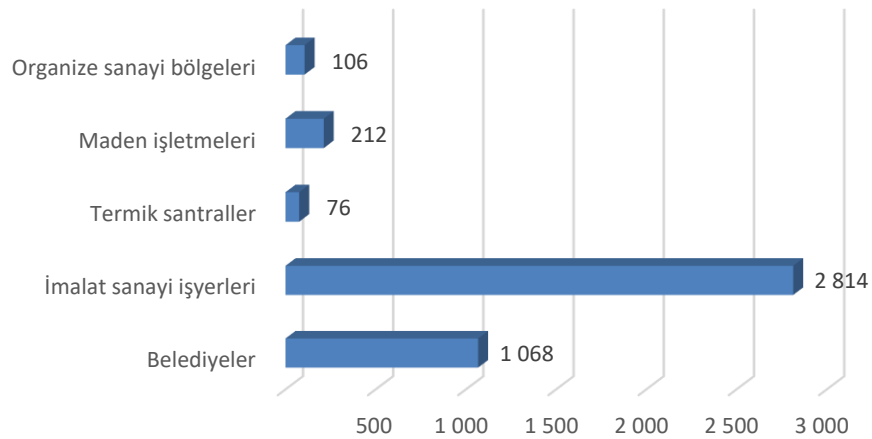
Ülkemiz kullanılabilir su kaynakları açısından fakir bir ülkedir. Türkiye'deki yüzey suları Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre kalite bakımından dört sınıfa (1. sınıf, 2. sınıf, 3. sınıf, 4. sınıf) ayrılır. 1. sınıf; yüksek kalite su, 2. sınıf; az kirlenmiş su, 3. sınıf; kirlenmiş su ve 4. sınıf; çok kirlenmiş su olarak sınıflandırılır (4). Şekil 4' te Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirme, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü tarafından 2017 yılında 141 farklı yüzey suyu numunelerinin analiz edilmesi sonucu %43 oranında 4. sınıf çok kirlenmiş su olduğu tespit edilmiştir (5).



Şekil 4. Türkiye yüzey suları kalite sınıfları (5)

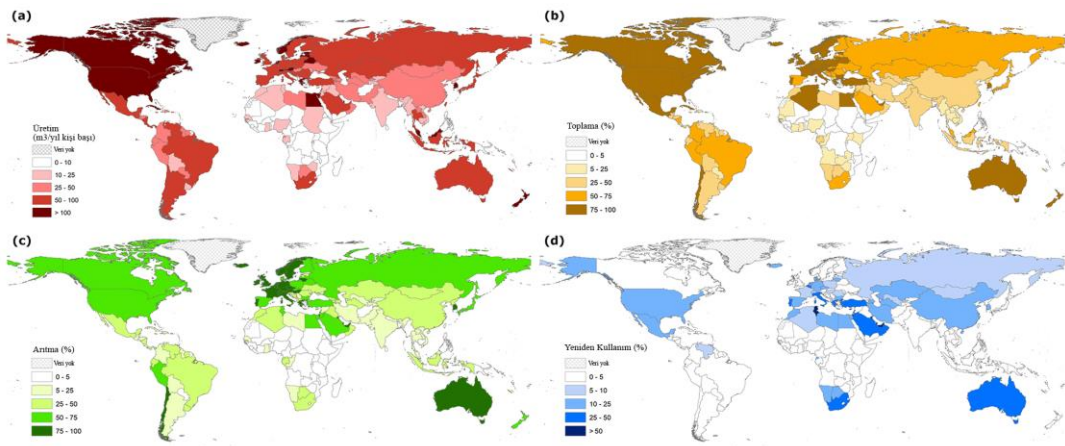
Bu durumun önüne geçilmesi ve gelecek nesiller için kaynakların etkin kullanılabilmesi amacıyla Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülen ve ülkemiz tüm il ve ilçe belediyelerinin atık su arıtma tesislerinin 2023 yılı sonuna kadar tamamlanması projesi devam etmektedir.

Yapılan son istatistik çalışmasında; Türkiye’de belediyeler tarafından atık su arıtma tesislerinde arıtılarak deşarj edilen içme ve kullanma suyu miktarı 4,4 milyar m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu miktar içerisinde organize sanayi bölgeleri (OSB) ve sanayi tesislerinin kendi bünyelerinde bulunan atık su arıtma tesislerinde arıtılan sular hariç olup toplam tüketilen suyun %87,9 ‘una karşılık gelmektedir. Arıtılan suların %50,7’ si gelişmiş arıtma tesislerinde, %27,1’ i biyolojik arıtma tesislerinde, %21,9’ u fiziksel arıtma tesislerinde ve %0,3’ ü de doğal arıtma tesislerinde arıtılmıştır (3).



Şekil 5. Türkiye’deki atık su arıtma tesisleri ve sayıları

Türkiye’ de 2020 yılı verilerine göre toplamda 4276 adet arıtma tesisi bulunmaktadır. Şekil 5’ e göre AAT’ lerin 106 adedi Organize Sanayi Bölgesi (OSB), 212 adedi Maden İşletmeleri (Mİ), 76 adedi Termik Santraller (TS), 2814 adedi İmalat Sanayi İşletmeleri (İSİ) ve 1068 adedi belediyelere ait işletmelerdir. Belediyelere ait AAT 60 adedi fiziksel, 593 adedi biyolojik, 223 adedi gelişmiş, 192 adedi doğal arıtma teknolojisini kullanmaktadır (5).

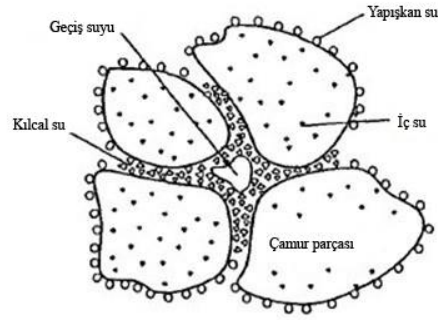


Şekil 6. Atık suyun ülkeler bazında; kişi başı yıllık üretim (a), toplama (b), arıtma (c), yeniden kullanma (d)

Atıksu arıtımı sadece Türkiye için değil tüm dünya ülkeleri için bir problem teşkil etmektedir. Şekil 6’ da dünyada ülkeler bazında atıksu üretimi (a), toplanması (b), arıtılması (c) ve tekrar kullanımı (d) gösteren şemaya göre Türkiye birçok dünya ülkesine göre atık su arıtımında %50-75 oranla iyi bir konumda bulunmaktadır (6).

Atık sular evsel, endüstriyel ve kentsel atık sular olarak üç sınıfa ayrılır. Evsel atıksular; günlük yaşam içerisinde insanların yaşadığı ev, otel, okul, vb. alanlardan kaynaklanan atık suları içerir. Endüstriyel atık sular; ticari faaliyet yürüten ve sanayi tesislerinden kaynaklı atık sulardır. Kentsel atık sular ise yağmursuyu ve diğer atıksuların birleşiminden oluşan atık sulardan oluşur (7).

Atık sular AAT lerinde arıtılırlar. AAT lerinde arıtılan atık sular neticesinde atık olarak AÇ oluşur. Atık su arıtma çamuru yapısal olarak ortalama %80-95 oranında su içeren bir atık özelliği göstermektedir. AÇ nun içeriğindeki su formlarının görsel açıklaması Şekil 7’ de verilmiştir. Yapı içerisindeki su formları; yapışkan su, kılcacık su, iç su ve geçiş suyu olarak sınıflandırılır.

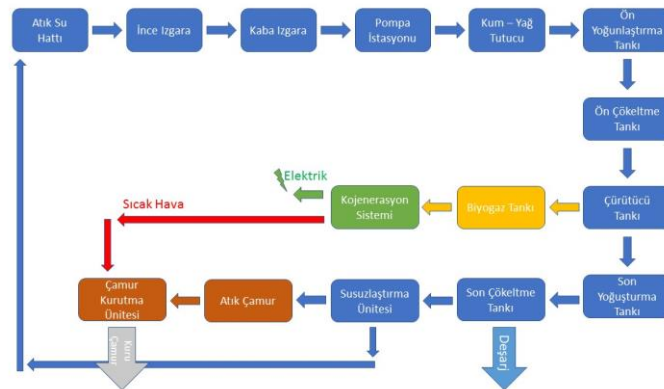


Şekil 7. Atık çamurun içerisindeki su formları

AÇ yapısındaki suyun büyük miktarı geçiş suyu olarak adlandırılan formdan oluşmaktadır. Susuzlaştırma proseslerinde yapıyı son olarak geçiş suyu formu terk eder (8). AÇ yapısında genel olarak protein, azot, fosfor, potasyum, selüloz, demir, silika, uçucu maddeler, yağ ve inorganikler bulunur (9). Çamur içeriği çamurun çeşidine arıtma prosesine göre değişkenlik gösterir. AÇ' ler; ön çökeltim çamuru, biyolojik çamur, kimyasal çamur ve inorganik çamurlar olarak sınıflandırılabilir.

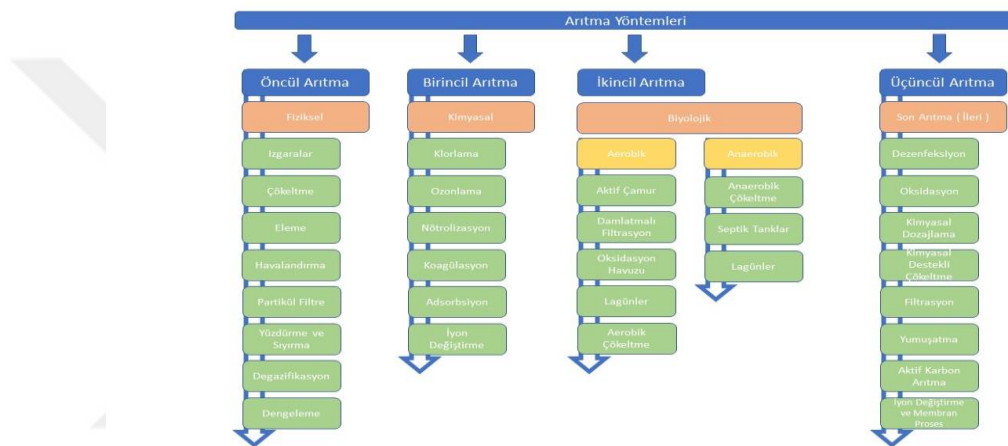
Atık su arıtma prosesleri temelde fiziksel (birincil arıtma), kimyasal (ikincil arıtma), biyolojik (ikincil arıtma) ve gelişmiş arıtma prosesleri olarak dört sınıfa ayrılırlar. Fiziksel arıtma prosesi birincil arıtma, kimyasal ve biyolojik arıtma prosesleri ikincil arıtma olarak adlandırılmaktadır (10).

Atık suyun sınıfı, işletme maliyeti, ana, yan ve atık ürünler arıtma prosesine etki eden faktörlerdir. Atık su arıtma prosesine arıtımı yapılacak suyun nitelik ve niceliğine göre karar verilmesi gerekirken işletme maliyetleri de doğrudan etki eden faktörler arasındadır.



Şekil 8. Atık su arıtma tesisi akış şeması

Şekil 9’ da atık su arıtma tesislerindeki iş akış şemasında öncül arıtma (fiziksel) prosesinden sonra birincil arıtma (kimyasal), ikincil arıtma (biyolojik) prosesleri de eklenerek daha kaliteli deşarj suyu elde edilebilir. Bunun yanında üçüncül arıtma (son arıtma-ileri) prosesleri uygulanarak gri su kalitesinde deşarj suyu temin edilmesi mümkündür. Şekil 8’ de gösterilen akış şemasında birincil, ikincil ve ileri arıtma proseslerinin yanında verimlilik artırıcı olarak biyogazdan elektrik üretimi ile elektrik üretirken açığa çıkan atık ısı enerji kullanılarak çamur kurutma ünitesinin çalışması şema edilmiştir.



Şekil 9. Atık su arıtma prosesleri akış şeması

AAT iş akışı tekniklerin gelişmesi ve yeni proseslerle değişebilmektedir. Günümüz AAT proses akış şeması Şekil 9’ da görüldü gibi geçmiş proses ve sınıflandırmalara göre biraz farklılık göstermektedir. Günümüz iş akışına göre öncül arıtma fiziksel arıtma proseslerini, birincil arıtma kimyasal arıtma proseslerini, ikincil arıtma biyolojik arıtma proseslerini ve üçüncül arıtma ise ileri (gelişmiş) arıtma proseslerini kapsamaktadır. Bu tanımlama ve sınıflandırmalar farklı kaynaklarda farklı şekillerde tanımlanabilmektedirler.

AAT lerinde arıtılan su, deniz, akarsu, göl vb. farklı alanlara deşarj edilmektedir. Arıtma proseslerinden sonra tesislerde atık olarak AÇ çıkmaktadır. Bu AÇ tesis özelliklerine ve proses şekillerine göre nicelik ve nitelik olarak farklılıklar gösterebilmektedir. AÇ atıklarının çevresel etki değerlerinin düşürülmesi ve bunların ekonomiye kazandırılması amacıyla farklı çalışmalar yapılmaktadır (11). Sonuçta atık olarak nitelendirilen AÇ her AAT nin bertarafı için çözüm aradığı bir atıktır. Günümüze

kadar AÇ bertarafı için birçok farklı bertaraf yöntemi geliştirilmiştir. AÇ bertaraf yöntemlerini sıralayacak olursak:

- Kurutma
- Düzenli depolama
- Yakma
- Kompostlama
- Anaerobik çöktürme
- Gazifikasyon
  - İkincil madde geri kazanım prosesi (SVZ Prosesi)
  - KRUPP Prosesi (Krupp Uhde PreCon process)
- Islak oksidasyon
- Arazi uygulaması
- Piroliz
- Piroliz ve gazlaştırma
  - NOELL Prosesi (Noell conversion process)
  - THERMOSELECT Prosesi
- Piroliz ve yakma
  - SIEMENS Prosesi (Siemens Schwel-Brenn process)
  - RCP Prosesi (The recycled clean products process)
- Tarımsal uygulamalar
- Çamurdan yağ üretimi
- Çamurdan türetilmiş yakıt (Carver-greenfield prosesi)

prosesleri yazılabilir. AÇ bertarafı konusunda henüz tam olarak belirli bir sisteme geçilemediğinden araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Ar-Ge faaliyetleri sonucu son zamanlarda birkaç prosesi aynı anda veya sıralı kullanarak AÇ bertarafı yöntemleri geliştirilmektedir (8-12-13). Günümüzde yukarıda sıralamış olduğumuz bertaraf yöntemlerinden çoğunlukla düzenli depolama ve arazi uygulamaları kullanılmaktadır.

Uygulanan yöntemlerden biri de piroliz yöntemi ile AÇ' nin karbonlaştırılması prosesidir. N. Gao ve arkadaşları (14) yaptıkları bir çalışmada, kurutulmuş AÇ' nin farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen piroliz işlemi sonucunda çıkan gaz ürünlerinin

nicelik ve nitelik açısından farklılıklar gösterdiğini tespit etmişlerdir. AÇ' nin pirolizinde sıcaklık arttıkça çıkan gaz miktarının da arttığı görülmüştür (15-16-17). Sıcaklığın piroliz ürünlerine etkileri üzerine birçok farklı çalışmalar yapılmıştır (18). AÇ' nin nem miktarı da pirolize ve piroliz ürünlerine etki eden bir diğer husustur (19-20). AÇ' nin içerdiği organik ve inorganikler de piroliz ürünlerine etki etmektedir (21). AÇ içeriğinde bulunan inorganiklerin başında ağır metaller gelmektedir. Bu ağır metallerin çevresel etki değerleri araştırılmış ve piroliz ile elde edilen karbonlaşmış katı maddenin analizleri yapılmıştır (22). AÇ' nin pirolizi ile elde edilen karbonlaşmış katı ürün biyokömür olarak kabul edilebilmektedir. Biyokömürün tarım ve hayvancılık uygulamalarının yanında aynı zamanda bir yakıt olarak da kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır (23). AÇ' nin pirolizi ile elde edilen biyokömürlerin çevresel etki değerlendirilmeleri yapılmış ve adsorban özellikleri araştırılmıştır (24-25-26). Yine sıcaklığın AÇ' den elde edilen biyokömüre olan etkileri araştırılmıştır (16). Fosforun yaşam döngüsünde ve tarım uygulamalarındaki yeri oldukça önemlidir. AÇ' den elde edilen biyokömür da yoğun miktarda fosfor bulunması, biyokömürü tarım uygulamalarında kullanılabilir hale getirmiştir (27-109). AÇ' den elde edilen biyokömürün kül içeriği diğer biyokömürlerin kül içeriğinden yüksektir (28). AÇ' den elde edilen biyokömür özelliklerini iyileştirmek için farklı biyoküteller ile karıştırma denemeleri yapılmıştır. Xu ve arkadaşlarının (29) yaptığı çalışmada, fındık kabuğu ile AÇ karıştırılmış ve farklı sıcaklıklardaki pirolizi sonucu gözenek yapısındaki değişiklikler gözlemlenmiştir. Bir başka çalışmada ise ceviz kabuğu karıştırılan AÇ' nin pirolizi sonucu elde edilen biyokömürün amonyum (NH<sub>4</sub>) ve fosfat (PO<sub>4</sub>) giderim özellikleri araştırılmış ve olumlu etkileri tespit edilmiştir (30). Karbonlaştırma yöntemleri de çeşitlilik göstermektedir. Mikrodalga teknolojisi bunlardan bir tanesidir. Mikro dalga ile karbonlaştırılan AÇ' nin gözenek yapıları ve temel yapıları diğer yöntemlere göre farklılık göstermektedir (31). AÇ 'nin değerlendirilmesi çalışmalarından bir tanesi de piroliz yöntemi ile aktif karbon haline dönüştürülmesidir (32). AÇ' nin aktif karbona dönüştürülmesi ve elde edilen aktif karbonların özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları hız kazanmıştır (33). Fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri ile elde edilen aktif karbonlar genellikle iyi bir adsorban olduğundan farklı filtrasyon çalışmalarında kullanımına yönelik araştırma ve denemeler yapılmıştır. Yapılan ilk çalışmalardan bir tanesi AÇ' den elde edilen aktif karbonun AAT' lerde su arıtımında kullanımının araştırılması olmuştur (34-35). K. Björklund, ve

L. Y. Li (36) yaptıkları çalışmada AÇ 'den elde etikleri aktif karbonu kirletilmiş yağmur suyu filtrasyonunda kullanmışlardır. Aktif karbonun adsorban yeteneğinden dolayı gaz arıtımında kullanılması için de denemeler yapılmıştır (37-38). AÇ' den yüksek kalitede aktif karbon elde etmek için yüksek sıcaklıkta kimyasal aktivasyon yöntemi tercih edilir (39-40). Fiziksel aktivasyonla aktif karbon üretimi prosesinde H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> gazları kullanılarak gözenek yapıları ve adsorpsiyon yeteneklerinin karşılaştırılması yapılmıştır (41-42). AÇ hammaddesinden KOH ile yapılan kimyasal aktivasyondan elde edilen aktif karbonların su arıtımında ve enerji depolamada kullanımına yönelik çalışmalardan pozitif sonuçlar elde edilmiştir (43-44). HCl ile yapılan kimyasal aktivasyondan elde edilen AÇ kaynaklı aktif karbon baca gazından civa giderimine denemler yapılmıştır (45). Nitrik asit (ZnCl<sub>2</sub>) ile aktifleştirilen aktif karbonun kurşun gideriminde kullanılmıştır (46). AÇ' ye NaCl ve KCl karışımları yapılarak piroliz sırasında çıkan uçucu gazlar incelenmiş ve kirletici uçucuların miktarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir (47). AÇ 'den elde edilen aktif karbonların kalitesinin yükseltilmesi amacıyla Hindistan cevizi kabuğu ile karıştırılması denenmiş ve karışımdaki organik miktarının artırılmasına bağlı olarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir (48). AÇ' nin yüksek kalorifik değeri yakma ve gazlaştırma proseslerine eğilimi artırmıştır (22-49-50-51-52). AÇ uçucu madde açısından zengin olduğundan gazlaştırma prosesi için potansiyel bir biyolojik kaynaktır. Gazlaştırma prosesinde elde edilen gazların yoğunlaştırılması ve filtre edilmesi ile sıvı yakıtlar ve farklı kimyasallar elde edilebilmektedir (53-54-55). Aynı zamanda hidrotermal sıvılaştırma yöntemi (HTL) sıvı ve katı yakıt elde edilmesi de mümkündür (56-57-58). Isıya dayalı sistemlerle yapılan proseslerde, AÇ içeriğindeki patojenler yok edilirken ekzotermik reaksiyonlar neticesinde bir miktar ısı enerjisi de açığa çıkmaktadır. Aynı zamanda yakma ve gazlaştırma prosesleri ağır metallerin bir kısmının buharlaşmasına da sebep olur (59).

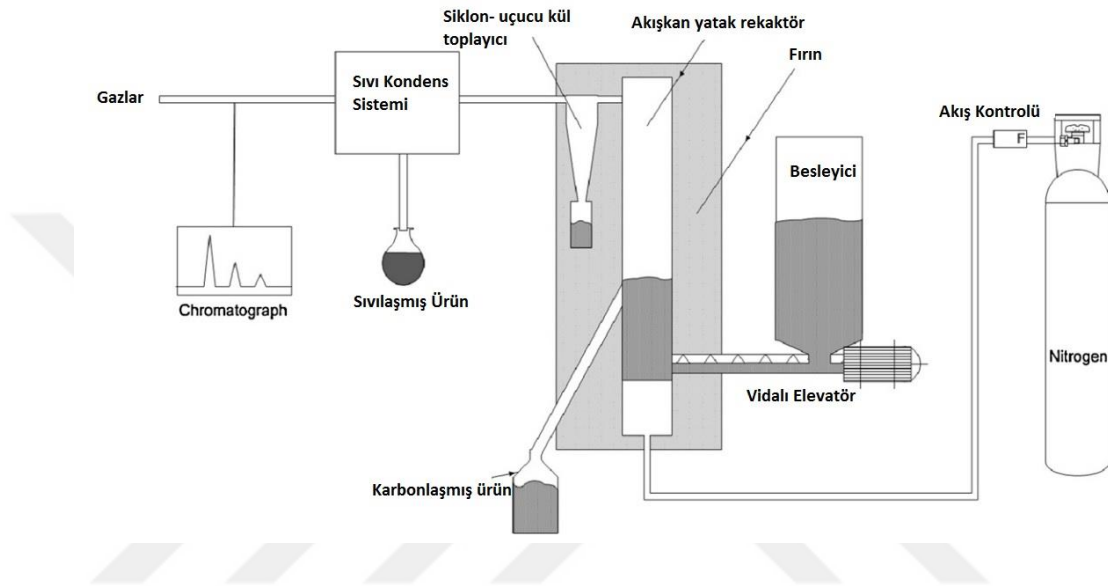
Literatür taramalarında ve araştırmalarımız neticesinde AÇ ve aktif karbon ile birçok çalışma yapılmış ancak AÇ' den elde edilen aktif karbonun bir yakıt katkısı olarak kullanımına yönelik herhangi bir çalışmaya ulaşamamıştır. Bu tez çalışmasında AÇ' den farklı yöntemlerle elde edilen aktif karbonlar nanopartikül boyutlarında dizel yakıtı karıştırılmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan yakıt karışımları ağır hizmet tipi dizel motorda kullanılarak, karışımların motor performansı ve emisyonları açısından deneysel olarak araştırılması yapılmıştır.

Son zamanlarda çevresel duyarlılığın da artmasına bağlı olarak özellikle dizel motorların verimliliklerini artırmak ve çevresel etkilerini azaltmak amacıyla çalışmalar hız kazanmıştır. Geniş yüzey alanı ve yüksek ısı transfer katsayısı nedeniyle metal nano partiküllerin dizel yakıt katkısı olarak kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (14). Soudagar ve arkadaşları (60) yaptıkları çalışmada nano partikül dizel yakıt karışımlarının ve karışım oranlarının motor performansını artırdığı ve emisyon değerlerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir (41). Yapılan çalışmaların çoğu daha çevreci bir yakıt olması sebebiyle biyodizel yakıt üzerinde yoğunlaşmıştır (61-62). V. Chandrasekaran ve arkadaşları (63) ham yağı temiz dizel yakıtı dönüştürme ve verimliliği artırmak için metal nano partikül yakıt katkısı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Alümina nano partikülünün yakıt katkısı olarak kullanıldığında emisyon değerlerini düşürücü etkisi tespit edilmiştir (64).

Son yıllarda endüstrileşmenin artması ve tarımın endüstrileşmesi insan yaşam alanlarının kentlere yönelmesini beraberinde getirmiştir. Bunun sonucu kentleşen yoğun nüfus bölgesel çevre kirliliği konusunda önemli oranda artışa sebep olmuştur. Hava kirliliği doğal gaz kullanılarak kısmen kontrol edilebilirken temel insan ihtiyaçları sonucu ortaya çıkan katı ve sıvı atıkların miktarları çok büyük boyutlara ulaşmıştır. Katı atıklar düzenli depolama yanında ayıklanarak değerlendirilemeyen kısmının yakılarak enerji üretiminde kullanımı önem kazanmaya başlamıştır. Ülkemizde Ankara, İstanbul, Kayseri gibi büyük şehirler başta olmak üzere birçok ilde tesisler kurularak faaliyete geçmiştir.

Atık su arıtma tesislerinin atık ürünü olarak çıkan ham aktif çamurun bertarafı veya değerlendirilmesi konusu belediyeler için oldukça önem teşkil eden bir konudur. Bu konu ile ilgili olarak hem laboratuvar ölçeğinde hem de saha uygulamalarında birçok yöntem ve bu yöntemlerin etkinlikleri konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (103-104). Bu çalışmalar arasında tekstil sektöründe renk ve koku adsorpsiyonu (65), atık suların filtrasyonu, baca gazlarının filtre edilmesi, vb. uygulamalar yer almaktadır. Özellikle atık su filtrasyonu en önemli uygulamalar arasında yer almaktadır. Sadece Kayseri ilinde ileri atık su arıtma tesisinin bir günlük atık çamur miktarı 300 ton' dur. Bu çamurun değerlendirilmesi konusu hala araştırma konusudur.

İnsanın en temel ihtiyaçlarından belki de en önemlisi su için durum farklıdır. Atık sular genel olarak biyolojik ve kimyasal arıtma sonucu tam olarak arıtılmadan nehirlere ve göllere verilmektedir. Dünya da bir ülkede metropoller yeni ve ileri teknolojiler kullanarak arıtılmış suyu yeniden içme suyu olarak kullanmakta olup İsrail örneğinde olduğu gibi tarım alanlarının sulanmasında kullanılmaktadır (66).



Şekil 10. Karbonizasyon fırın örneği

Atık su arıtımında aktif çamur üretimi çok büyük miktarlarda olup kurutulduğunda değerlendirilmesi gereken hammadde olarak görülmelidir. Şekil 10' da kurutulmuş çamurun akışkan yataklı bir reaktörde karbonlaştırma prosesi gösterilmektedir. Ülkemizde yaygın olmamakla beraber bu ve benzeri tez çalışmaları işle birlikte yeni iş alanları oluşturmakla beraber önemli katma değer oluşturacak değerli ürünlere de dönüştürülmelidir. Yapısı gereği başka bir kullanım için uygun olmamakla beraber kalorifik değeri ve karbon içeriği nedeniyle aktif karbon üretiminde kullanılabilirliği önemlidir.

A. Mendez ve arkadaşları (67) İspanya Madrid iline ait anaerobik ve aerobik şartlarda elde edilen 10 farklı aktif çamurun 450 °C sıcaklıkta piroliz edip kalan katı malzemeyi hava ile 275 °C sıcaklıkta aktifleştirerek aktif karbon özelliklerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada piroliz edilmiş materyallerin karbon içeriğini %26,2-43,4 aralığında, aktif çamur piroliz verimini ise %39,4-59,2 aralığında elde etmişlerdir. Aktif karbonların yüzey alanlarını 16-105 m<sup>2</sup>/gram aralığında belirlemişlerdir.

Isabel Fonts ve arkadaşları (68) sıvı ürün üretiminde kullanılan farklı piroliz yöntemleri üzerine derleme makale hazırlamışlardır. Aktif çamurdan sıvı ürün üretiminde; katalitik ve katalitik proseslerin kullanıldığını, sıvı verim üzerine sıcaklığın, gaz tutulma süresi, katı besleme hızı, aktif çamurun tane boyut, reaksiyon atmosfer bileşimi, aktif çamur bileşiminin etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Salman Raza Naqvi ve arkadaşları (69) termogravimetrik analiz ile yüksek kül içerikli aktif çamurun pirolizi için termo-kinetiğini çalışmışlardır. Şekil 11' de gösterilen kurutulmuş aktif çamur 5, 10 ve 20 °C/dakika ısıtma hızlarında 25-800 °C sıcaklık aralığında azot atmosferinde ısıtılarak kinetik çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada piroliz işleminde aktif çamurun termodinamiksel enerji parametrelerini ( $\Delta H$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta S$ ) belirlemişlerdir.

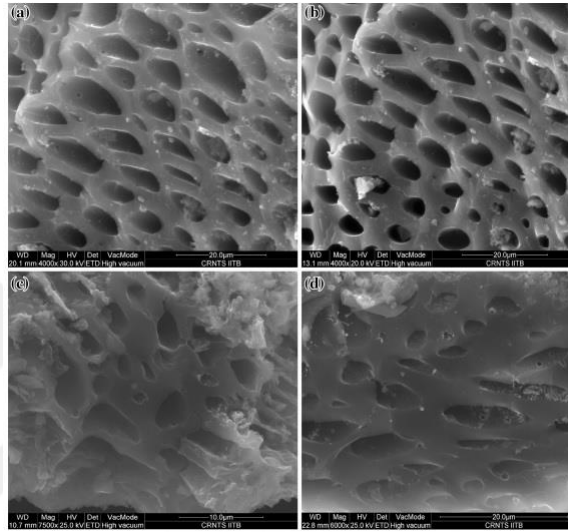


*Şekil 11. Kurutulmuş ham çamur*

Leslaw Swierczek ve arkadaşları (70) ham aktif çamurun inşaat sektöründe potansiyel kullanımını üzerine bir derleme makale hazırlamışlardır. Aktif çamurun beton harcı, çimento bulamacı ve farklı inşaat malzemelerinin üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

Anirudh Gupta ve Anurag Garg (71) Hindistan Navi Mumbai yerleşkesindeki atık su arıtma tesisinden elde edilen aktif çamurdan çinko klorür kullanarak kimyasal yöntemle aktif karbon elde etmişlerdir. Elde edilen aktif karbon ile sabit yatak adsorpsiyon kolonunda sürekli proseste sentetik ve simüle edilmiş atık su içerisinde ciprofloxacın (CPX) uzaklaştırılmasını çalışmışlardır. Bu amaçla adsorban olarak ham aktif çamur, aktif çamur temelli aktif karbon ve ticari granül aktif karbon kullanmışlardır. Yaptıkları

çalışmada CPX konsantrasyonunu =50 mg/L, yatak yüksekliğini=4 cm ve atık su akış hızını=1.5 mL/dakika olarak almışlardır. Ham aktif çamur için BET yüzey alanını  $5.5 \pm 0.09 \text{ m}^2/\text{g}$ , aktif çamur temelli aktif karbon için  $332 \pm 24 \text{ m}^2/\text{g}$  ve ticari granül aktif karbon için  $359 \pm 15 \text{ m}^2/\text{g}$  değerlerinde olduğunu belirlemişlerdir. Aktif çamur temelli aktif karbon için doyma adsorpsiyon kapasitesini qs (mg/g)  $13.78 \pm 0.7$  ve ticari granül aktif karbon için  $16.03 \text{ qs (mg/g)}$  elde etmişlerdir (71).



Şekil 12. Aktif Karbon SEM görüntüsü

Şekil 12’de örnek bir aktif karbonun SEM görüntüsü yer almaktadır. SEM görüntüsü incelendiğinde aktif karbonun üstün adsorpsiyon yeteneğinin çok gözenekli yapılardan kaynaklandığı görülmektedir.

# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. Problem Durumu

Ülkemizde 2023 Çevre Politikası kapsamına alınan konuların başında her il ve ilçede atık su arıtma tesislerinin kurulması ve faaliyete geçmesi konusu yer almaktadır. Örneğin; Kayseri ilinde toplamda farklı kapasitelerde ve özelliklerde olmak üzere 26 adet atık su arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerden bir tanesi ileri biyolojik arıtma tesis olarak faaliyet yürütmekte olup günlük ortalama 300 ton/gün atık çamur çıkarmaktadır. TÜİK verileri ülkemizde atık su arıtma tesislerinden yıllık ortalama 2.300.105 ton/yıl atık çamur çıktığını göstermektedir. Ancak eldeki veriler ışığında ve artan şehirleşme ile, gerçek atık çamur miktarının bu değerlerin çok daha üzerinde olduğu söylenebilir (72).

Atık su arıtma çamuru ile yaygın olarak depolama, derin deşarj veya yakma yöntemleri ile mücadele edilmeye çalışılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin de ikincil bir çevre felaketine yol açma olasılığının arttığını söyleyebiliriz. Son olarak Marmara denizinde oluşan musilaj bu düşüncenin doğruluğunu ispatlar niteliktedir.

Avrupa ülkelerinde atık su arıtma çamuru genel olarak; %38 yakma, %17 depolama, %45 yeniden değerlendirilmede kullanılır. Ancak bu oranlar her yıl değişiklik göstermektedir. Çünkü bu atık konusu sadece ülkemizin değil tüm dünyanın yıllardır üzerinde çalıştığı ve çalışmaya devam ettiği öncelikli konular arasındadır (73).

Ülkemiz su zengini bir ülke olmamakla beraber, veriler gösteriyor ki; ülkemiz yüzey sularının %79' u kirlenmiş durumdadır. Bu kirliliğin ana etmenlerinden birisi de tamamen ve/veya kısmen arıtılmayan sanayi ve bireysel atık sulardır. Ülkemiz su kaynaklarının durumunu Tablo 1.1 ile özetlenebilir (4).

Tablo 1.1. Türkiye yer altı suları durumu (4)

Oran	Derece	Açıklama
%43,3	2. Sınıf	Çok kirlenmiş su
%19,9	3. Sınıf	Kirlenmiş su
%15,6	2. Sınıf	Az kirlenmiş su
%21,2	1. Sınıf	Çok iyi, içme suyu

Ülkemizde atık su arıtma tesislerinin tam anlamıyla işletilememesinin sebebi atık çamuru ile mücadele yöntemlerinin tam anlamıyla gelişmemesi ve yüksek bertaraf maliyetleri olarak gösterilebilir. Dünyada bu konu ile ilgili olarak birçok farklı uygulama bulunmaktadır. Bu uygulamalardan bir tanesi geliştirmesi devam eden bir yöntem olan piroliz teknolojisidir (74).

Bu teknolojinin yaygınlaşması ve gelişimi ile atık çamur bertaraf maliyetleri düşmekte ve atık niteliğindeki bir malzeme nitelikli ve kullanım alanı her geçen gün genişleyen faydalı bir ürüne dönüşmektedir.

Ortalama %87-%75 oranlarında yaş halde bulunan atık çamur kurutma prosesine tabi tutularak ortalama %88 kuruluk derecesine ulaşmaktadır. Kurutulmuş atık çamur istenildiği takdirde alternatif yakıt olarak çimento fabrikaları gibi işletmelere verilebilmektedir.

Kurutulan atık çamur piroliz yöntemi ile karbonize edilmektedir. Bu proses sürecinde ve sonunda istenildiği takdirde yan ürünler de elde edilebilmektedir (pirolitik yağ, vb.). Karbonlaştırılan atık çamur farklı kullanım alanlarında değerlendirilmek üzere depolanmaktadır. Karbonlaştırılan atık çamur tarımdan sektörden, endüstriyel sanayiye uygulama alanlarında değerlendirilebilmektedir.

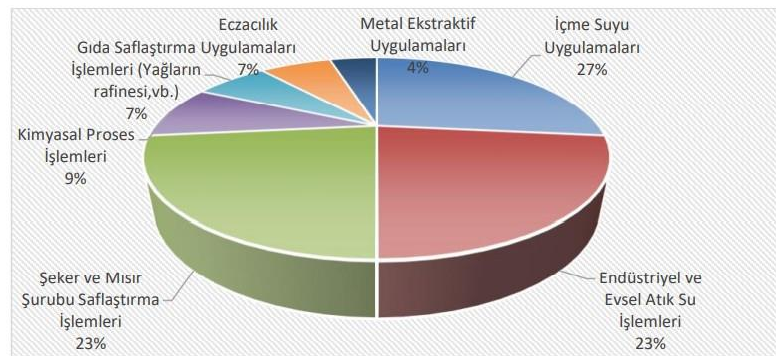
Karbonlaştırılmış atık çamur fiziksel veya kimyasal aktivasyon prosesine tabi tutularak aktif karbon haline dönüştürülebilmektedir. Buradan elde edilen aktif karbonlar atık su arıtma tesislerinde son proses olarak deşarj suyunun arıtılmasında kullanılabilir.

## 1.2. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada aktif karbonun dizel yakıt katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ve arıtma çamurunun bu konuda değerlendirilip değerlendirilemeyeceği araştırılarak literatüre katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Atık su arıtma tesisinde atık ürün olarak açığa çıkan ve kullanım alanı olmayan atık çamurun kurutularak önce karbonizasyonu daha sonra kimyasal ve fiziksel aktivasyon yöntemleri ile aktif karbon üretiminde kullanımının ve kalitesinin belirlenmesi çalışmanın amaca uygunluğunu desteklemek için yapılmaktadır. Aynı zamanda ham aktif çamurdan aktif karbona kadar tüm ara ürünlerin (karbon, kül, pirolitik sıvı) karakterizasyonları yapılmıştır. Atık özelliğinde olan ve bertaraf yöntemleri açısından Ar-Ge çalışmaları devam eden atık çamurun karbon ve aktif karbona dönüştürülerek nitelikli bir ürün formuna getirilmesi ve bu ürünlerin kullanım alanlarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda karakterizasyon analizleri ile kullanım amaçları için deneysel çalışmalar yapılmıştır.

## 1.3. Araştırmanın Önemi

Aktif karbonun kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Önceki yıllarda su filtrelerinde, sanayi arıtma proseslerinde yoğun şekilde kullanılan aktif karbon günümüzde Şekil 1.1' de görüldüğü gibi eczacılıktan kozmetiğe kadar farklı kullanım alanlarında değerlendirilmeye başlanmıştır (75).



Şekil 1.1. Aktif Karbon Kullanım Alanları Tablosu

Avrupa ülkelerinde atık su arıtma çamuru genel olarak; %38 yakma, %17 depolama, %45 yeniden değerlendirmede kullanılır. Ancak bu oranlar her yıl değişiklik

göstermektedir. Çünkü bu atık konusu sadece ülkemizin değil tüm dünyanın yıllardır üzerinde çalıştığı ve çalışmaya devam ettiği öncelikli konular arasındadır (73).

Yapılan bir çalışmada, piroliz sisteminin sıcaklığı, nem içeriği ve verimlilik üzerine belediye kanalizasyon çamuru, yenilenebilir biyo ve yüksek katma değerli ürünlere (biyo kömür) dönüştürülmüştür. Optimal koşullarda, biyo yakıt verimi ağırlıkça yaklaşık %48 iken biyo kömür verimi ağırlıkça yaklaşık %52 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular; atık çamurun biyo yakıtlara ve biyo kömüre dönüştürülmesinin atık su arıtması için uygun bir yaklaşım olduğunu göstermiştir (77).

Başka bir çalışmada aktif atık çamurdan transesterifikasyon yöntemi ile biyo dizel üretimi gerçekleştirilebilmiştir (49). Bu teknolojinin yaygınlaşması ve gelişimi ile atık çamur bertaraf maliyetleri düşebilmekte ve atık niteliğindeki bir malzeme nitelikli ve kullanım alanı her geçen gün genişleyen faydalı bir ürüne dönüşebilmektedir.

Bir çalışmada ise, farklı kütle oranlarına sahip bahçecilik atıkları ve kanalizasyon çamuru, farklı sıcaklıklarda buharla birlikte gazlaştırılmıştır. Sonuçta ise; karışımlarda atık çamurun oranının artmasıyla H<sub>2</sub> içeriğinin arttığını ve sentez gazı veriminin azaldığını göstermiştir. Bu çalışma, atık çamuru buharla birlikte gazlaştırmanın, temiz ve verimli bir atık yönetimi prosesi için arzu edilen sentez gazı üretmesi için umut vaat eden bir teknoloji olduğunu gösterir. Ortalama %87-%75 oranlarında yaş halde bulunan atık çamur kurutma prosesine tabi tutularak ortalama %88 kuruluk derecesine ulaşmaktadır. Kurutulmuş atık çamur istenildiği takdirde alternatif yakıt olarak çimento fabrikaları gibi işletmelere verilebilmektedir (78-107).

Karbonlaştırılmış atık çamur fiziksel veya kimyasal aktivasyon prosesine tabi tutularak aktif karbon haline dönüştürülebilmektedir. Buradan elde edilen aktif karbonlar farklı birçok alanda kullanılabilir. Buradan elde edilen aktif karbonlar farklı birçok alanda kullanılabilir.

Aktif karbon gözenekli yapısı ve üstün adsorpsiyon kabiliyetinden dolayı birçok farklı kullanım alanına sahip bir üründür. Fazla kullanım alanı olduğundan ihtiyaç da aynı ölçekte fazla olmaktadır. Aktif karbona ihtiyacın artması ile farklı hammaddelerden aktif karbon üretme çalışmaları hızlanmıştır (79). Aktif karbon Hindistan cevizi kabuğu, kömür, talaş vb. biyokütlelerden üretilmektedir (80). Özellikle kimyasal aktivasyon ile üretilen aktif karbonların yüzey alanları daha yüksek çıkmaktadır (81). Bu da farklı

alanlarda kullanıma olanak sağlamaktadır (82-83-84). Birçok kullanım alanı bulunan aktif karbon, otomotiv endüstrisinde de kullanılmaktadır. Gaz adsorpsiyonu, otomotiv endüstrisinde aktif karbonun ana kullanımlarından biridir. Benzinli motorların yakıt depolarındaki ısı ile yakıtın buharlaşmasını sağlar ve patlama riskini ortadan kaldırır. Diğer bir kullanım ise polen filtrelerindedir. Aktif karbon filtreler araca alınan havayı filtre ederek hava kalitesini artırır.



## 2. BÖLÜM

### YÖNTEM VE MATERYAL

Bu çalışmada dizel yakıtı ile aktif karbonu karıştırılarak bir yakıt karışımı hazırlanmıştır. Yakıt karışımlarında kullanılan aktif karbon, fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri ile arıtma çamurundan elde edilmiştir. Dizel yakıt aktif karbon ile 50 ppm ve 100 ppm oranlarında karıştırılmıştır.

Deneyler, yakıt karışımı 6 silindirli, 234 HP, 2300 d/dk Nissan marka direkt püskürtmeli dizel motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler 600 rpm sabit hızda ve beş farklı yükte (yüksüz, 50Nm, 100Nm, 150Nm ve 200Nm) yapılmıştır.

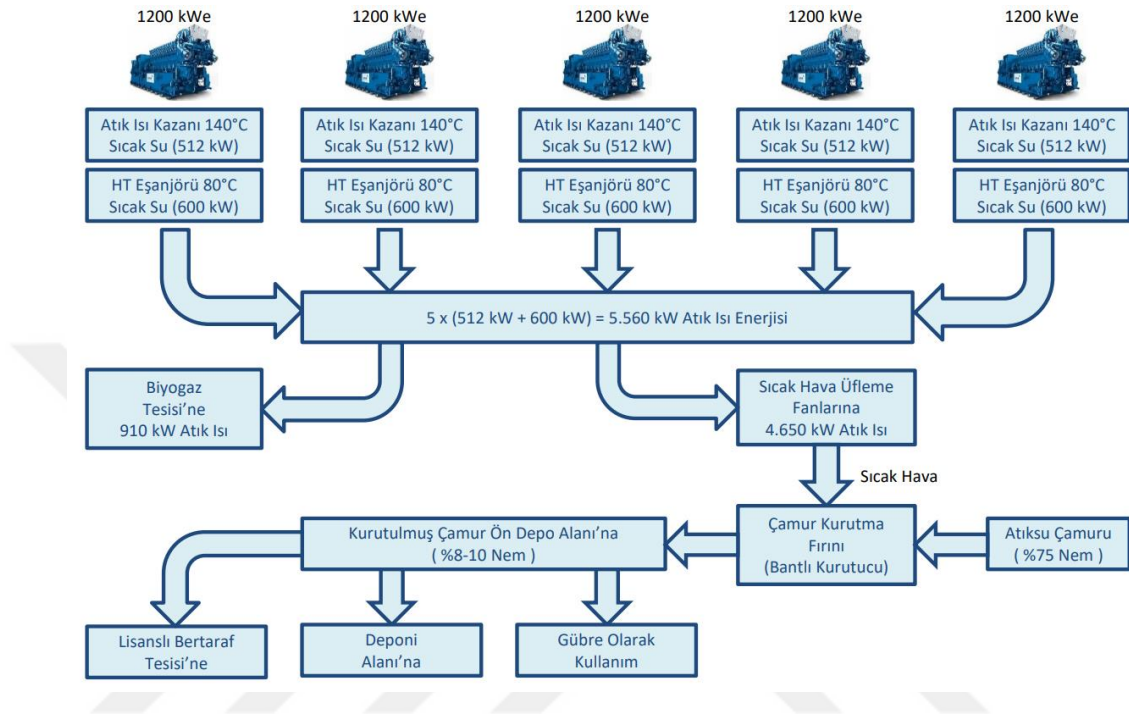
#### 2.1. Çamur Kurutma

Denemelerde hammadde olarak kullanılan atık çamur; Samsun’ da bulunan Samsun Avdan Enerji Üretim ve Ticaret A.Ş.’ nin işletmeciliğini yapmış olduğu belediye atık sahasında bulunan biyogaz tesislerinden temin edilmiştir. Bu tesislerde bulunan dekantörde susuzlaştırılan atık çamur Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi bantlı kurutma tesisinde kurutulmaktadır (85).



Şekil 2.1. Bantlı atık çamur kurutma tesisi

Bantlı kurutucunun çamuru kurutması için ihtiyacı olan ısı enerjisi, Şekil 2.2' de görüldüğü gibi elektrik üreten gaz motorlarından çıkan atık ısı enerjisinden elde edilmektedir (85).



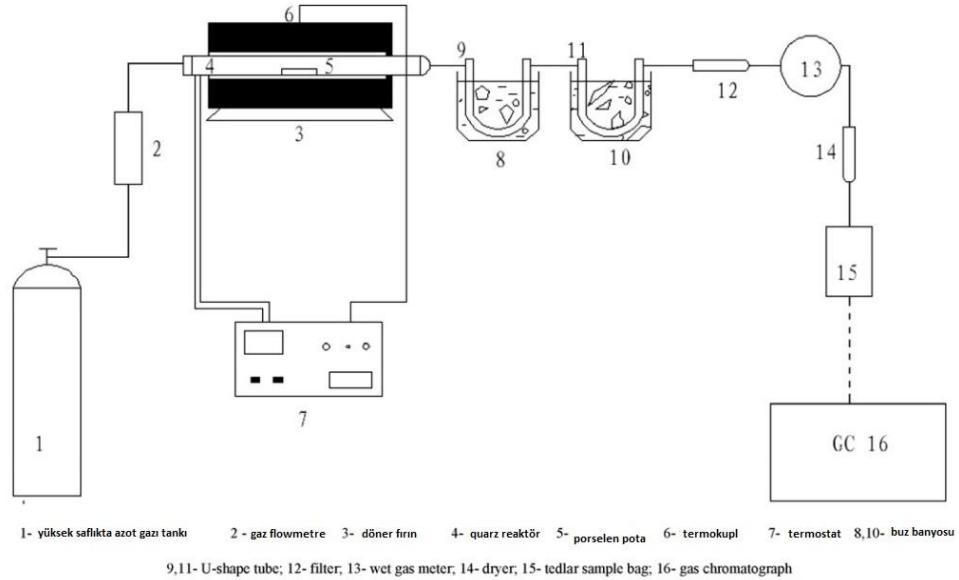
Şekil 2.2. Avdan enerji atık ısının kullanımı şeması

Tesiste bulunan beş adet 1200 kWe gücünde olan gaz motorlarından elde edilen atık ısı ile çamur kurutma tesisinin ihtiyacı olan ısı enerjisi karşılanmaktadır. Atık ısı ile 110 °C sıcaklıkta, ortalama 80.000 m<sup>3</sup>/h debideki ısıtılmış hava fanlar ile bantlı çamur kurutma tesisine gönderilir. Ortalama nem düzeyi %75-80 olan atık çamurun kurutma prosesi sonrasında ortalama nem düzeyi %10-15 aralığında olmaktadır. Kurutma tesisinde günlük ortalama 150 ton atık çamuru kurutarak ortalama 30 ton/gün kapasitesinde kuru çamur elde edilebilmektedir.

## 2.2. Karbonizasyon

Çalışmamızda kullanacağımız karbonlaşmış AÇ' ları elde etmek için Malatya İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde yer alan deney test düzeneği kullanılmıştır. Bu deney düzeneği AÇ' ları karbonlaştırmak için piroliz prosesini kullanmaktadır. Piroliz ve deney düzeneği için öncelikle literatür taraması yapılmıştır. Şekil 2.3' te görülen çalışmalarda kullandığımız deney düzeneğinin ve deney düzeneğinde yürüttüğümüz piroliz prosesinin literatürde bulunan birçok

çalışmada kullanıldığı tespit edilmiştir. B. Zang ve arkadaşlarının (74) yapmış olduğu deneysel çalışmalarda %84,2 oranında yaş halde bulunan atık su arıtma çamuru farklı sıcaklıklarda pirolize edildi ve açığa çıkan gaz ve sıvı ürünleri incelendi.



Şekil 2.3. Piroliz fırın sistemi şematik gösterimi

A. Dominguez ve arkadaşları (86) yaptıkları çalışmada; piroliz işlemi ile kanalizasyon çamurundan sentezgazı üretmenin fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Piroliz işleminin bir fonksiyonu olarak üretilen gazın bileşimindeki değişiklikler ve çamurun başlangıçtaki nem içeriğinin etkileri de araştırılmıştır. Sentez gazı oranları karşılaştırdıkları sistemlerde % 94 oranına kadar çıktığını tespit etmişlerdir.

Piskorz ve arkadaşları (87) laboratuvar ölçekli akışkan yataklı reaktör kullanarak arıtma çamurlarının ani pirolizini incelemiştir. İşlem sırasında, kurutulmuş ham ve aktif çamur karışımı 400-600°C arasındaki sıcaklıklarda 1 saniyeden daha az süreli bekleme sürelerinde piroliz edilmiştir.

Chu vd. (2001) atık su arıtma çamurlarının pirolizi sonucu oluşan yoğunlaşmayan gazın bileşimini incelemiştir. Söz konusu çalışmada pirolizden elde edilen gazın hidrojen, karbon monoksit, karbon dioksit ve metandan oluştuğu belirlenmiştir (88).

Piroliz gibi atık yakmaya alternatif bertaraf teknolojilerinin en önemli üstünlükleri, baca gazı ve kül/cüruf arıtma maliyetlerinin düşük olmasıdır. Ancak söz konusu teknolojiler

yeni gelişmekte oldukları için henüz yeterli sayıda gerçek ölçekli tesis ve makul sürelerde başarılı işletme deneyimleri yoktur (9).

Kuru çamur deney düzeneğinde farklı sıcaklıklarda karbonlaşma prosesine tabi tutuldu. Aktif çamur numunesi Şekil 2.4' te görülen silindirik, 3 bölge ısıtmalı, sıcaklık ayarlı fırın içerisine yerleştirilen silindirik reaktör içerisinde yapılmıştır.



Şekil 2.4. Karbonizasyon deney düzeneği-1

Karbonizasyon işlemi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C sıcaklıklarda 100 ml/dak azot akış hızında, 10 °C/dak, 30 °C/dak ve 50 °C/dak ısıtma hızında yapılmıştır. Deneylerde numuneler maksimum sıcaklıklarda 1 saat kalmıştır. Şekil 2.6' da proses süresini tamamlayan karbonlaşmış AÇ görülmektedir. Karbonlaşmış AÇ oksijensiz (inert) ortamda oda sıcaklığına soğutulmuştur.

Karbonizasyon deneyleri iki farklı yüksek sıcaklık fırınında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.4.' te görülen yüksek sıcaklık fırınının numune konulan tüp tipi 310 paslanmaz çelik olup tüp boyu uzunluğu 140 cm ve tüp çapı 9 cm' dir.



Şekil 2.5. Karbonizasyon deney düzeneği-2

Şekil 2.5. 'te görülen yüksek sıcaklık fırını tüp tipi kuvars cam olup çapı 5 cm ve tüp boyu uzunluğu 120 cm' dir. İki fırında aynı çalışma prensibi ile çalışmakla birlikte sadece kapasiteleri birbirlerinden farklıdır.



Şekil 2.6. Karbonlaşmış atık çamur

Oda sıcaklığına soğutulan numuneler reaktörden çıkarıldıktan sonra Şekil 2.7' de görüldüğü gibi ağız kapaklı kaplarda sonraki deneyler için saklanmıştır.



Şekil 2.7. Kodlanan karbonlaşmış numuneler

Deney süresince reaktör çıkışına kondenser takılarak kondense edilebilir sıvı ürün alınmıştır (Şekil 2.8). Karbonize katı ve sıvı tartımı farkından gaz verimi hesaplanmıştır. Gaz fazının içeriği test kitlerinin temin edilemediğinden belirlenememiştir.



Şekil 2.8. Kondenser cam tüp

Bu tüp sürekli su akışı ile soğutulmaktadır. Piroлиз başlaması ile çıkan yanıcı ve yanıcı olmayan gazlar bu yoğunlaştırıcı tüpten geçerken bir kısım yoğunlaşma gerçekleşmektedir. Yoğuşan gazlar bir beher kabında toplanmaktadır (Şekil 2.9). Deneme öncesi darası

alınış olan beher kabında biriken pirolitik yağ ve katran sıvısı deneme sonrasında tartılarak kayıt altına alınmıştır.



*şekil 2.9.* Karbonizasyon sonucu kondenser kullanılarak elde edilmiş olan piroliz sıvısı

Her deney sonrası karbonlaşan numuneler ortam sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra inert ortam tũpũnũn içerisinden ęıkarılmaktadırlar. Karbonlaşan ũrũnlerin sıcaklıkları ortam sıcaklığına gelene kadar N<sub>2</sub> gazı 100 ml/dk oranında ortama verilmeye devam etmektedir. İnert ortam şartları bozulduğu takdirde karbonlaşan ũrũnlerin yanma riski bulunmaktadır. Bu durumda ũrũnũn hem kũl miktarı artmakta hem de karbonlaşan ũrũn kalitesi ve miktarı azalmaktadır.



*şekil 2.10.* İnert ortam bozulması sonucu yanan karbonlaşmış Aç

Şekil 2.10' da görüldüğü gibi yanan ürünlerin bir kısmı tamamen kül olmuş ve kahverengi bir görünüm almış bir kısmı da yanma sonucu yüzeysel kayıplara uğramıştır.

### 2.3. Aktif Karbon Üretimi

Çalışmada kullanılan aktif karbon üretimi Malatya İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan yüksek sıcaklık fırınlarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.11). Literatürde bulunan aktif karbon hazırlama yöntemlerinden fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri bu çalışmada kullanılmıştır. Fiziksel ve kimyasal aktivasyonlar; farklı sıcaklıklarda ve farklı sıcaklık artış hızlarında elde edilen karbonlaşmış ve kodlanmış numuneler ile yapılmıştır (100). Ayrıca kurutulmuş çamurdan da kimyasal aktivasyon deneyi yapılmıştır. Elde edilen aktif karbonlar arasından SAÇK12 ve SAÇK24 numuneleri bir sonraki deney aşamaları için seçilmiştir. SAÇK12 ham çamurdan KOH ile kimyasal aktivasyon yöntemi ile üretilmiştir. SAÇK24 ise H<sub>2</sub>O kullanılarak fiziksel aktivasyon yöntemi ile üretilmiştir.



Şekil 2.11. Yüksek sıcaklık fırını (inert ortam)

#### 2.3.1. Fiziksel Aktivasyon

Fiziksel aktivasyon yönteminde aktifleştirici gaz olarak su buharı kullanıldı. Farklı sıcaklıklarda ve farklı sıcaklık artış hızlarında üretilen karbonlaşmış AÇ numuneleri fiziksel aktivasyon denemeleri için tasarlanan düzenek içerisinde gerçekleştirildi (Şekil

2.12). Üretilen düzenek yüksek sıcaklığa ve korozyona dayanım direnci yüksek olan 310 S paslanmaz çelik malzemeden üretildi. Bu ekipmanın kullanılmasının gerekçesi olarak; oksijen ile ürünün temas etmesi veya fiziksel aktivasyonda düzensiz dağılan su buharının ürünü yakması olarak gösterilebilir. Deney düzeneği 1 için tasarlanan paslanmaz çelik tüpte fiziksel aktivasyon denemeleri gerçekleştirildi.



Şekil 2.12. Tasarlanıp üretilen 310 paslanmaz çelik tüp

Karbonlaşmış AÇ ları Şekil 2.12.' deki tüpe konulduktan sonra ortama su buharı ve azot gazı verilerek 900 °C maksimum sıcaklıkta 1 saat, 100 ml azot akış hızında 10 °C/dak sıcaklık artış hızında aktifleştirildi (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Fiziksel aktivasyon düzeneği

Oda sıcaklığına soğutulan numuneler reaktörden çıkarılarak karakterizasyonlar için saklanacaktır. Azot ile inert (oksijensiz) ortam oluşturulduğundan elde edilen aktif karbonlar yanmadan elde edilebildi (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Aktif karbon (fiziksel aktivasyon)

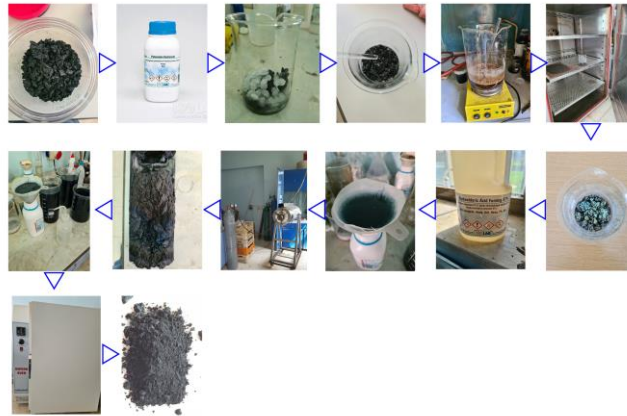
Yapılan denemelerden birinde çelik tüp kapağı tam olarak kapatılmadığı için ortam içerisine giren hava sonucunda proses sonrası ürünlerde yanma meydana geldiği görüldü (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Hava teması ile yanan aktif karbon

### 2.3.2. Kimyasal Aktivasyon

Kimyasal aktivasyon karbonlaşmış veya ham olarak bulunan numuneye asit ile işlem gördürerek yapılan sıralı işlemlerden oluşur (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Kimyasal aktivasyon iş akışı

Kimyasal aktivasyon deneylerinde karbonize katı ürüne KOH farklı oranlarda eklenerek denemeler yapılmıştır. KOH eklenen karbonize ürüne KOH eriyinceye kadar bir miktar saf su ilavesi yapılarak karıştırılmıştır. Karışım bir süre sonra ekzotermik bir reaksiyona sebebiyet vermektedir. Ekzotermik reaksiyon sonucu kuruyan karışım sonrasında 800 °C maksimum sıcaklıkta 1 saat 100 ml azot akış hızında, 10 °C/dak ısıtma hızında aktive edilmiştir. Proses sonunda oda sıcaklığına soğutulan malzeme reaktörden çıkarıldıktan sonra seyreltik HCl ile nötralize edilmiş ve saf su ile gümüş nitrat kullanılarak klorür tepkimesi vermeyinceye kadar yıkanmıştır. Kurutulan aktif karbonlar karakterizasyon için kodlanarak saklama kaplarında muhafaza edilmiştir.



Şekil 2.17. ½ Oranında KOH karışımı karbonlaşmış AÇ

Kimyasal aktivasyon deneylerinden birincisi SAÇK12 koduyla kurutulmuş çamurdan aktif karbon elde etme denemidir. 50 gr ağırlığında kurutulmuş ham çamur, 100 gr

ağırlığında KOH ile  $\frac{1}{2}$  oranında yaklaşık 50 ml kadar saf su ile karıştırılmıştır (Şekil 2.17). Malzemelerin bir araya gelmesi ile ekzotermik bir reaksiyon başlamıştır. Beher kabında karıştırılan malzemeler etüv fırınına (Şekil 2.18) alınarak 200 °C sıcaklıkta 5 saat kadar kurumaya bırakılmıştır.



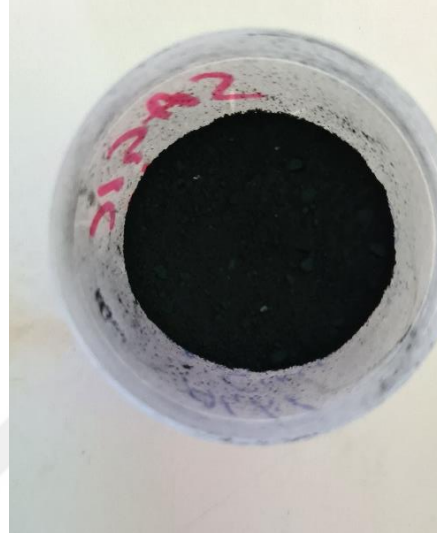
Şekil 2.18. Etüv fırını

5 saatin sonunda ortam sıcaklığına soğuması için beklenmiştir. Kuruyan ve reaksiyonu tamamlanan karışım 800 °C sıcaklıkta 10 °C/dk. sıcaklık artış hızı ile azot kullanılarak inert ortamda ısıtılarak maksimum sıcaklıkta 1 saat aktive edilmiştir. Ortam sıcaklığına soğuyan aktif karbon sonrasında seyreltik hidroklorik asit ile yıkanmıştır. Asit ile oluşan çözelti aktif karbondan süzülerek analiz edilmek üzere muhafaza altına alınmıştır. Saf su ile gümüş nitrat kullanılarak klorür tepkimesi vermeyinceye kadar yıkanan aktif karbon 120 °C sıcaklıkta kurutulmuş ve öğütülerek plastik saklama kaplarında deneyler için saklanmıştır.



Şekil 2.19. Agat taş havan öğütücü

Kimyasal aktivasyon ile üretilmiş aktif karbon kurutulduktan sonra taş bir havanda öğütülerek toz haline getirildi (Şekil 2.19). Toz haline getirilen aktif karbon gerekli analizleri yapılmak üzere muhafaza altına alındı (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Aktif karbon (kimyasal aktivasyon)

İkinci kimyasal aktivasyon deneyi ise SAÇK 2 kodlu karbonlaştırılan AÇ' den yapıldı. 15,22 gr. ağırlığında karbonlaşmış çamur, 45 gr KOH ve (1/3 oranında) (Şekil 2.21) yaklaşık 20 ml saf su bir beher kabı içerisinde karıştırıldı.



Şekil 2.21. Kimyasal aktivasyon aşamaları-1

Ekzotermik reaksiyon başlamasına müteakip 200 °C sıcaklıkta kurutulmak üzere 5 saat etüv fırınına aldık. Soğuyan aktif karbonu 900 °C sıcaklıkta 10 °C/dk. sıcaklık artış hızında 1 saat süresince fırında aktive edilmiştir. (Şekil 2.22).



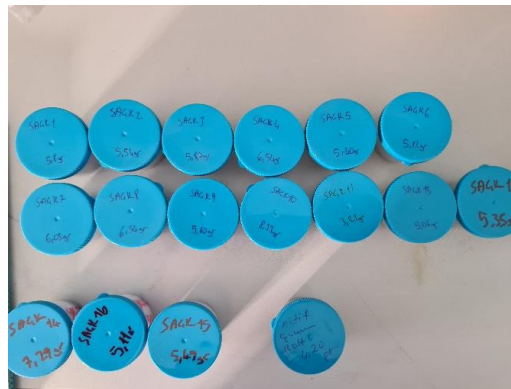
Şekil 2.22. Kimyasal aktivasyon aşamaları-2

İnert ortam sağlanması için numunenin bulunduğu alana deney süresince 100 ml/dk. miktarında  $N_2$  gazı verildi. Ortam sıcaklığına gelen aktif karbonu asit ile yıkadıktan sonra oluşan çözeltiyi süzerek analiz edilmek üzere muhafaza altına alınmıştır.



Şekil 2.23. Aktif karbon yıkama ve çözelti süzme işlemi

Asit ile yıkanan aktif karbon saf su ile yıkadıktan sonra (Şekil 2.23) tekrar 120 °C sıcaklıkta kurutulmak üzere etüv fırınına koyduk. Ortalama 24 saat sonra ortam sıcaklığına soğuyan aktif karbon analizleri yapılmak üzere muhafaza altına alındı (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Aktif karbon kodlanmış saklama kapları

## 2.4. Karakterizasyon ve Analiz Yöntemleri

Karbonizasyon, fiziksel ve kimyasal aktivasyon denemeleri neticesinde elde edilen numuneler karakterizasyon analizleri için çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Analizlerin bir bölümü Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM) yaptırıldı. Elementel analiz, İnönü Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında yaptırıldı. Diğer analizler ise İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapıldı. Yapılan analizler (Tablo 2.1) ve elde edilen analiz sonuçları ile; karbon, aktif karbon, kül, piroliz sıvısı ürün, yan ürün ve atıklar hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir.

Tablo 2.1. Analiz listesi

	XRD	FT-IR	TG-DTA	ICP-MS	GC-MS	FE-SEM	FE-SEM-EDX	CHNS	AÇIKLAMA
SAÇK1	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK2	*	*	*	*	*	*	*	*	
SAÇK3	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK4	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK5	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK7	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK8	*	*	*	*	*	*	*	*	
SAÇK9	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK10	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK11	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK12	*	*	*	*	-	*	*	-	KİMYASAL AKTİVASYON AKTİF KARBON
SAÇK13	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK14	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK15	*	*	*	-	*	*	*	*	
SAÇK16	*	*	*	-	-	*	*	*	
SAÇK17	*	*	*	-	-	*	*	*	
SAÇK20	*	*	*	*	-	*	*	*	KİMYASAL AKTİVASYON
SAÇK21	*	*	*	*	-	*	*	*	KİMYASAL AKTİVASYON
SAÇK22	*	*	*	*	-	*	*	*	KİMYASAL AKTİVASYON
SAÇK23	*	*	*	*	-	*	*	*	HAM ÇAMUR KİMYASAL AKTİVASYON
SAÇK24	*	*	*	*	-	*	*	*	FİZİKSEL AKTİVASYON AKTİF KARBON
HAM ÇAMUR	-	-	-	*	-	-	-	-	HAM KURU ÇAMUR
AKTİF KARBON	*	-	*	-	-	-	-	-	PELET AKTİF KARBON (EGZOZDA)
KULLANILMIŞ AKTİF KARBON	*	-	*	-	-	-	-	-	KULLANILMIŞ PELET AKTİF KARBON (EGZOZDA)
MOTORİN	-	-	-	-	*	-	-	-	DİZEL YAKIT
YAKIT KARIŞIM	-	-	-	-	*	-	-	-	KULLANILMIŞ MOTOR YAĞI İLE KARIŞTIRILMIŞ DİZEL YAKIT
KULLANILMIŞ MOTOR YAĞI	-	-	-	-	*	-	-	-	KULLANILMIŞ MOTOR YAĞI

### 2.4.1. Kül Analizi

Malatya İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında ham çamur, karbonize çamurlar ve aktif karbonlar için kül tayini analizleri yapılmıştır. Seramik potaların hassas terazide darası alındı ve not edildi (Şekil 2.24).



Şekil 2.25. Hassas terazi

Numuneler kodlanarak hassas terazide tartıldı ve tartım sonuçları not edildi. Seramik potalar kül fırınına önce 650 °C sıcaklık için koyuldu (Şekil 2.25). Saatte bir fırın kapağı açılarak potalar kontrol edildi. 6 saat boyunca kül fırınında kalan numuneler ortam sıcaklığına soğuması için 24 saat fırında bırakıldı.



Şekil 2.26. Kül fırını ve kodlanmış seramik potalar

Soğuyan numuneler hassas terazide tekrar tartılarak değerler kayıt altına alındı. Sonrasında tekrar seramik potalara alınan kül numuneleri 850 °C sıcaklık için 6 saat kül fırınında bekletildi. Tekrar ortam sıcaklığına soğumaları için fırın içerisinde yaklaşık 24 saat bırakıldılar. Soğuyan numuneler (Şekil 2.26) tartılarak tartım sonuçları kayıt altına alınarak analiz edilmek üzere muhafaza altına alındılar.



Şekil 2.27. Seramik potalarda kül numuneleri

Muhafaza altına alınan numuneler laboratuvar analizine gönderilmiştir.

#### 2.4.2. FT-IR (Fourier Transform Infrared Spektrofotometre)

Analizler Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarlarında yapılmıştır. Analizler; Perkin Elmer marka, 400 FT-IR/FT-FIR Spectrometer Spotlight 400 Imaging System model cihaz kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2.27).



Şekil 2.28. FT-IR cihazı

FT-IR (Fourier Transform Infrared Spektrofotometre) analizi malzemenin katı, sıvı, gaz ve çözelti formunun moleküllerindeki bağların titreşim frekansını ölçer ve cihaz kütüphanesindeki verilerle karşılaştırarak organik bileşiklerin tanımlanmasını sağlar. Böylece malzemenin yapısı veya yapısındaki değişiklikler hakkında bilgi sahibi olunabilir. Ayrıca IR mikroskop ünitesi ile farklı noktalardan alınan görüntüler

incelenebilmektedir. Bu analizler tüm örnekler için yapılmış olup karşılaştırmalı olarak detaylı anlatımı ve yorumlanması sonuçlar bölümünde değerlendirilmiştir.

#### **2.4.3. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Kütle Spektrometresi)**

Analizler Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarlarında yapılmıştır. Analizler; Agilent marka, 7500A model cihaz kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2.28).



Şekil 2.29. ICP-MS cihazı

ICP-MS dilimizde indüktif eşlemeli plazma-kütle spektrometresi; katı ve sıvı örnekleri hızlı, ucuz ve hassas olarak niteliksel ve niceliksel olarak ölçümlemeye olanak sağlayan bir analiz yöntemidir. Seçtiğiniz elementler için verilen örnek içerisinde taratabilir veya tam tarama yaparak birçok elementin örnek içerisindeki durumu hakkında bilgi edinilebilir. Katı örnekler bir çözücü ile çözelti haline getirilerek analizi yapılabilir. Bu analiz yöntemi ile 10.000 °K sıcaklığa çıkarılan argon plazması ile örnek iyonize edilir, iyonize olan elementler kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılır ve bir dedektör vasıtasıyla ölçümleme yapılır.

#### **2.4.4. CHNS (karbon, hidrojen, azot, kükürt elementel analizör)**

Örnek numunelerin elementel analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Merkezi (İBTAM) nde yapılmıştır. Analizler için LECO marka, CHNS-932 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 2.29).



Şekil 2.30. CHNS elementel analiz cihazı

Cihaz katı ve sıvı örnekleri kantitatif olarak kısa sürede içeriğindeki temel elementler olan karbon, hidrojen, azot ve sülfürü tayin etmekte kullanılır. Cihaz temel olarak örnekleri  $\geq 1000$  °C gibi yüksek bir sıcaklıkta yakarak gaz haline gelen örnekleri taşıyıcı olarak kullanılan inert bir gaz olan helyum aracılığı ile kromatografi kolonuna gönderir. Burada gaz fazındaki örnekler oksijen gazı ile yakılır ve kantitatif yanmanın tam olarak gerçekleşmesi için de katalizörler aracılığı ile oksidasyon işlemi gerçekleştirilir. Oksidasyon işleminden sonra karbon, hidrojen, azot ve sülfür elementleri karbondioksit, su, azot ve sülfür dioksit gazlarına dönüştürülerek ısıl iletkenlik dedektörüne gönderilir. Isıl iletkenlik dedektöründe her bir gazın miktarı ile oranlı olarak gönderilen elektrik sinyalleri kaydedilir ve işlenir. Bu işlemden sonra örnekler içerisindeki C, H, N ve S miktarları yüzdesel olarak tayin edilir.

#### 2.4.5. XRD (X-ışınları difraktometresi)

Analizler Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarlarında yapılmıştır. Analizler; Panalytical marka, Empryan model cihaz kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2.30). Analizlerimiz Cu x-ışını tüpünde, 2 derece/dakika tarama hızında, 2-82 teta aralığında kırınım deseni olarak yapılmıştır.



Şekil 2.31. XRD analiz cihazı

X ışını kırınım (difraktometre) analiz yöntemi; katı fazındaki ve toz halindeki örneklerin analizinin yapılabildiği, her bir kristalin kendine özgü olan kırınım profillerinin tayin edildiği ve bu şekilde kalitatif ve kantitatif analiz yapılabildiği bir analiz yöntemidir. Cihaz içerisindeki fırın sistemi 1200 °C yüksek sıcaklıklara çıkararak inert, atmosfer ve vakum ortamlarında analiz gerçekleştirebilir. Bu analiz metodu ile çok az miktardaki örnekler tahrip edilmeksizin analiz edilebilmektedir.

#### 2.4.6. GC- MS (Gaz kromatografisi–kütle spektrometresi)

Piroliz ile karbonizasyon prosesi sonucu çıkan gazların kondanse edilerek elde edilen pirolitik sıvılar gaz ve kütle spektrometresi yöntemi ile analiz edilmiştir. Analizler Erciyes Üniversitesi Teknoloji ve Araştırma Merkezi (TAUM) laboratuvarlarında yapılmıştır. Analiz için Shimadzu marka, QP2010 Ultra model GC-MS cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.31).



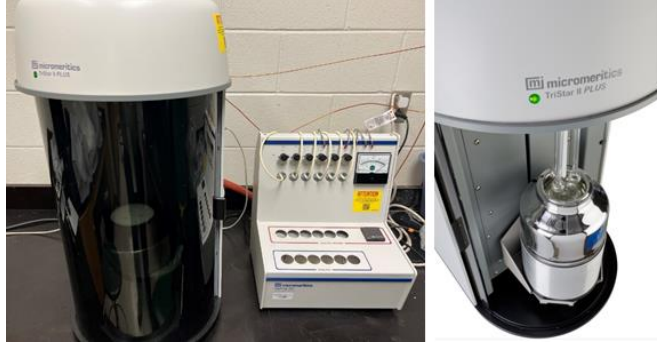
Şekil 2.32. GC-MS analiz cihazı

Gaz kromatografisi- kütle spektrumu analiz yöntemi çoklu bileşenli, gaz fazındaki ya da gaz fazına geçebilecek örneklerin kütle kromatografisi yöntemiyle ayrıştırır. Ayrışma sonrası elde edilen spektrumlar yardımıyla kalitatif ve kantitatif analizler yüksek hız ve kalite ile yapılabilir. Gaz kromatografisinde örnek bünyesindeki maddeler birbirinden ayrıştıktan sonra iyonlaştırılarak kütle spektrometresinde örnekteki elementler tespit edilir. Analiz için verdiğimiz pirolitik sıvılar içerisinde faz ayrışması olan örnekler için laboratuvarında aseton ile çözdürülerek kalitatif analiz yapılmıştır.

#### 2.4.7. BET (Brunauer-Emmett-Teller) Denklemi ile Yüzey Alanı Ölçümü

Çalışmamızda elde ettiğimiz aktif karbonları yüzey alanı analizi için İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapıldı. Yüzey

alanı analizleri Micromeritics marka, TriStar II Plus model cihazda yapılmıştır (Şekil 2.32).



Şekil 2.33. BET analiz cihazı

Kodlanan örnekler taş havanda öğütülerek ince toz haline getirildikten sonra hassas terazide tartılarak analiz edildi. BET ölçüm tekniğiyle hızlı ve hassas şekilde gözenek dağılımını tespit edebiliriz. Cihaz  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıvı azot ortamında azot gazı adsorpsiyonu ile  $\text{m}^2/\text{g}$  biriminde ölçüm yapmaktadır.

#### 2.4.8. SEM-EDX (Taramalı elektron mikroskobu-EDAX)

FE-SEM-EDX olan Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleme analizleri Erciyes Üniversitesi Teknoloji ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır. Analizler ZEISS marka, GEMINI 500 model cihazda yapılmıştır (Şekil 2.33).



Şekil 2.34. FE SEM analiz cihazı

Bu analiz yönteminde SEM analizi işlemi sırasında vakum ortamında bir elektron kaynağından kolon üzerinde toplanan mercekle aracılığı ile örnek üzerine gönderilir.

Örnek yüzeylerinden saçılan ikincil elektronlar yüzey hakkında bilgi verir. Aynı zamanda geri saçılan elektronlar farklı bileşimlerdeki yüzeyler arasındaki kontrast farklılıkları ile yüzey farklılıklarını belirler. Bu analiz yönteminde gönderilen x ışını spektroskopisi ile yüzey analizi ve elementel analizin daha iyi yapılmasına imkân verir.

#### **2.4.9. TG- DTA (Termogravimetri-Diferansiyel Termal Analiz)**

Kısaltması TG-DTA (Termogravimetrik Diferansiyel Termal Analiz) olan analiz Perkin Elmer marka, Diamond model cihaz ile Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır (Şekil 2.34). Bu analizler hem hava ortamında hem de azot ortamında yapılmıştır.



*Şekil 2.35. TG-DTA analiz cihazı*

Analizler 10 °C/dk sıcaklık artış hızında, 0-1000 °C sıcaklık aralığında azot ortamında yapılmıştır. Bu analiz cihazı ile 1100 °C sıcaklığa kadar, azot, hava oksijen ortamlarında katı ve sıvı fazlarda numuneler için analiz yapılabilmektedir.

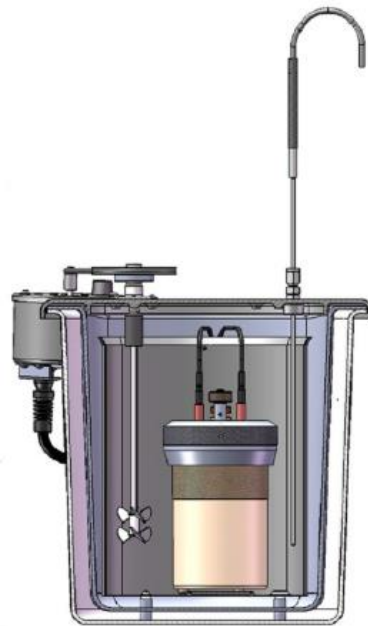
#### **2.4.10. Isıl Değer (Kalorifik Değer) Tayini**

Malatya İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan kalorifik değer tayin cihazında numuneler prosese uygun şekilde kalorifik değer tayini için analiz edilmiştir (Şekil 2.35).



Şekil 2.36. Kalorimetre cihazı

Cihaz manuel olarak ölçüm yapmaktadır. Cihazın iç yapısında bir su haznesi bulunmaktadır. Su haznesinin içerisine bir karıştırıcı, bir sıcaklık sensörü prob ile ölçümlemesi yapılacak olan numunenin koyulduğu bir tüp bulunmaktadır (Şekil 2.36).



Şekil 2.37. Kalori bombası iç yapısı

Analiz manuel bir düzenekte yapılır. Önce 10 cm uzunluğunda tel kesilir. Metal potanın darası alındıktan sonra içine konulan numunenin tartımı hassas terazide tartılarak not alınır. Tel numunenin içine temas edecek şekilde çatal çubuğa sabitlenir. Ancak telin metal potaya değmemesine özen gösterilir. Tel ile birleştirilen numune metal tüp

içerisine dikkatlice konulur. Metal tüp ağzı kapatılarak içerisine oksijen basılır. Kalori bombasının içerisindeki metal kovaya işaretli yere kadar su doldurulur. Oksijen basılan basınçlı metal tüp bağlantı soketleri takıldıktan sonra su dolu kovanın içerisine dikkatle yerleştirilir. Kalori bombasının üst kapağı kapatılarak karıştırıcı motoruna kayış kasnak bağlantısı yapılır. Cihaz çalıştırılır ve sıcaklık ekranında sıcaklık sabit kalıncaya kadar zaman sayacı kaydedilir. Cihaz kapatılarak metal tüp içerisinden numune çıkarılır. Yanan tel ölçülerek formülasyona ilk tel uzunluğu, yanan tel miktarı, sabit kat sayı, zaman ve sıcaklık farkları işlenerek kalorifik değer tayini yapılır.

## 2.5. Yakıt Karışımı Hazırlama

Çalışmalar, birçok farklı ürünün yakıt ve yakıt katkı maddesi olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Çok katmanlı karbon nanotüplerin ve alümina nano katkı maddelerinin dizel yakıt katkısı olarak kullanımının hem yakıt yanma verimliliğini artırdığı hem de emisyon değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir (89). Yapılan çalışmalar gösteriyor ki aktif karbon daha çok araçlarda kükürt gidermede kullanılmıştır (90-101). Dizel yakıt içeriğindeki kükürt yanma sonucu kükürt oksit bileşiklere dönüşür. Bu bileşikler çevreye zararlı etkileri bulunur. Bu sebeple farklı kükürt giderme yöntemleri bulunmaktadır (91). Aktif karbonun gözenek yapısının dizel yakıttan kükürt giderme işlemlerinde önem teşkil ettiği deneysel çalışmalarla ortaya koyulmuştur. Mikro gözeneklerin kükürt adsorban kabiliyetini artırdığı mezo gözeneklerin ise yakıtın diğer bileşenlerini tutma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (92-93-94). Farklı kimyasalların aktif karbona empenye edilmesi ile de filtre etme çalışmaları yapılmıştır (95-96-97-98).

Çalışmada yakıt katkı maddesi olarak kullanılan aktif karbonun motor yakıt tüketimine ve emisyon değerlerine katkısı incelenmiştir. Karışımlar, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Motorlar Laboratuvarında bulunan Bandelin marka, Sonopuls model, 20 kHz uniform dalga boylu ultrasonik homojenizerde hazırlanmıştır (Şekil 37).



Şekil 2.38. Yakıt karışımı hazırlanan sonikatör

Aktif karbonların yakıt katkısı olarak kullanılabilmesi için öncelikle taş havan aracılığı ile çok ince toz haline getirilmiştir. SAÇK12 ve SAÇK24 kodlu toz haline getirilen aktif karbonlar Şekil 2.38’ de görüldüğü gibi kabinli bir hassas terazi ile 1 gr ’lık miktarlarda tartılmıştır. Tartımlar tam 1 gr olarak hassas şekilde yapılmıştır.



Şekil 2.39. Kabinli hassas terazi

Hassas şekilde tartımı yapılan aktif karbonlar, güneş ve hava almayacak şekilde Şekil 2.39’ da görüldüğü gibi sınıflandırılarak muhafaza altına alınmıştır.



Şekil 2.40. Sınıflandırılan ve tartımı yapılan aktif karbonlar

Gruplandırılan ve denemelere kadar uygun şartlarda muhafaza edilen SAÇK12 ve SAÇK24 kodlu aktif karbonlar dizel yakıtta 50 ppm ve 100 ppm oranlarında eklenmiştir. Ultrasonik bir karıştırıcı vasıtasıyla yakıt ve aktif karbonlar homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Her karışım homojenizerde ilk olarak %50 kapasite ile 1 saat karıştırılmışlardır. Ancak karıştırma sonrası karıştırma kabının dibinde karışmayan aktif karbonlar olduğu gözlemlenmiştir. Bunun üzerine cihaz ayarları revize edilerek, karışım için 45 dakika süre ile %100 kapasite ayarlaması yapılmıştır. Bu şekilde homojen bir dizel yakıt aktif karbon karışımı sağlanabilmiştir. Bu karıştırma işlemi esnasında yakıt sıcaklığı artmış olduğundan plastik karışım kabı Şekli 2.40' ta görüldüğü gibi cam kavanozlarla değiştirilmiştir. Karışım yapılırken ısınan sonikatör probuna dikkat edilmesi gerekir. Bunun için karışım kabı buz dolu bir kovaya koyulabilir.



Şekil 2.41. Cam karışım kabı

Dizel yakıt ve aktif karbon karışımları tamamlandığında Şekil 2.41. te görüldüğü gibi homojen bir görünüm almıştır.



Şekil 2.42. Dizel yakıt aktif karbon karışımı

Denemeler için Şekil 2.42' de görüldüğü gibi toplam 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlar saf dizel yakıt ile emisyon değerleri, yakıt tüketimi, verimlilik açısından karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.43. Dizel yakıt aktif karbon karışımları

Bu çalışmalarda elde edilen veriler değerlendirilmiştir.



Şekil 2.44' de hazırlanan motor deney düzeneğinde SAÇK12 ve SAÇK24 kodlu aktif karbonlar yakıt katkısı olarak, pelet tipi aktif karbon ise egzoz filtre kartuşunda kullanılmıştır.



Şekil 2.45. Dizel motor test düzeneği

### 2.6.2. Dinamometre

Motor denemelerinde motorun ürettiği torku ölçebilmek için Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Motorlar Laboratuvarında bulunan PCS marka, su soğutmalı, 600 Nm tork, 150 kW güç, 2800-12000 d/d özelliklerinde Eddy akım dinamometresi kullanılmıştır (Şekil 2.45).



Şekil 2.46. Eddy akım dinamometre sistemi

Eddy akım dinamometrelerinde düzenekteki rotor, sargılı statora bir kuvvet uygular. Bu uygulanan kuvvet doğru akım ile oluşur. Oluşan kuvvet karşı bir akım oluşturur. Bu

karşı akımın mile uyguladığı fren kuvveti ile tork ölçümü yapılır. Bu sistemler su veya hava soğutmalı olarak kullanılırlar. Oluşan ters akım ile rotor ısınmaya başlar. Isınan rotoru soğutmak için kanallar arası boşluklardan geçirilen soğutucu akışkan ile sistemin sabit sıcaklıkta tutulması sağlanır. Test sistemi su soğutmalı olup dışarıda bulunan bir soğutma kulesi aracılığı ile soğutma suyu soğutulmaktadır.

### 2.6.3. Yakıt Ölçümü

Motor denemelerinde yakıt ölçümü kütleli yakıt tüketimi yöntemi ile belirlenmiştir. Yakıt tüketimi için Desis marka, KF-H2W model hassas terazi ile kronometre kullanılmıştır (Şekil 2.46).



Şekil 2.47. Kütleli yakıt ölçüm terazisi

Yakıt tüketimi ölçümünde önce yakıt deposu (boş), yakıt pompası ve yakıt geri dönüş hortumu terazi üzerine yerleştirildi ve darası alındı. Darası alınan yakıt deposu içerisine yakıt yüklemesi yapılarak terazide okunan değer kayıt altına alındı. Sistem çalıştırdıktan sonra deneme başladığında kronometre ile süre tutularak süre bitim sonunda terazideki değer okunarak kaydedildi. Başlangıç ve bitiş değeri arasındaki fark tutulan süre boyunca yakıt tüketimi olarak hesap edildi. İterasyon yöntemi ile saatlik yakıt tüketimi hesabı yapıldı.

### 2.6.4. Enkoder

Yapılan denemelerde motor devrini ölçmek için motor shaft miline bağlı FENAC marka FN50-360 model, 360 pals sayılı, 5-24 volt akım üreten enkoder kullanılmıştır (Şekil 2.47).



Şekil 2.48. Enkoder

Kullanılan enkoder minimum devirde 5 volt, maksimum devirde 30 volt akım aralığında akım göndererek motor devir ölçümü yapmaktadır.

### 2.6.5. Amplifikatör

Denemelerde enkoder ve piezoelektrik basınç sensöründen gelen sinyalleri dönüştürerek bilgisayar programına gönderen, Baturalp-Taylan marka amplifikatör kullanılmıştır (Şekil 2.48).



Şekil 2.49. Amplifikatör

### 2.6.6. Silindir İçi Basınç Ölçümü

Motor ile ilgili performans verilerini alabilmek için kullanılan ekipmanlardan birisi piezoelektrik basınç sensörüdür. Bu sensör, krank mili açısına göre silindir içi basınç değişimlerinin ölçülmesi, bir amplifikatör ile de verilerin bilgisayar arayüz programına gönderilerek işlenmesi için kullanılan bir sensördür. Denemelerde silindir içi basınç verisini alabilmek için PCB marka, 113B22 model piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır (Şekil 2.49).



Şekil 2.50. Piezoelektrik basınç sensörü

### 2.6.7. Emisyon Ölçümü

Ülkemizde ve dünyada araç sayısının hızla artması ve sayısı artan araçların ağırlıklı olarak petrol türevi yakıtları kullanması çevre problemlerinin doğmasına sebep olmuştur. Özellikle kara ve deniz taşımacılığının artması ve bu sektörde kullanılan dizel yakıtlı araçların emisyon değerlerinin çevre üzerine etkileri sebebiyle emisyon değerlerini düşürmeye yönelik birçok çalışma yapılmaktadır (99-32). Yapılan çalışmalar, emisyon değerini düşürmek için motora etki eden parametrelerin (soğutma suyu sıcaklığı, motor devri, vb.) incelenmesi ve yakıt katkıları üzerinde yoğunlaşmaktadır (23-37). Bu çalışmada AÇ' den elde edilen aktif karbonun dizel yakıt katkısı olarak kullanılması ve yakıt karışımlarının dizel motordaki CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar nanopartikül eklenen yakıtlarda çoğunlukla emisyon değerlerinin düştüğünü göstermektedir (62-63-110).

Motorda yapılan denemelerde, BOSCH marka BEA 060 model egzoz emisyon cihazı ile BOSCH marka BEA 070 modeli is ölçüm cihazları ile ölçümler yapılmıştır (Şekil 2.50).



Şekil 2.51. Emisyon ve is ölçüm cihazları

## 2.7. Katalitik Konvertör ve Aktif Karbon Filtre Tasarımı

Katalitik konvertör araç emisyon değerlerini düşürmek için tasarlanmış ekipmanlardır. İçerisinde bulunan seramik kompozit kartuşlar sayesinde emisyon gazlarının reaksiyona girerek CO<sub>2</sub>, N, H<sub>2</sub>O gibi zararsız gazlara dönüşmesine olanak sağlar. Çalışmada yeni bir katalitik konvertör tasarımı yapıldı (Şekil 2.51).



Şekil 2.52. Yeni tasarım katalitik konvektör

Yapılan çalışmada ilk olarak motor dizel yakıt ile 0 Nm, 100 Nm, 200 Nm, 300 Nm ve 385 Nm yüklerde çalıştırıldı. Devam eden denemeler sırasıyla dizel yakıt ile aktif karbon, aktif karbon + seramik kartuş, kirletilmiş yakıt, kirletilmiş yakıt ile aktif karbon + seramik kartuş olarak yapıldı. Her denemede yakıt tüketimleri ve emisyon değerleri kayıt altına alındı.

### 2.7.1. Aktif Karbon Filtre

Aktif karbon haznesi iki tarafı 310 paslanmaz çelik elekten yapılmış bir tüp şeklinde imal edildi (Şekil 2.52).



Şekil 2.53. Aktif karbon filtre

Hazne içerisine aktif karbon dolumu ve boşaltımı yapılabilmesi için vidalı bir tıpa yapıldı. Aktif karbon filtre içerisine granül ve pelet aktif karbonlar tam olarak doldurulmadı. Bunun sebebi olarak egzoz gazlarının filtreden kolaylıkla geçebilmesi gösterilebilir. Aktif karbon filtre tam olarak doldurulduğunda bir tarafından tutulan basınçlı havanın diğer tarafa geçişinde zorluk yaşadığı gözlemlendi.

### 2.7.2. Seramik Kartuş

Tasarlanan katalitik konvertörde Şekil 2.53' de görülen iki seramik kartuş arasına bir aktif karbon haznesi yapıldı.



Şekil 2.54. Seramik kartuşlar

### 2.7.3. Yakıt Hazırlama

Aktif karbonlu egzoz kartuşu ile yapılan denemeler için dizel yakıt ile kullanılmış motor yağı (Şekil 2.54) karıştırılarak kirli yakıt elde edilmiştir. 5 lt dizel yakıtta 200 ml kullanılmış motor yağı katılmıştır. Kullanılmış motor yağı katılan dizel yakıt 15 dk bir karıştırıcı vasıtası ile karıştırılarak homojen bir yakıt karışımı elde edilmiştir. Her deneme 0 Nm, 100 Nm, 200 Nm, 300 Nm ve 385 Nm yüklerde yapılmıştır. Denemeler sırasında yakıt tüketimleri ve emisyon ölçümleri ile motor performans ölçümlenmeleri yapılmıştır.



Şekil 2.55. Dizel yakıt- kullanılmış motor yağı- karışım yakıtı

### 2.8. Belirsizlik Analizi

DeneySEL çalışmalarında, analizler ve ölçümler belirli sapma oranlarında yapılır. Bu sapma oranlarının deneySEL çalışmalarında yapılan gözlemler, sonuç değerlerinin yorumlanması, deney koşulları, vb. faktörlere bağlı olduğu düşünülür. Bu nedenle ölçümlerin hassas şekilde belirlenmesi, değerlendirilmesi, gerçekçi sonuçlar alınarak yorumlanabilmesi için Kline ve McClintock tekniği kullanılmaktadır. Bu tekniğe göre, n tane bağımsız değişkene bağlı olduğu düşünülen R büyüklüğünün toplam hatası;

$$W_R = [((\partial R/\partial x_1) W_1)^2 + ((\partial R/\partial x_2) W_2)^2 + ((\partial R/\partial x_3) W_3)^2 + \dots + ((\partial R/\partial x_n) W_n)^2]^{1/2} \quad (2.1)$$

denkleminde elde edilir. Bu denklemde her ifade R büyüklüğüne bölünürse;

$$W_R/R = [(w_1/x_1)^2 + (w_2/x_2)^2 + (w_3/x_3)^2 + \dots + (w_n/x_n)^2]^{1/2} \quad (2.2)$$

denklemleri ile R büyüklüğünün belirsizliği bulunmuş olur. Bu denklemlerde;

$W_R$  : Hesap edilen büyüklüğün toplam hatası

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  : Ölçüme etki eden değişkenler

$w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  : Bağımsız değişkenin hata miktarı

Deneylerde kullanılan cihazların düzenli olarak kalibrasyonları yapılmıştır. Cihazların hata oranları ve teknik özellikleri cihaz kullanım kitapçıkları ve kalibrasyon sertifikaları üzerinde bulunmaktadır. Denemelerde kullanılan ölçüm cihazlarının hata oranları ve hesap edilen belirsizlikler Tablo 2.3' te verilmiştir.

Tablo 2.3. Denemelerde kullanılan cihazların ölçüm hassasiyetleri ve hesaplanan belirsizlikler

Parametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0.0-14% Hacim	0.001% Hacim
CO <sub>2</sub>	0.0-18% Hacim	0.01% Hacim
O <sub>2</sub>	0.0-25% Hacim	0.01% Hacim
HC	0-9999 ppm	1.0 ppm
NO	0-5000 ppm	1.0 ppm
Basınç	0-5000 psi	±1%
Devir	0-12000 (d/d)	±1 d/d
Tork	0-500 (Nm)	±1.25
Zaman		0.1
Açı	0-360 (derece)	±1
Hesaplanan Belirsizlikler		
Parametre	Birim	Belirsizlik
Isıl verim	-	3.63%
Güç	kW	4.37%
Isıl değer	Cal/gr	2.24%

## 3. BÖLÜM

### BULGULAR

#### 3.1 Analiz Sonuçları

Bu tez çalışmasında AÇ' nin karbonizasyonu, fiziksel ve kimyasal aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonlardan seçilen SAÇK12 ve SAÇK24 kodlu numunelerin dizel yakıt katkısı olarak kullanımının motor emisyon ve performansına etkilerine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Karbonizasyon ve aktivasyon çalışmaları sonucu elde edilen karbon, aktif karbon, karbon ve aktif karbon külleri ve piroliz sıvılarının; CHNS (elementel analiz) ile kalorifik değer tayini analizleri İBTAM' da, FT-IR, XRD, ICP-MS, TG-DTA, GC-MS, SEM-EDX analizleri TAUM' da yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları ve değerlendirmelerine bu bölümde değinilmiştir.

##### 3.1.1. Kül Analizi

Karbon ve aktif karbon örnekler numuneleri 650 °C ve numuneleri 850 °C sıcaklıklarda kül fırınında kül analizine tabi tutuldu. Soğuyan numuneler hassas terazide tartılarak değerler kayıt altına alındı. Tablo 3.1' de yüzdeler verimlilikleri tablo üzerinde gösterildi.

Tablo 3.1. Kül analizi sonuçları

Karbonlaşmış Ürün Kodu	Ağırlıkça Verim (m/m)%	
	650 (°C)	850 (°C)
SAÇK1	49.09%	48.18%
SAÇK2	52.99%	52.14%
SAÇK3	55.56%	54.70%
SAÇK4	58.56%	58.56%
SAÇK5	62.22%	61.48%
SAÇK6	64.29%	63.39%
SAÇK7	49.56%	48.67%
SAÇK8	54.03%	53.23%
SAÇK9	55.91%	53.54%
SAÇK10	57.69%	57.69%
SAÇK11	64.36%	62.38%
SAÇK12	38.00%	40.25%
SAÇK13	49.56%	48.67%
SAÇK14	55.00%	54.25%
SAÇK15	56.03%	55.17%
SAÇK16	61.54%	60.20%
SAÇK17	66.96%	65.25%
SAÇK20	15.20%	17.40%
SAÇK21	25.60%	21.00%
SAÇK22	26.10%	21.00%
SAÇK23	73.64%	73.08%
SAÇK24	96.96%	96.54%
HAM ÇAMUR	25.00%	27.00%

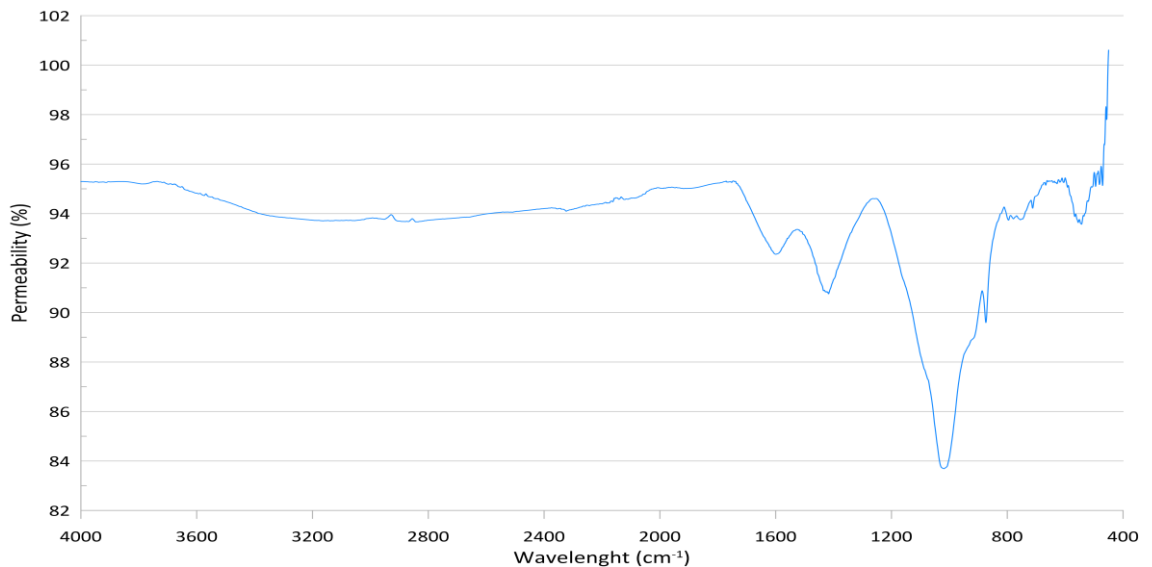
Kül analizi sonuçları değerlendirildiğinde karbonizasyon sıcaklıkları ve karbonizasyon sıcaklık artış hızları arttıkça kül oranı da artmaktadır. Bunu sebebi karbonlu malzemelerin bozunuma oranları da sıcaklık ve sıcaklık artış hızı ile artmaktadır. Kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbonların kül oranları fiziksel aktivasyon ile elde edilen aktif karbona ve karbonlaşmış ürünlere göre çok daha düşüktür. 850 °C sıcaklıkta yapılan kül analizlerinde kül oranı 650 °C sıcaklıkta yapılan kül analizi değerlerine göre bir miktar daha düşük olduğu görülmektedir.

### 3.1.2. FT-IR Analizi

Ham örneğe ait FTIR spektrumunda 3400  $\text{cm}^{-1}$  pik minimumuna ait geniş band su ve organik yapıdaki -OH gerilme titreşimlerine aittir. 2928 ve 2860  $\text{cm}^{-1}$  pikleri simetrik ve asimetrik alifatik -CH gerilmelerine aittir. 1250-1700  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki alanda

görülen geniş pikler C=O, N-O ve daha birçok organik fonksiyonel gruplara ait titreşim gerilmelerine aittir. 900-1100  $\text{cm}^{-1}$  bölgesinde çıkan geniş ve şiddetli pik 1000  $\text{cm}^{-1}$  bölgesi en yaklaştıkça C-O ve C-O-C organik yapılara ait olup 1100  $\text{cm}^{-1}$  bölgesine kaydıkça inorganik yapılara ait M-O ve M-O-M yapılara ait titreşim gerilmelerini göstermektedir.

SAÇK1 400 °C 10 °C/dakika ısıtma hızında karbonizasyona ait FT-IR spektrumu incelendiğinde (Şekil 3.1) numune tam kuru olduğundan nem içeriğine bağlı 3700-3000  $\text{cm}^{-1}$  bölgesinde –OH titreşimine ait pike rastlanmamıştır. Ancak çok düşük konsantrasyonda da olsa yayvan pik görülmektedir. Bu geniş bölgede organik yapıya ait –NH ve –NH<sub>2</sub> gruplarına ait titreşimlerde pik vermekte olup elementel analizde (Tablo 3.4) azot varlığı bu piki doğrulamaktadır. 2926 ve 2860  $\text{cm}^{-1}$  pikleri zayıfta olsa görülmekte olup kül içeriği yüksek olduğu için açıkça ortaya çıkmamaktadır. Her iki pik sırasıyla asimetrik ve simetrik alifatik –CH gerilmelerine aittir. 1595 pik minimumu olan geniş bant C=O ve protein yapıdaki –NH titreşimlerine aittir. 1413  $\text{cm}^{-1}$  pik minimumuna ait geniş bant fenolik –OH ve CO gerilmelerine aittir. 1020  $\text{cm}^{-1}$ 'deki şiddetli geniş bant C-O, C-O-C titreşimleri yanında 1100  $\text{cm}^{-1}$  'e doğru kaydıkça inorganik yapılara ait M-O ve M-O-M titreşimlerine aittir.



Şekil 3.1. SAÇK1 FT-IR analiz sonuç grafiği

SAÇK2, SAÇK3, SAÇK4, SAÇK5 FTIR spektrumları sırasıyla 500 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklıklarda 10 °C/dakika ısıtma hızlarında karbonizasyon örneklerine aittir.

Sıcaklık arttıkça yapısal düzenleme sonucu organik yapıdan fonksiyonel gruplar ayrıldığı için alifatik –CH titreşim gerilmelerine ait pikler daha belirgin ortaya çıkmaktadır. Organik fonksiyonel gruplara ait pikler büyük oranda azalma göstermektedir (Ek-2).

SAÇK7, SAÇK8, SAÇK9, SAÇK10 ve SAÇK11 FT-IR spektrumları sırasıyla 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklıklarda 30 °C/dakika ısıtma hızlarına ait karbonize örnekleredir. Isıtma hızının 10 °C/dakikadan 30 °C/dakikaya artırılması FT-IR analizinde fonksiyonel gruplar açısından fazla bir değişikliğe neden olmamıştır (Ek-2). Nitekim elementel analiz sonuçları (Tablo 3.4) bu görüşü doğrulamaktadır. Ancak karbonizasyon işlemine ait karbonize katı, piroliz sıvısı ve piroliz gaz verimleri (Tablo 3.7) düşük ısıtma hızına göre önemli ölçüde değişim göstermiştir.

SAÇK13, SAÇK14, SAÇK15, SAÇK16 ve SAÇK17 FTIR spektrumları sırasıyla 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklıklarda 50 °C/dakika ısıtma hızlarına ait karbonize örnekleredir. Tüm FT-IR spektrumları diğer ısıtma hızlarındakilerine benzerdir. Daha önce ifade edildiği gibi sıcaklık ile yapısal düzenlemede FT-IR spektrumlarında fonksiyonel gruplardaki değişim ve temel organik bağlar arasındaki titreşim gerilmeleri belirlenmektedir (Ek-2).

### 3.1.3. ICP-MS Analizi

SAÇK20, SAÇK21, SAÇK22, SAÇK23 aktif karbon örneklerinin Tablo 3.2' de gösterilen ICP-MS analiz sonuçlarında; örnekler için ham aktif çamur külü bileşimi dikkate alındığında, örneklerin KOH etkisi ve HCl ile yıkanması (etkileşimi) sonrasında suda çözünebilen inorganiklerin miktarlarında önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir. Buna karşın Ti, Y, Zr, Nb ve W konsantrasyonlarında önemli ölçüde artış gözlenmiştir. Örneklerin SAÇK24 ile karşılaştırıldığında, bazik yapıli inorganik bileşenlerinin çok fazla azalması, yakıt katkısı olarak kullanımı açısından motor performansı için etkili olamamıştır. Dolayısıyla aktif karbon ve/veya karbonize katı ile katılanan yakıtlarda organik yapı yanında inorganik bileşenlerin bazik bileşenler olması önemlidir.

Tablo 3.2. ICP-MS sonuçları-1

	SAÇK20 (ppm)	SAÇK21 (ppm)	SAÇK22 (ppm)	SAÇK23 (ppm)
Li	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000
Be	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000
B	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000
Na	146.375	220.375	171.375	21.422
Mg	162.250	183.750	146.125	18.266
Al	11.448	15.625	4.041	0.505
Si	<0.000	0.087	<0.000	<0.000
P	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000
S	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000
K	34.513	41.725	30.213	3.777
Ca	260.875	282.625	238.375	29.797
Ti	2806.250	2026.250	550.500	68.813
V	2.498	2.841	1.475	0.184
Cr	19.213	14.975	3.313	0.414
Mn	22.388	7.063	2.883	0.360
Fe	222.625	281.0	176.250	22.031
Co	0.098	0.230	0.041	0.005
Ni	4.263	5.708	3.351	0.419
Cu	19.950	23.438	8.423	1.053
Zn	16.000	12.138	6.405	0.801
Ga	0.144	0.141	0.051	0.006
Ge	18.050	17.863	6.245	0.781
As	0.296	0.450	0.413	0.052
Se	0.023	0.043	0.009	0.001
Rb	5.065	4.346	1.220	0.152
Sr	4.113	4.699	3.909	0.489
Y	161.375	109.775	22.600	2.825
Zr	110.738	166.125	123.425	15.428
Nb	1787.5	1002.5	1196.2	899.5
Mo	20.863	12.131	5.646	0.706
Ru	2.344	1.440	<0.000	<0.000
Pd	0.075	0.080	0.073	0.009
Ag	0.922	37.513	<0.000	<0.000
Cd	0.011	0.011	<0.000	<0.000
In	14.688	12.446	4.873	0.609
Sn	1.989	21.413	7.840	0.980
Sb	1.880	3.745	0.190	0.024
Te	0.116	0.113	0.107	0.013
Cs	0.055	0.059	0.028	0.003
Ba	0.437	0.406	0.309	0.039
W	65.775	141.7	100.1	12.5
Pt	0.003	0.008	0.000	0.000
Au	0.160	0.717	0.081	0.010
Hg	<0.000	<0.000	<0.000	<0.000
Tl	0.017	0.016	0.017	0.002
Pb	0.402	0.395	0.169	0.021
Bi	0.128	0.104	0.067	0.008
La	0.126	0.189	0.127	0.090
Ce	0.245	0.120	0.228	0.092
Pr	0.109	0.134	0.108	0.097
Nd	0.309	0.559	0.161	0.099
Sm	0.065	0.104	0.097	0.089
Eu	0.106	0.106	0.100	0.093
Gd	0.196	0.296	0.108	0.099
Tb	0.064	0.114	0.102	0.100
Dy	0.052	0.127	0.122	0.088
Ho	0.064	0.069	0.088	0.047
Er	0.104	0.041	0.103	0.099
Tm	0.041	0.066	0.040	0.040
Yb	0.048	0.018	0.082	0.029
Lu	0.031	0.056	0.031	0.030

Ham çamur külü, karbonize SAÇK2, SAÇK8 ve aktif karbonlar SAÇK12 ile SAÇK24 örneklerinin ICP-MS sonuçları (Tablo 3.3) incelendiğinde; ham aktif çamur külünün P, K, Ca, Fe, Na, Mg, Al elementlerince zengin olduğu görülmektedir. Evsel atık sudan üretilen aktif çamur için bu elementel analiz değerleri beklenen şekildedir. Ancak Al miktarının fazla çıkması araştırılması ve değerlendirilmesi gereken bir sonuçtur. Ayrıca Ti, Mn, Zn ve Cu değerlerinin yüksek çıkması da önemlidir. Karbonize örneklerden SAÇK2 ve SAÇK8 örneklerinin elementel bileşiminde, ham çamur külü bileşimi ile paralellik mevcuttur. Aktif karbon örneklerinde SAÇK12 örneğinde Ti, Fe, Cu değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. KOH diğer elementlerle reaksiyona girerek suda çözünebilir tuz oluştururken bu tuzların yapıdan uzaklaşması sonucu değerlerde önemli ölçüde azalma görülmüştür. Ti, Fe ve Cu KOH ile çözünebilir tuz oluşturmadığı için yapıda zenginleşmektedir. KOH inorganik içeren organik yapılarla etkileştiğinde önce en hızlı etkileşeceği bileşenlerle reaksiyona girmektedir. Organik yapı makromoleküler yapı olarak çok kararlı bir yapı olmadığından ve fonksiyonel gruplar açısından zengin olduğundan bu beklenen bir durumdur. Organik maddeler KOH etkileşimi tamamlandıktan sonra kalan KOH inorganik bileşenlerle reaksiyona girmektedir. Aktivasyon sıcaklığı göz önüne alındığında inorganik potasyum bileşikleri genellikle potasyum karbonata dönüşmektedir. Aktivasyon sonucu fırından çıkarılan örnekler seyreltik HCl ile yıkandığında potasyum KCl tuzuna dönüşmektedir. Diğer potasyum ile etkileşen elementlerde klor tuzuna dönüşerek sulu ortama geçmektedir. Başta potasyum olmak üzere diğer elementlerin klor tuzları canlı ortam için faydalı bileşenlerdir.

Tablo 3.3. ICP-MS sonuçları-2

	PPM CİNSİNDEN				
	HAM ÇAMUR KÜLÜ	SAÇK2	SAÇK8	SAÇK12	SAÇK24
Li	6.61	3.20	4.77	<0.001	8.75
Be	0.19	0.10	0.15	<0.001	0.30
Na	2421.19	1422.62	1514.41	127.16	2719.48
Mg	1357.27	6815.48	9314.41	173.99	1551.48
Al	1215.54	545.24	6930.13	19.34	1412.38
P	6805.32	4017.57	5096.70	2.30	81753.25
K	1950.00	1186.90	1602.18	170.55	2290.26
Ca	4126.71	2200.95	3238.65	101.97	5159.74
Ti	788.14	188.45	344.50	2872.68	770.78
Cr	37.71	14.11	25.37	41.09	20.10
Mn	231.95	91.19	150.26	74.32	202.40
Fe	9313.56	5366.07	8938.86	2634.43	1388.61
Co	6.03	2.60	2.52	3.93	6.80
Ni	21.15	7.95	13.89	156.99	31.49
Cu	103.39	14.46	20.57	660.11	131.49
Zn	282.80	252.80	200.48	220.71	110.97
As	6.16	2.42	4.21	4.60	6.10
Se	1.43	0.71	0.72	1.44	1.09
Ag	2.58	<0.005	<0.005	0.38	1.14
Cd	5.48	3.64	4.82	3.63	0.00
Sn	17.57	11.52	21.50	11.60	13.51
Hg	0.12	0.14	0.06	1.25	0.02
Tl	0.02	0.10	0.15	0.02	<0.012
Pb	<0.001	<0.001	<0.001	35.95	1.02
Bi	4.66	0.15	0.10	7.78	<0.0003

### 3.1.4. CHNS

Tüm örneklerin elementel analiz sonuçları Tablo 3.4. de verilmiştir. Tablo incelendiğinde orijinal temelde ham örneğin yüksek kül içeriğinde dolayı oldukça düşük karbon içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Gerek evsel gerekse endüstriyel atık sularından elde edilen aktif çamurların kül içeriklerinin yüksek olduğu bilinmektedir. Karbonizasyon sonrası ısıtma hızı ve artan karbonizasyon sıcaklığı elementel bileşimde çok fazla değişime sebep olmamıştır. Bunun temel sebeplerinden birisinin yapıdaki kül içeriğidir. Yapıdaki kül içeriği büyük oranda aynı kalmıştır. Karbonizasyon sıcaklığı ve

ısıtma hızı arttıkça kül içerikleri ham örneğe nazaran artış göstermiştir. Karbonize örneklerden elde edilen aktif karbonlarda ise kül içerikleri büyük oranda düşüş göstermiştir. Kimyasal aktivasyonda KOH kül bileşenleri reaksiyona girerek suda çözünebilir inorganik tuzlara dönüştürdüğü için kül oranı düşmektedir. Hammaddenin dolayısıyla karbonize ve aktif karbon örneklerinin azot içeriği dikkate alındığında aktif çamurun yapısı dolayısıyla azotun organik yapının temel bileşeni olduğu ifade edilebilir. Dolayısıyla yapısal düzenlenmede azotun yapıda kalması beklenen bir sonuçtur.

Tablo 3.4. Elementel analiz tablosu

Numune Kodu	%C	%H	%N	%S	%O*
SAÇK-1	33.92	2.684	4.899	0.122	58.375
SAÇK-2	32.74	1.741	4.789	-	60.730
SAÇK-3	33.22	1.304	3.959	-	61.517
SAÇK-4	31.01	1.000	2.762	0.059	65.169
SAÇK-5	31.09	0.757	1.701	0.177	66.275
SAÇK-7	34.12	2.523	5.159	-	58.198
SAÇK-8	31.93	1.641	4.529	-	61.900
SAÇK-9	32.48	1.194	3.964	-	62.362
SAÇK-10	31.85	1.104	2.582	-	64.464
SAÇK-11	29.91	0.802	1.507	0.438	67.343
SAÇK-13	32.30	2.297	4.696	-	60.707
SAÇK-14	31.95	1.657	4.491	-	61.902
SAÇK-15	32.29	1.510	4.367	-	61.833
SAÇK-16	32.03	1.071	2.771	-	64.128
SAÇK-17	30.27	0.671	1.721	-	67.338
SAÇK-20	66.30	0.115	1.921	-	31.664
SAÇK-21	59.35	1.180	1.037	-	38.433
SAÇK-22	66.00	1.269	1.456	-	31.275
SAÇK-23	11.44	1.569	0.443	0.643	85.905
SAÇK-24	8.987	0.208	0.122	0.203	90.480

Külsüz kuru temelde elementel analiz sonuçları Tablo 3.5’ te verilmiştir. KKT tablosu incelendiğinde karbonizasyon sıcaklığı ve ısıtma hızı arttıkça elementel bileşimin önemli ölçüde değiştiği görülmektedir.

Tablo 3.5. Külsüz kuru temel hesaplanmış elementel analiz tablosu

KKT	%C	%H	%N	%S	%O*
SAÇK-1	66.62	5.273	9.625	0.240	18.242
SAÇK-2	69.64	3.703	10.187	-	16.470
SAÇK-3	74.74	2.934	8.907	-	13.419
SAÇK-4	74.81	2.412	6.663	0.142	15.973
SAÇK-5	82.29	2.004	4.502	0.469	10.735
SAÇK-7	67.64	5.002	10.228	-	17.130
SAÇK-8	69.46	3.570	9.852	-	17.118
SAÇK-9	73.65	2.707	8.989	-	14.654
SAÇK-10	75.28	2.609	6.103	-	16.008
SAÇK-11	83.90	2.250	4.227	1.229	8.394
SAÇK-13	64.04	4.554	9.310	-	22.096
SAÇK-14	71.00	3.682	9.980	-	15.338
SAÇK-15	73.44	3.434	9.932	-	13.194
SAÇK-16	83.28	2.785	7.205	-	6.730
SAÇK-17	91.62	2.031	5.209	-	1.140
SAÇK-20	78.18	0.136	2.265	-	19.419
SAÇK-21	79.77	1.586	1.394	-	17.250
SAÇK-22	89.31	1.717	1.970	-	7.003
SAÇK-23	43.40	5.952	1.681	2.439	46.528
SAÇK-24	2.96	6.842	4.013	6.678	79.507

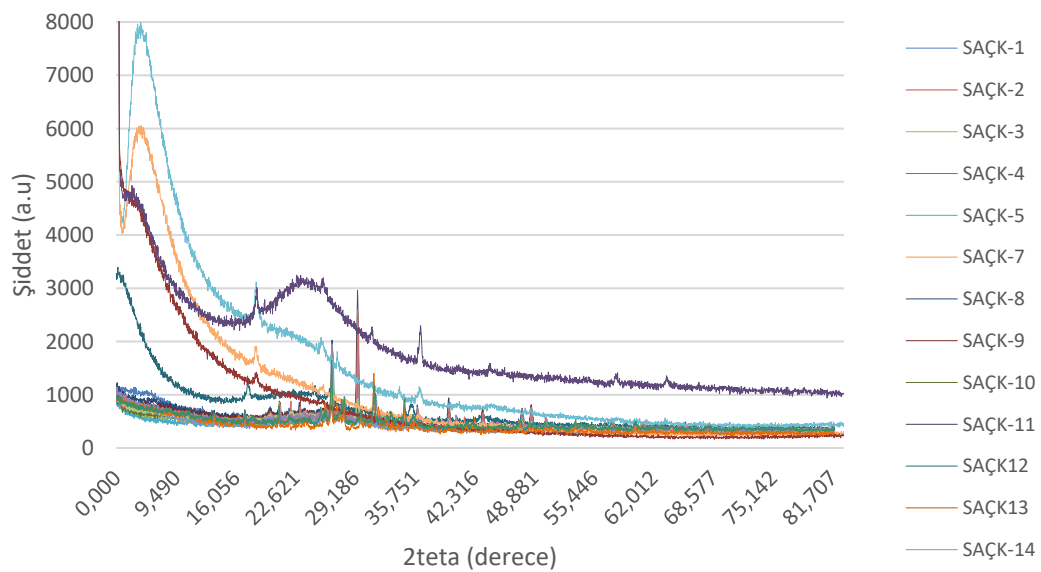
Karbon içeriğindeki artış çok fazla olmasa da 800 °C sıcaklık 10 °C/dakika ısıtma hızında 400 °C karbonizasyon sıcaklığı ve 10 °C/dakika ısıtma hızına göre %23.52 oranında artış göstermiştir. Karbonizasyon sıcaklığı aynı olup 30 °C/dakika ısıtma hızında bu değişim %22.71 ve 50 °C/dakika ısıtma hızında %43.07 artış görülmektedir. Yüksek ısıtma hızında yapısal düzenlenmede oksijenli fonksiyonel grupların yapıdan ayrılması daha fazla olduğu için bu durum beklenen bir sonuçtur.

Azot için külsüz kuru temel elementel analiz sonuçları incelendiğinde; 800 °C sıcaklık 10 °C/dakika ısıtma hızında 400 °C karbonizasyon sıcaklığı ve 10 °C/dakika ısıtma hızına göre %53.23 oranında azalma göstermiştir. Karbonizasyon sıcaklığı aynı olup 30 °C/dakika ısıtma hızında bu değişim %58.67 ve 50 °C/dakika ısıtma hızında %44.05 azalma görülmektedir. Azot aktif çamur içerisinde hem fonksiyonel grup olarak hem de karbona bağlı ana yapıda da yer almaktadır.

Aktif karbon örneklerinde azotun fazla uzaklaştığı görülmekle beraber yapıda kalması azotun ana zincirde karbona bağlı olarak yer aldığını göstermektedir. Azotun ana zincirde yer aldığı aktif karbon yapılar enerji depolamada gerek kapasitör gerekse pil alanında önemli avantajlar sağlamaktadır.

### 3.1.5. XRD Sonuçları

Ham, karbonize ve aktif karbon örnekleri ile bunlara ait kül örneklerinin XRD spektrumları incelendiğinde; ham aktif çamur örneğinin inorganik yapısının kristalin fazda bileşenlere sahip olduğu organik yapının amorf yapıda olduğu görülmektedir. Ham örneğe ait kül için XRD spektrumunda inorganik ham aktif çamurun inorganik bileşenleri ile aynı yapıda olduğu görülmektedir. Tüm örneklerin kül değerlerinin Tablo 3.2' de verildiği gibi ağırlıkça %15,20-%96,96 aralığında olduğu düşünüldüğünde XRD spektrumunda inorganik yapının hakim olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. XRD analiz sonuç grafiği

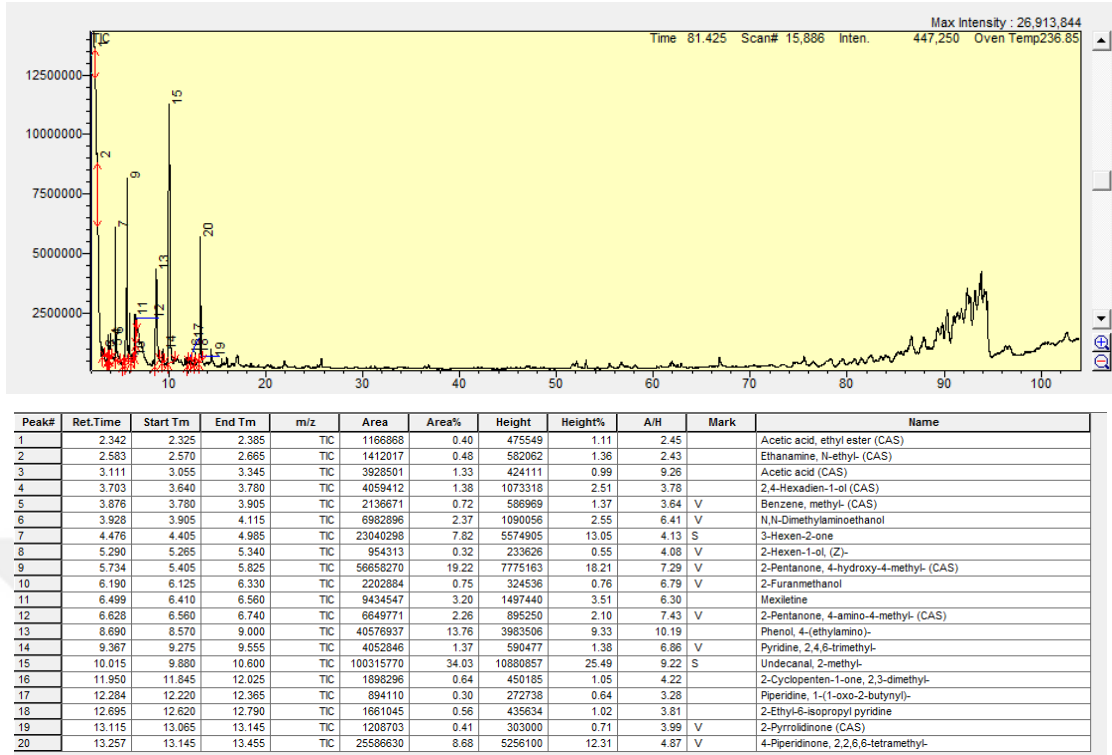
SAÇK2-7, SAÇK8-11 ve SAÇK13-17 sırası ile 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklıklarında 10 °C/dakika, 30 °C/dakika ve 50 °C/dakika ısıtma hızlarında karbonize örneklerine ait numuneler olup ısıtma hızları ve maksimum karbonizasyon sıcaklıkları inorganik yapı üzerine etkili olmadığından XRD spektrumları benzerdir. Ancak sıcaklık artışı organik yapıda yapı düzenlenmesi üzerine etkili olduğundan XRD spektrumları farklılık göstermektedir. Örneklerin tümünde 17-32 2teta aralığında geniş amorf yapının oluştuğu 43 2teta bölgesinde daha küçük ve şiddeti düşük ikinci bir amorf yapı görülmektedir. Karbonizasyon sonrası sıcaklık arttıkça örneklerin grafen ve grafitik yapılara dönüştüğü ifade edilebilir.

Aktif karbon örneklerine ait SAÇK21, SAÇK7 karbonize örneğinin KOH 1/3 impregnasyonu ile, SAÇK22, SAÇK 13 karbonize örneğinin KOH 1/3 impregnasyonu ile SAÇK23, ham aktif çamurun KOH 1/3 impregnasyonu ile ve SAÇK20, SAÇK8 karbonize örneğinin KOH 1/3 oranında impregnasyonu ile elde edilen aktif karbon örneklerine ait XRD spektrumlarıdır. Aktif çamurun makromoleküler yapısı kararlı bir yapı olmadığından (bakteri temelli atık sudaki basit organik moleküllerden oluşmuştur) KOH işlemi sonucu büyük oranda moleküler parçalanmaya uğradığından organik kütle çok az kalmıştır. SAÇK 24 için kül oranı 650 °C sıcaklıkta %96,96 olup organik madde %3.04 değerindedir.

Ancak karbonizasyon sonucu organik yapı makromoleküler düzenlenme sonucu daha kararlı bir yapı oluşturduğundan KOH aktivasyonu sonucu hem kül oranı düşük hem de organik yapıca daha zengin ürüne dönüşmüştür. Bunun sonucu XRD spektrumunda inorganik yapıya ait pik şiddetleri önemli ölçüde düşerken amorf yapılara ait pik şiddetlerinde oldukça yükselme görülmüştür.

### **3.1.6. GC- MS Sonuçları**

Analizleri yapılan piroliz sıvılarının GC-MS sonuçları incelendiğinde; farklı karbonizasyon sıcaklıklarında ve farklı ısıtma hızlarında kondense edilen piroliz sıvısının ürün bileşimi büyük oranda benzerlik göstermektedir (Şekil 3.3). Tüm piroliz sıvılarının hem alifatik hem de aromatik bileşenleri içerdiği ve tüm ürünlerin fonksiyonel gruplarca zengin olduğu görülmektedir (Ek-3). Elementel analiz sonuçlarına göre azot varlığı sonucu olarak piroliz sıvısı içerisinde azotlu organik yapılara da rastlanmaktadır.



Şekil 3.3. SAÇK1 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları

### 3.1.7. BET (Brunauer Emmett and Teller Method) Yüzey Alanı Sonuçları

Çalışmalar neticesinde elde edilen aktif karbonların yüzey alanı analizleri yapılmıştır. Tablo 3.5' te görüldüğü gibi kimyasal aktivasyon ile yapılan aktif karbonların SAÇK12, SAÇK20, SAÇK21, SAÇK22 ve SAÇK23 yüzey alanları fiziksel aktivasyon ile yapılan SAÇK24 kodlu aktif karbonun yüzey alanından çok daha geniştir.

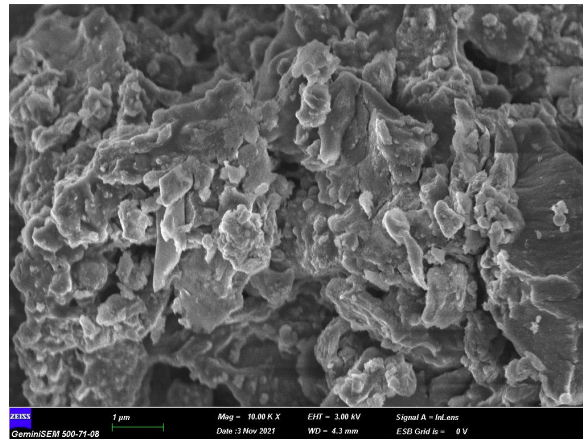
Tablo 3.6. Aktif karbonların yüzey alanı tablosu

Numune Kodu	BET Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	dp (Ort. Gözenek Çapı) nm (4V/A)
SAÇK12	1.813	2,1890
SAÇK20	1.427	2,0430
SAÇK21	1.740	2,1608
SAÇK22	1.648	2,3334
SAÇK23	497	2,5912
SAÇK24	78,32	2.3031

Örneklerin yüzey alanları incelendiğinde KOH aktivasyonunda oldukça yüksek değer elde edilmiştir. Fiziksel aktivasyonda su buharı organik fraksiyon ile inorganik bileşenler ile etkileşime girdiğinden yüzey alanının düşük çıkması beklenen bir sonuçtur. Motor denemelerinde en yüksek yüzey alanına sahip SAÇK12 ve en düşük yüzey alanına sahip SAÇK24 kullanılmıştır.

### 3.1.8. SEM-EDX Sonuçları

SAÇK1 örneğinin görüntüsü Şekil 3.4 incelendiğinde, 400 °C sıcaklıkta 10 °C/dakika ısıtma hızında yüzey morfolojisinin homojen olmadığı görülmektedir. SAÇK2, SAÇK3, SAÇK4 ve SAÇK5 örneklerinin sırasıyla 500 °C – 600 °C – 700 °C- 800 °C sıcaklıkta 10 °C/dakika ısıtma hızında yapılan karbonizasyon işleminde ait Ek-4' teki görüntüleri incelendiğinde SAÇK1 örneğinde olduğu gibi yüzey morfolojilerinin homojen olmadığı görülmektedir. Aktif çamur örneğinin kül içeriğinin yüksek olması organik makromoleküler yapının homojen olmaması yapının heterojen dolayısıyla yüzey morfolojisinin homojen olmamasının temel sebebidir. İnorganik bileşenler kristalik yapıda yer alırken organik yapı karbonizasyon sıcaklığının artışı ile grafit ve grafenik yapıların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca sıcaklık artışı ile makromoleküler organik yapıda gözeneklerin olduğu görülmektedir.

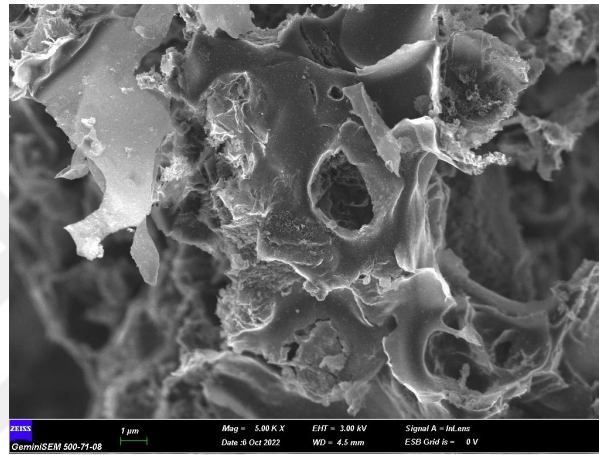


Şekil 3.4. SAÇK1 SEM görüntüsü

SAÇK7, SAÇK8, SAÇK9, SAÇK10 ve SAÇK11 400 °C -800 °C sıcaklık ve 30 °C/dakika ısıtma hızı ile SAÇK13, SAÇK14, SAÇK15, SAÇK16 ve SAÇK17 400 °C- 800 °C sıcaklık ve 50 °C/dakika ısıtma hızlarına ait karbonize örneklerin SEM görüntülerinde de benzer yapısal değişimler görülmektedir (Ek-4). Ancak yüksek ısıtma

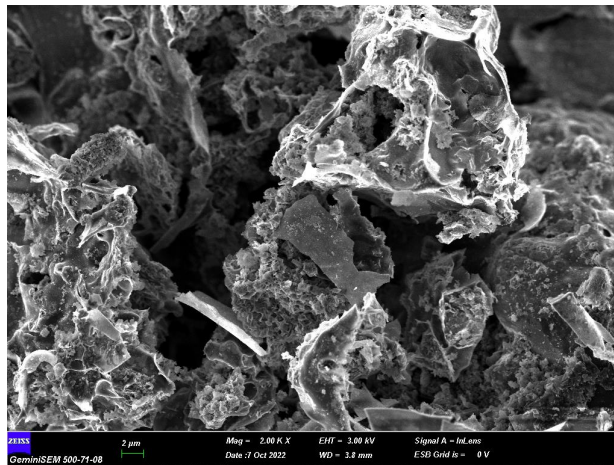
hızlarında gözenekliliğin 10 °C/dakika ısıtma hızına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm örneklerin SEM görüntülerinde inorganik bileşenlerin farklı büyüklükte ve farklı kristalin yapılarda olduğu açıkça görülmektedir.

Aktif karbon örneklerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde SAÇK20 örneğinin inorganik ve organik yapısal birimlerin kesin sınırlar ile ayrıldığı ve aktif karbon yapısının gözenekli ve düzlemsel yapı (grafenik ve grafitik) içerdiği görülmektedir (Şekil 3.5).

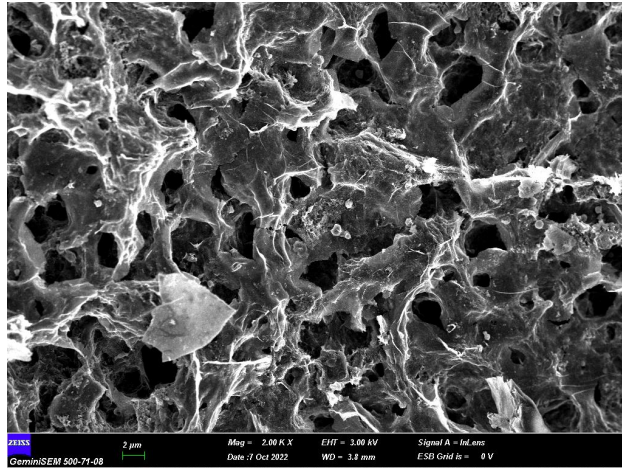


Şekil 3.5. SAÇK20 SEM görüntüsü

Aktivasyon işleminin doğasına uygun olarak inorganik bileşenlerin KOH kimyasalının etkisi ile ve yıkamada kullanılan HCl etkisi ile yeniden kristallendiği ve daha düzenli kristalin yapı içerdiği görülmektedir.



Şekil 3.6. SAÇK21 SEM görüntüsü



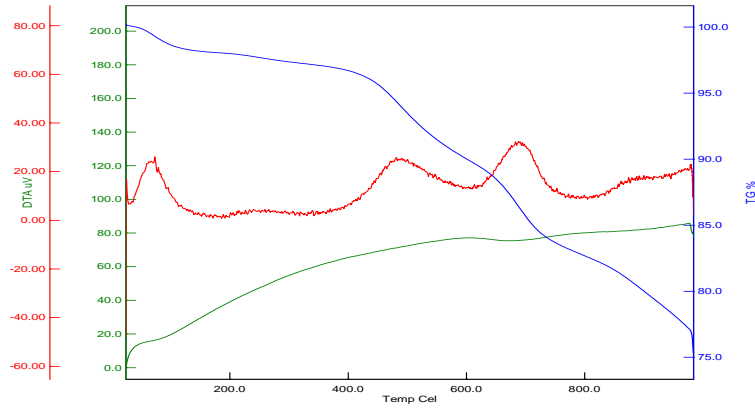
Şekil 3.7. SAÇK22 SEM görüntüsü

SAÇK21 (Şekil 3.6) ve SAÇK22 (Şekil 3.7) örnekleri için de SAÇK20 örneğine yapılan yorumlar geçerlidir.

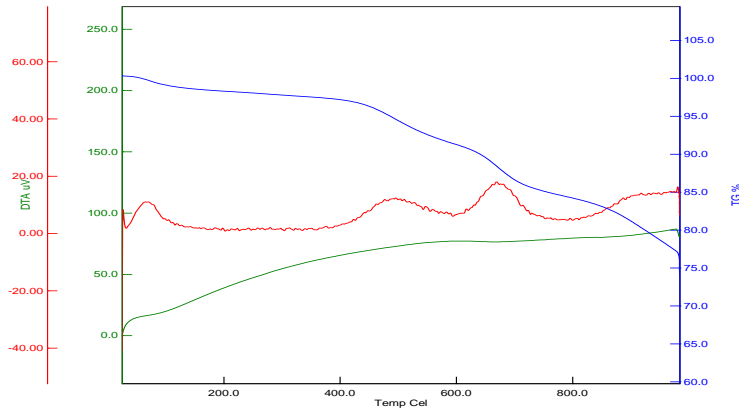
SAÇK 20, SAÇK21 ve SAÇK22 örneklerinin kül içeriklerinin düşük olması organik yapının daha fazla ön plana çıkmasına sebep olmaktadır. Özellikle grafenik yapının hem gözenekli hem de düzlemsel yapısı makromoleküler yapının aktif karbon yapısal birimlere dönüştüğünü göstermektedir.

### 3.1.9. TG- DTA Sonuçları

Karbon numuneler hem azot hem de hava atmosferinde analizlere tabi tutulmuşlardır. Numaralandırılan örneklerden azot atmosferinde TG, DTA ve DTG spektrumları incelendiğinde; karbonize numunelerin TG eğrilerini kül içeriklerine bağlı olarak benzer sonuçlar vermiştir. Ancak karbonizasyon prosesi sonucu örneklerin; proses sıcaklığı ve sıcaklık artış hızına bağlı olarak örneklerin makromoleküler organik yapılarının yeniden yapılanması sonucu farklı kütle kaybı eğrileri elde edilmiştir. 400 °C karbonizasyon için 5 farklı kütle kaybı eğrisi mevcut iken (Şekil 3.8) 500 °C karbonizasyonda kütle kaybı eğrisi 3 farklı eğri elde edilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. SAÇK1 TG – DTA grafiği



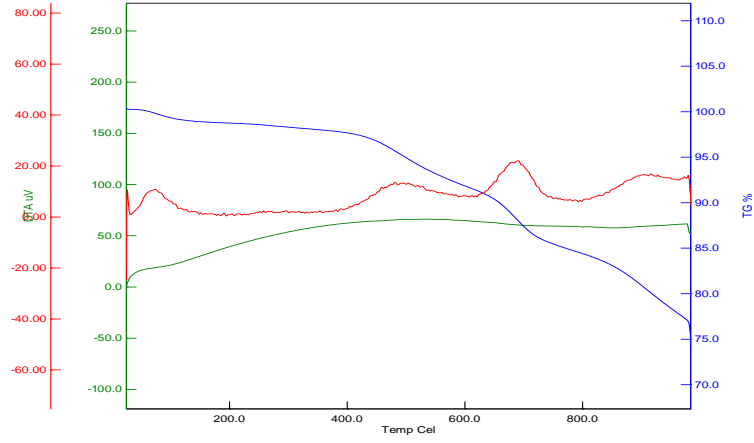
Şekil 3.9. SAÇK7 TG-DTA grafiği

Karbonizasyon sıcaklığı 700 °C ve 800 °C olduğunda 200 °C -600 °C sıcaklık aralığında daha az kütle kaybı eğrileri görülmektedir (Ek-5). Bu durum yüksek sıcaklıkta makromoleküler yapı düzenlenmesinin düzlemsel grafitik ve hatta grafenik yapılara dönüşmesi ile açıklanır. Bu yapıların termal olarak kararlı olduğu bilinmektedir.

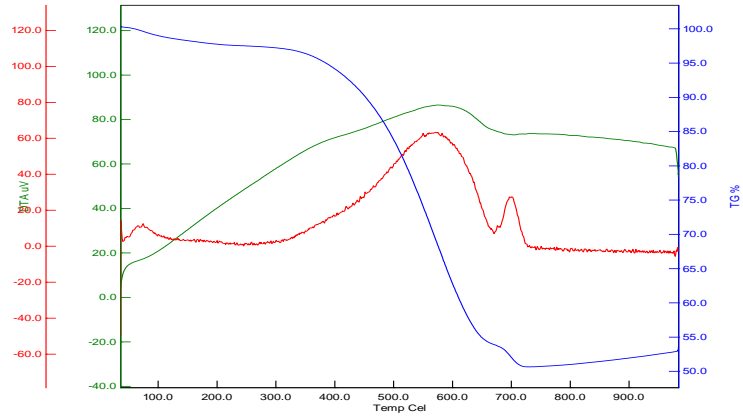
Azot atmosferinde termal analiz sonuçları 10 °C /dakika, 30 °C /dakika ve 50 °C /dakika ısıtma hızlarında termal bozunma eğrileri büyük oranda benzerdir (Ek-5). Karbonizasyon sıcaklığı arttıkça makromoleküler organik yapının yapısal kararlılığı arttığı için özellikle DTA eğrisi düzlemsel hale dönüşmektedir. Buna bağlı olarak DTG eğrisinde pik değişimleri TG eğrileri ile uyum halindedir.

Tüm örneklerin hava ortamındaki TG, DTG ve DTA eğrileri incelendiğinde (Şekil 3.10) TG sonuçları organik makromoleküler yapının yanması sonucu kütleli değişime bağlı

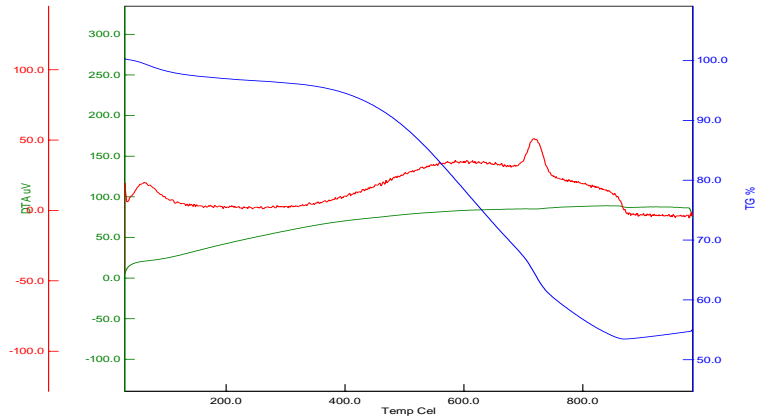
olarak her bir karbonizasyon sıcaklığında farklılık göstermektedir (Şekil 3.11) (Şekil 3.12).



Şekil 3.10. SAÇK1 TG-DTA grafiği (hava)

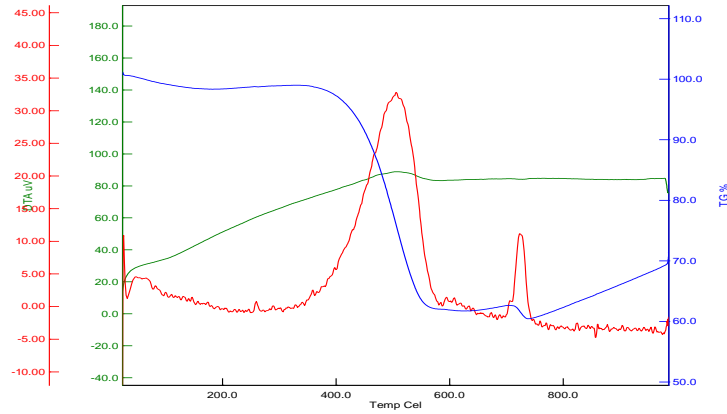


Şekil 3.11. SAÇK7 TG-DTA grafiği (hava)



Şekil 3.12. SAÇK13 TG-DTA grafiği (hava)

400 °C karbonizasyonda tam bir yapısal düzenlenme olmadığı için organik yapının iki farklı makromoleküler birimden oluştuğu ve 500 °C ve 700 °C sıcaklıklarda pik maksimumunu gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. SAÇK2 TG-DTA grafiği (hava)

500 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C karbonizasyon sıcaklığına sahip örneklerin yanma sonucu kütle kayıplarının büyük oranda 500 °C pik maksimumuna sahip bölgede olduğu (yaklaşık 300 °C -610 °C sıcaklık aralığında) ve ikinci olarak 720 °C pik maksimumuna sahip olduğu bölgede diğer bölgede nazaran daha dar ve keskin pik ortaya çıktığı görülmektedir. Oluşan pikin dar ve keskin olması yanan organik yapının daha kararlı ve belirli bir organik yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Ek-5).

Bu durum yüksek karbonizasyon sıcaklıklarında yapısal kararlılığın artması ve yapısal birimlerin kompleks olmayıp daha belirli birimlerden oluşmaya başlaması ile açıklanabilir. Isıtma hızının artmasına bağlı olarak farklı makromoleküler birimlerin oluştuğu görülmektedir (Ek-5).

Özellikle 30 °C ve 50 °C ısıtma hızlarında 500 °C, 600 °C, 800 °C karbonizasyon sıcaklıklarında yapısal düzenlenmenin diğer ısıtma hızı ve karbonizasyon sıcaklıklarına nazaran büyük farklılık olduğu görülmektedir (Ek-5).

Aktif karbon örneklerinin azot atmosferinde termal analiz verileri incelendiğinde hem karbonizasyon hem de kimyasal aktivasyon sonucu aktif karbon örneklerinin termal ve yapısal kararlılık kazandığı ifade edilebilir. TG, DTA ve DTG eğrilerindeki pik verilerinin olmaması ve eğrilik bulunmaması yapısal kararlılık yanında termal kararlığı göstermektedir (Ek-5). Yani yapı grafit ve grafen birimlerce zenginleşmiştir.

### 3.1.10. Isıl Değer Tayini Sonuçları

Tüm karbonize ve aktif karbon örneklerinin üst ısıl değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$H_g = \frac{W \cdot T - e_3}{m_0} \cdot x \quad (1)$$

Denklem 1' e göre yapılan hesaplamaları ve birim değerleri gösteren Tablo 3.7 incelendiğinde; üst ısıl değerlerinin karbonize örneklerin tüm sıcaklık ve ısıtma hızlarında 5998-3799 kalori/gram aralığında elde edilmiştir. Aktif karbon örneklerinin SAÇK20, SAÇK21 ve SAÇK23 örneklerinin üst ısıl değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Bu örneklerde KOH etkisi ile kül oranları oldukça düşmüş ve azot değerleri de oldukça düşük elde edilmiştir. Kül değerleri SAÇK20 için %15.20, SAÇK21 için %25.60 ve SAÇK22 için %26.10 olarak belirlenmiştir. Ancak SAÇK23 için üst ısıl değeri 2204 kalori/gram ve SAÇK24 için 1332 kalori/gram değerleri elde edilmiştir. Kül değerleri SAÇK23 için %73.64 iken SAÇK24 için %96.96 değerlerindedir. Bu durum KOH aktivasyonunda organik yapının tamamen parçalandığı inorganik yapının bozunmaması ile açıklanabilir. İnorganik bileşenlerin KOH ile çözünebilir tuz oluşturmaması organik yapı ile hızlıca etkileşmesi karbonizasyon sıcaklığı yanında kullanılan örneğin makromoleküler yapısı ile ilişkilidir. SAÇK23 örneğinin ham aktif çamur olması ve KOH ile etkileşiminde daha etkin davranması beklenen bir durumdur. Yani sıcaklık ile makromoleküler yapıda düzenlenme ile kimyasallarla etkileşim daha az olurken ham örneklerde etkileşim daha fazladır.

Tablo 3.7. Isıl değer tablosu

	Hg (cal/gr)	t1	t2	T= t2-t1	W	e3	m0	X
SAÇK1	5998.5	25.431	26.324	0.893	1909	2.5	0.5108	1.8
SAÇK2	5391.0	25.221	26.042	0.821	1909	2.7	0.5224	1.8
SAÇK3	5285.9	25.426	26.224	0.798	1909	2.5	0.5179	1.8
SAÇK4	4966.5	25.584	26.33	0.746	1909	1.5	0.5156	1.8
SAÇK5	5205.3	25.627	26.444	0.817	1909	2.7	0.5384	1.8
SAÇK6	5199.5	25.607	26.404	0.797	1909	1.2	0.5263	1.8
SAÇK7	5090.8	25.611	26.373	0.762	1909	3.5	0.5131	1.8
SAÇK8	5308.2	25.515	26.312	0.797	1909	4.5	0.5144	1.8
SAÇK9	5244.0	25.514	26.296	0.782	1909	1.2	0.512	1.8
SAÇK10	5073.4	25.684	26.457	0.773	1909	0.7	0.5233	1.8
SAÇK11	3799.4	25.785	26.37	0.585	1909	1	0.5286	1.8

SAÇK12	3755.0	25.129	25.25	0.121	1909	8.4	0.1067	1.8
SAÇK13	5577.2	25.033	25.874	0.841	1909	4.5	0.5167	1.8
SAÇK14	5206.2	25.204	25.969	0.765	1909	1.5	0.5044	1.8
SAÇK15	5022.2	25.339	26.077	0.738	1909	1.5	0.5044	1.8
SAÇK16	4979.9	25.301	26.043	0.742	1909	5.5	0.51	1.8
SAÇK17	4954.3	24.314	25.04	0.726	1909	1.2	0.5031	1.8
SAÇK20	11418.3	24.863	25.041	0.178	1909	5.5	0.0527	1.8
SAÇK21	11909.0	24.753	24.934	0.181	1909	4.8	0.0515	1.8
SAÇK22	12199.7	24.767	24.95	0.183	1909	6.4	0.0506	1.8
SAÇK23	2204.5	24.73	25.052	0.322	1909	0.5	0.5015	1.8
SAÇK24	1331.9	24.589	24.783	0.194	1909	0	0.5005	1.8
SAÇK2 SIVI	1292.7	24.884	25.078	0.194	1909	0.5	0.515	1.8
SAÇK7 SIVI	2898.2	24.395	24.848	0.453	1909	8.2	0.532	1.8

Denklem 1' deki ve Tablo 3.6' daki birimler;

H<sub>g</sub>: Üst ısııl değer

W: Kalorimetrenin enerji eşdeğeri

T: Sıcaklık artışı (t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub>)

t<sub>1</sub>: Yakmanın başladığı sıcaklık

t<sub>2</sub>: Maksimum sıcaklık

e<sub>3</sub>: Yanan tel miktarı

m<sub>0</sub>: Kullanılan örneğin kütlesi

x: Düzeltme katsayısı

## 3.2. Aktif Karbon Seçimi

### 3.2.1. Karbonizasyon Sonuçları

Karbonizasyon deneylerinde numunelerin her biri 60 dk. süresince belirli sıcaklıklara (400 °C – 500 °C– 600°C – 700°C – 800°C) belirli sıcaklık artış hızları (10 °C/dk. – 30 °C/dk. – 50 °C/dk.) ile getirilmiştir. Burada farklı sıcaklıkların ve farklı sıcaklık artış hızlarının karbonlaşmaya etkileri araştırılmıştır. Deneme öncesinde her numune tartılarak kayıt altına alınmıştır. Her bir deneyde numunelerin bulunduğu alana inert

atmosfer ortamı sağlamak için deney süresince 100 ml/dk. N<sub>2</sub> gazı verilmiştir. Tablo 3.8' de farklı sıcaklık ve sıcaklık artış hızlarında karbonlaşan ürünlerin katı, sıvı ve gaz verimlilikleri görülmektedir.

Tablo 3.8. Karbonizasyon işleminde karbonize katı, piroliz sıvısı ve piroliz gazı yüzdesel verim değerleri (m/m).

KURUTULMUŞ HAM ÇAMURUN KARBONİZASYON DEĞERLERİ					AĞIRLIKÇA YÜZDESEL VERİM		
Kodu	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Artış Hızı (°C)	İnert Gaz (N <sub>2</sub> ) Miktarı (ml/dk)	Süre (dk)	Katı	Sıvı	Gaz
SAÇK1	400	10	100.00	60	48.22%	36.23%	15.54%
SAÇK2	500	10	100.00	60	44.79%	23.12%	32.09%
SAÇK3	600	10	100.00	60	42.22%	30.84%	26.94%
SAÇK4	700	10	100.00	60	39.74%	28.20%	32.06%
SAÇK5	800	10	100.00	60	37.87%	30.79%	31.34%
SAÇK7	400	30	100.00	60	48.53%	28.70%	22.78%
SAÇK8	500	30	100.00	60	44.11%	34.57%	21.32%
SAÇK9	600	30	100.00	60	41.18%	34.78%	24.04%
SAÇK10	700	30	100.00	60	40.50%	33.72%	25.78%
SAÇK11	800	30	100.00	60	36.93%	2.37%	60.70%
SAÇK12	Kimyasal Aktivasyon - 50 gr ham çamur, 100 gr KOH karışımı (1/2 oranlı)						
SAÇK13	400	50	100.00	60	46.79%	19.57%	33.64%
SAÇK14	500	50	100.00	60	44.74%	24.00%	31.26%
SAÇK15	600	50	100.00	60	44.16%	22.60%	33.24%
SAÇK16	700	50	100.00	60	38.66%	0.00%	0.00%
SAÇK17	800	50	100.00	60	0.00%	0.00%	0.00%
SAÇK18	Kimyasal Aktivasyon - 15.22 gr SAÇK2 karbonize ürün, 45 gr KOH karışımı (1/3 oranlı)						
SAÇK20	Kimyasal Aktivasyon - KOH karışımı (1/3 oranlı)						
SAÇK21	Kimyasal Aktivasyon - KOH karışımı (1/3 oranlı)						
SAÇK22	Kimyasal Aktivasyon - KOH karışımı (1/3 oranlı)						
SAÇK23	Kimyasal Aktivasyon - KOH karışımı (1/3 oranlı)						
SAÇK24	Fiziksel Aktivasyon 950° C 10°C/dk N <sub>2</sub> atmf. 1 saat H <sub>2</sub> O						

### 3.2.2. Aktivasyon Sonuçları

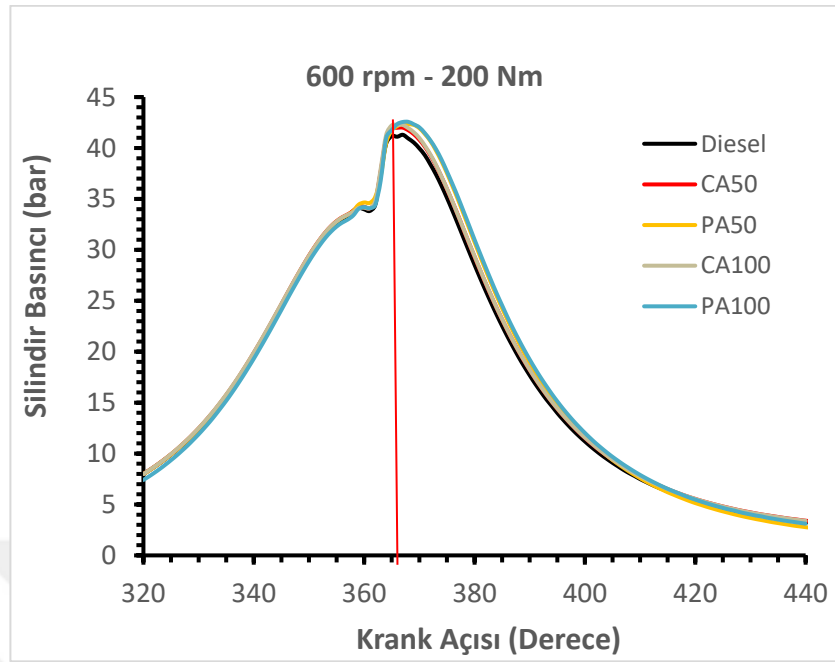
Yapılan analiz sonuçlarına göre kimyasal ve fiziksel aktivasyon ile üretilen aktif karbonlar karşılaştırılmıştır. Yüzey alanı analizinde kimyasal aktivasyon ile üretilen aktif karbonlar SAÇK12, SAÇK20, SAÇK21, SAÇK22, SAÇK23 fiziksel aktivasyon ile üretilen SAÇK24 e göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi olarak da yukarıda detaylı açıklamış olduğumuz HCl ile yıkama ve KOH ile tepkimeye girme gösterilebilir. Yapılan karşılaştırmada yakıt katkısı olarak bir adet fiziksel aktivasyon ile üretilmiş

aktif karbon SAÇK24 bir adet de kimyasal aktivasyon ile üretilmiş aktif karbon SAÇK12 seçilmiştir.

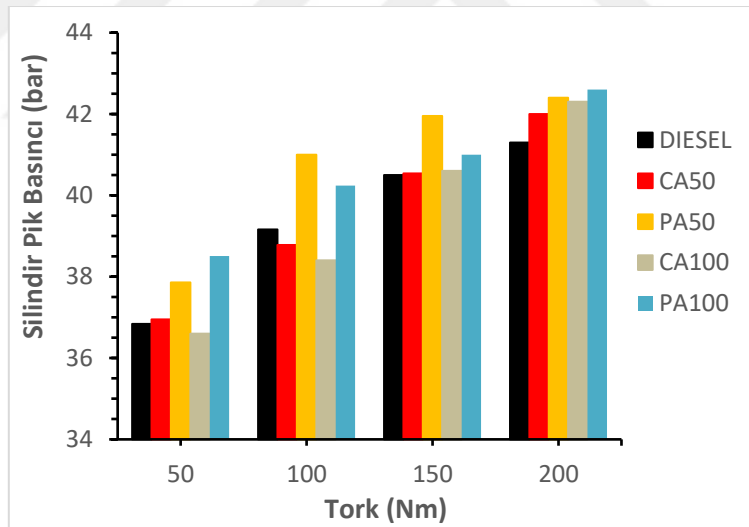
### **3.3. Yanma Parametreleri**

#### **3.3.1. Silindir İçi Basıncı**

Silindir içinde meydana gelen yanmanın analiz edilmesinde kullanılan yöntemlerden biri silindir içi basınç değişim grafikleridir. Genellikle piezoelektrik basınç sensörleri ile ölçülen ve krank mili açısına (KMA) göre çizilen basınç değişimi grafikleri, yakıtın tutuşma gecikmesi, yanma hızı, pik basınç değeri ve açısı gibi birçok parametre ile ilgili bilgi sahibi olunmasını sağlar. Deneylede kullanılan 50 ve 100 ppm nanopartikül konsantrasyonlu yakıtlar ile saf dizel yakıtı aıt maksimum yükteki basınç değişimleri Şekil 3.14' te verilmiştir. Şekil 3.15 ise tüm yüklerdeki pik basınçları göstermektedir. Grafiklerde yakıt enjeksiyonunun ÜÖN' da başladığı ve tüm yakıtlar için yaklaşık 2 KMA tutuşma gecikmesinin ardından yanmanın başladığı görülmektedir. Tepe basıncı dizel yakıt için 41.3 bar, CA50 için 42 bar, PA50 için 42.4 bar ölçülmüştür. En yüksek tepe basıncı PA100 için 42.6 bar' dır. Nanopartiküllü yakıt karışımları tepe basınçlarında dizele göre az bir miktar artış sağlamıştır. Tepe basınçlarının oluşum açıları dizel, CA50 ve PA50 yakıtları için ÜÖNS 7 CA ölçülürken, CA100 için ÜÖNS 6 CA, PA100 için ÜÖNS 8 CA ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre nanopartiküllerin dizelin yanma kalitesini bir miktar arttırdığı söylenebilir.



Şekil 3.14. Yakıt karışımlarının silindir basıncı ve krank açısına göre değişim grafiği

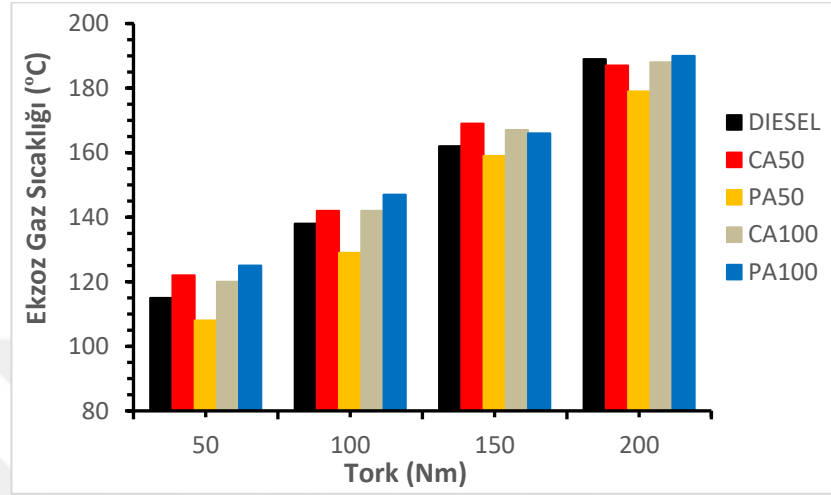


Şekil 3.15. Yakıt karışımlarının motor yükü ve silindir üst basıncına göre değişim grafiği

### 3.3.2. Egzoz Gaz Sıcaklığı

İçten yanmalı motorlarda dışarı atılan egzoz gazlarının sıcaklığı yanma durumuna güçlü bir şekilde bağlı olduğundan egzoz gaz sıcaklığı grafikleri de yanma analizinde yapılan yorumlara destek sağlaması açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle silindir basıncı ile değerlendirilmesi uygun olacaktır. Kullanılan tüm yakıtlar için egzoz gazı sıcaklıklarının motor yüküne göre değişimi Şekil 3.16' da verilmiştir. Egzoz gazlarının

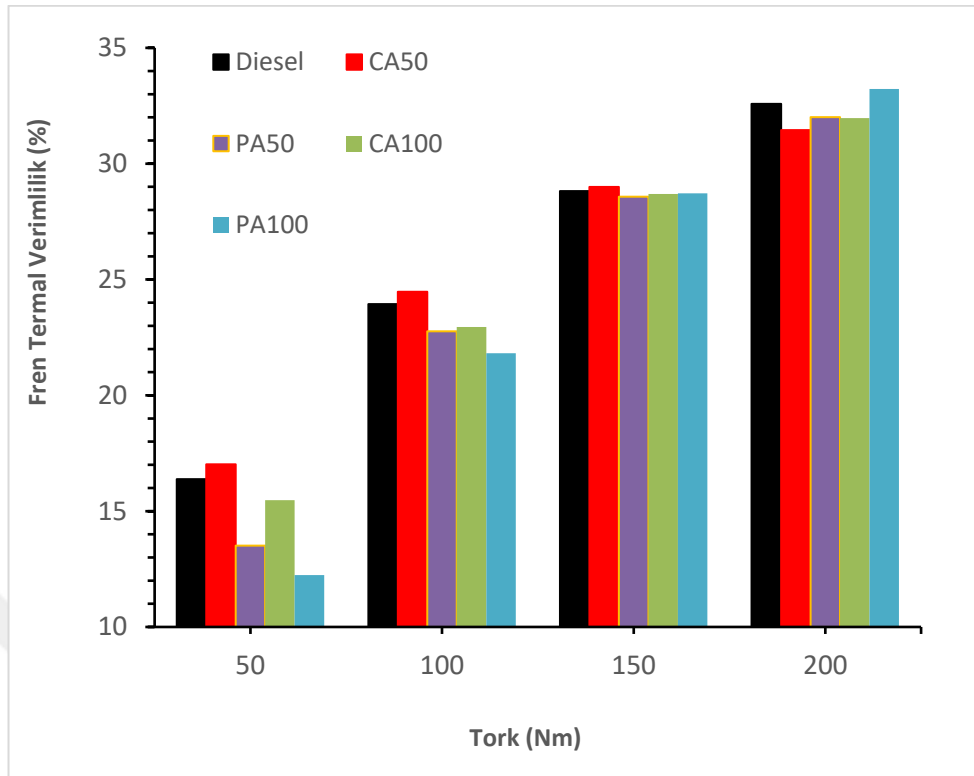
sıcaklığı egzoz manifoldu çıkışında ölçülmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre kısmi yüklerde CA50, CA100 ve PA100 yakıtları için sıcaklık dizel yakıtı göre daha yüksek iken, PA50 yakıtında ise tüm yüklerde sıcaklığın daha düşük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.16. Yakıt karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı ve motor yükü değişim grafiği

### 3.3.3. Termal Verimlilik

Isıl verim, motor krankından alınan gücün, motorda kullanılan yakıtın gücüne oranı olup, Şekil 3.17' de 600 rpm sabit motor devrinde ve farklı yük değerlerinde saf dizel yakıt ve 50- 100 ppm nanopartikül karışımları için elde edilen fren ısıl verimlerini göstermektedir. Bu grafiklerde fiziksel aktivasyonla üretilen PA50 ve PA100 karışımları düşük yüklerde (50 ve 100 Nm) dizel yakıtın ısıl veriminde azalmaya neden olurken yüksek yüklerde artırma eğiliminde olduğu gözlenmektedir. Kimyasal aktivasyonlu CA50 ve CA100 karışımları ise özellikle düşük yüklerde daha iyi bir ısıl verime sahiptirler. İçten yanmalı motorlarda yük arttıkça silindir içi sıcaklığın yükseldiği bilinmektedir. Bu durumda yakıt içindeki fiziksel aktivasyonlu nanopartiküllerin yüksek sıcaklıklarda dizel yakıtın reaktivitesini yükselttiği sonucu çıkarılabilir. Diğer yandan CA nanopartiküle göre oldukça yüksek miktarda bazik bileşenlere ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , vb.) sahip PA nanopartikülünün artan silindir içi sıcaklığının etkisi ile dizel yakıtı oluşturan alifatik hidrokarbonları daha küçük birimlere dönüştürerek ısıl verimi artırması da mümkündür.

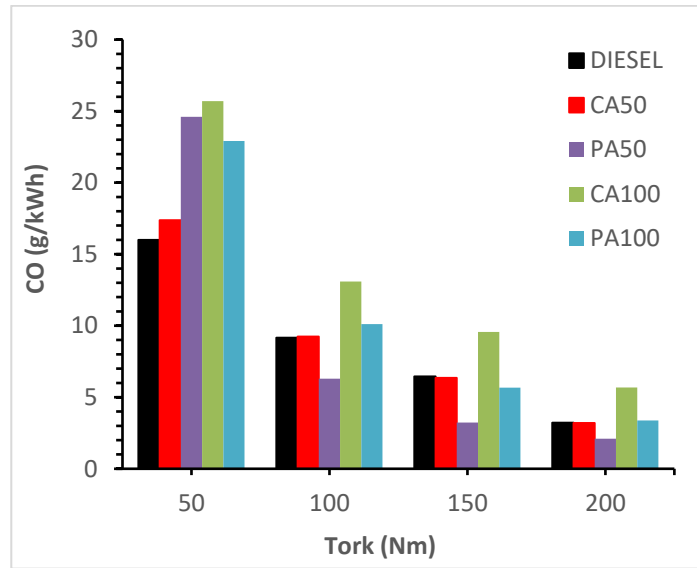


Şekil 3.17. Yakıt karışımlarının fren termal verimliliği ile motor yükü değişim grafiği

### 3.4. Emisyon Değerleri

#### 3.4.1. Karbon monoksit (CO)

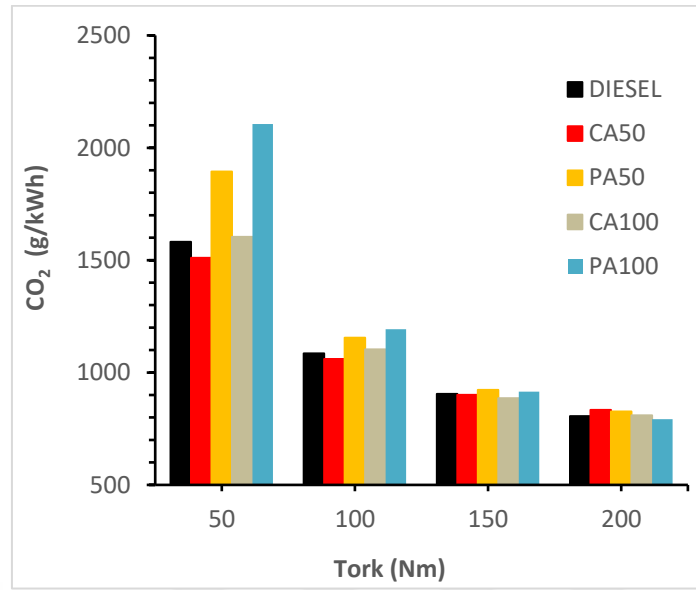
Şekil 3.18. CO emisyonlarının motor yüküne göre değişimini göstermektedir. CO emisyonu canlı yaşamı için çok zehirli bir gaz olmasının yanı sıra ısıl değeri 10.112 kJ/kg olan bir yakıttır. Genellikle hidrokarbon yakıtların yetersiz hava ile yanması sonucunda üretilir. Dizel motorlar daima fazla hava ile çalıştıkları için CO emisyonları oldukça düşüktür ancak, yanma için ayrılan sürenin çok kısa olması, silindir içinde oluşan çok fakir ve zengin bölgeler ve daha birçok nedenden dolayı egzoz gazlarında bir miktar CO emisyonu bulunur. 50 Nm yükte silindir içi sıcaklığın düşük olmasından dolayı CO emisyonu tüm yakıtlarda yüksek olmuştur. Diğer taraftan dizele nanopartikül eklenmesi tüm yakıt karışımları için 50 Nm yükte CO emisyonunu yükseltmiştir. 100, 150 ve 200 Nm yüklerde ise en düşük CO emisyonu PA50 ile elde edilirken, tüm yüklerde en yüksek CO emisyonu CA100 yakıtında ölçülmüştür.



Şekil 3.18. Yakıtı karışımlarının CO emisyonunun motor yükü değişim grafiği

### 3.4.2. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>)

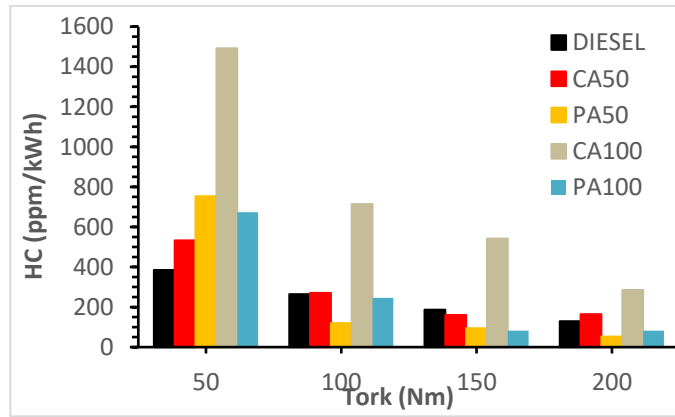
Hidrokarbon yakıtların tam yanma ürünü olan CO<sub>2</sub> emisyonunun motor yüküne göre değişim grafiği Şekil 3.19’ da verilmiştir. CO<sub>2</sub> gazı çevre için doğrudan zararlı olmamasına rağmen küresel ısınmayı arttırdığı için arzu edilmez. Dizel motorlarda CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmanın en etkili yolu ısı verimi arttırmaktır. PA50 ve PA100 yakıtlarının 50 Nm yükteki ısı verimlerinin diğer yakıtlara göre düşük olması CO<sub>2</sub> emisyonunu arttırmıştır. Diğer deneylerde ölçülen CO<sub>2</sub> emisyonları birbirine yakın değerdedir. Deneylerden elde edilen ölçümlere göre dizel yakıtta karbon nanopartikül eklenmesi CO<sub>2</sub> emisyonlarını etkilememiştir.



Şekil 3.19. Yakıt karışımlarının CO2 emisyonunun motor yükü değişim grafiği

### 3.4.3. Hidrokarbon (HC)

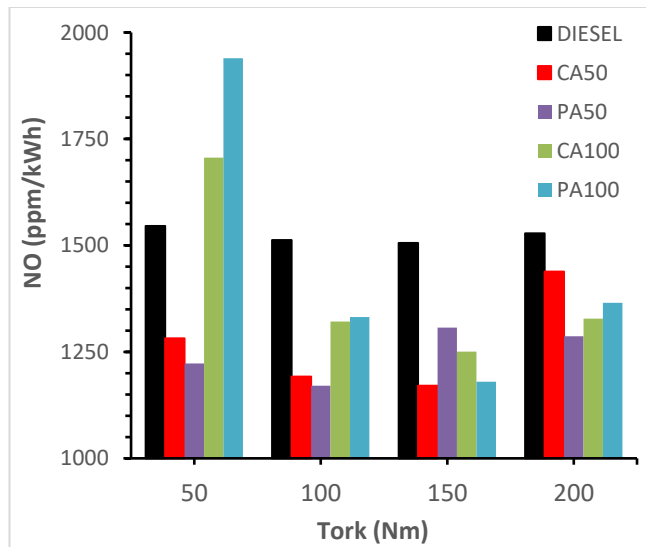
HC emisyonları özellikle eksik yanma sonucu üretilen kötü kokulu ve atmosfer gazlarıyla reaksiyona girerek fotokimyasal sis oluşturan zararlı emisyonlardır. Şekil 3.20'de yürütülen deneylerde kullanılan yakıtlara ait HC emisyonlarının yüke göre değişimini göstermektedir. Grafikte en düşük HC emisyonu değerlerinin 50 Nm yük hariç diğer tüm çalışma yüklerinde PA50 ve PA100 yakıt karışımlarının kullanıldığı deneylerde elde edildiği görülmektedir. CA50 yakıt karışımında ölçülen HC emisyonu değerlerinin, karışımdaki nanopartikül konsantrasyonu 100 ppm değerine çıkartıldığında tüm çalışma koşulları için arttığı gözlenmektedir. Bu durum kullanılan nanopartikülün bileşimine bağlı olarak yakıt karışımlarındaki partikül konsantrasyonunun ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Çünkü nanopartiküller karıştırıldıkları yakıtın yoğunluğu, viskozitesi, parlama noktası gibi birçok fiziksel özelliğini değiştirdikleri gibi yanma sırasında ortaya çıkan kimyasal reaksiyonları da etkilemektedirler.



Şekil 3.20. Yakıt karışımlarının HC emisyonunun motor yükü değişim grafiği

#### 3.4.4. Azot oksitler (NO<sub>x</sub>)

NO<sub>x</sub> emisyonları nötr olan azot molekülünün yüksek sıcaklıklarda oksijen gazı ile reaksiyonundan oluşur. Dizel motorlarda oluşan NO<sub>x</sub> emisyonlarının çoğunu NO oluşturur (Pulkrabek, W., Engineering Fundamentals of the ICE). Şekil 3.21’ de motor yüküne göre NO emisyonunun değişimini göstermektedir. Motor yükü arttıkça silindir içi sıcaklıklar artacağı için NO emisyonu da doğal olarak artacaktır. CA50 ve PA50 tüm yüklerde dizel yakıtı göre daha düşük NO emisyonu oluşturmaktadır. CA100 ve PA100 özellikle 50 Nm yükte NO emisyonunu artırırken diğer çalışma koşullarında dizel yakıtı göre daha düşük NO emisyonu oluşturmaktadır. NO emisyonunun yakıt karışımlarında daha düşük seviyelerde oluşması nanopartiküllerin silindir içinde daha homojen sıcaklık dağılımı sağlamasından kaynaklanabilir.



Şekil 3.21. Yakıt karışımlarının NO emisyonunu motor yükü değişim grafiği

## 4. BÖLÜM

### TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 4.1.Tartışma

Bu tez çalışmasında Samsun ili evsel atık su arıtma sisteminde üretilen ve kurutulmuş aktif çamur kullanılmıştır. Kurutulmuş aktif çamur farklı sıcaklıklarda ve farklı ısıtma hızlarında karbonize edilmiştir. Karbonize edilen AÇ' lar, KOH kullanılarak kimyasal aktivasyon ve su buharı kullanılarak fiziksel aktivasyon yöntemleriyle aktif karbona dönüştürülmüştür. Elde edilen aktif karbon nanopartiküllerinin dizel yakıt katkısı olarak kullanılmasının dizel bir motorun performans ve emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Karbonizasyon sıcaklığı olarak 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklık değerleri ve her sıcaklıkta 10 °C/dakika, 30 °C/dakika ve 50 °C/dakika ısıtma hızları çalışılmıştır. Tüm karbonizasyon ve ısıtma hız değerlerinde karbonize katı, piroliz sıvısı ve piroliz gazı verim değerleri değişkenlik göstermiştir.

PA50 ve PA100 yakıt karışımlarında elde edilen pik basınçların diğer yakıtlara göre tüm yüklerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Tüm yüklerde en düşük egzoz sıcaklığı da PA50 yakıtında ölçülmüştür. CA50 yakıt karışımı dizelin ısıl verimini düşük yüklerde artırırken tam yükte bir miktar azaltmıştır. Kimyasal aktivasyonla elde edilen nanopartiküllerin yakıt içindeki konsantrasyonlarının önemi CO ve HC emisyonlarında açıkça gözlenmektedir. CA50 yakıt karışımı için ölçülen CO ve HC emisyonları CA100 yakıt karışımında tüm yük durumları için yükselmiştir. Dizel yakıtı karıştırılan nanopartiküller genel olarak tüm çalışma koşullarında NO emisyonlarını azaltmaktadır. Deneysel sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde kimyasal ve fiziksel aktivasyon metodu ile üretilen karbon nanopartiküllerin 50 ppm karışımlarının egzoz emisyonlarında azalma sağladığı gözlenmiştir.

#### 4.2.Sonuçlar

- Karbonizasyon sonucu hem sıcaklık artışına hem de ısıtma hızına bağlı olarak karbonize katı piroliz sıvısı ve piroliz gaz verimleri değişkenlik göstermiştir.
- Aktif çamur atık su arıtma tesisinin işleyişi ve yapısı gereği kül oranı yüksek olan bir materyaldir. Dolayısıyla karbonizasyon sonucu kül oranı artmıştır.
- Element analiz sonuçları karbonizasyon sonucu karbonizasyon sıcaklığı ve ısıtma hızı artışı ile karbon içeriği artmaktadır. Sıcaklık etkisi ile hidrojen, azot ve oksijen değerleri düşmektedir.
- Karbonize örneklerin ısı değerleri sıcaklık ve ısıtma hızına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Kül içeriğinin artmasına bağlı olarak alt ısı değerleri düşüş göstermiştir.
- Piroliz sıvısının GC-MS sonuçlarına göre sıvının benzer bileşikler içerdiği belirlenmiştir.
- Atık aktif çamurunun karbonizasyon sonucu hem sıcaklık artışına hem de ısıtma hızına bağlı olarak karbonize katı, piroliz sıvısı ve piroliz gaz verimleri değişkenlik göstermiştir. Karbonize katı verimi en yüksek SAÇK1 ve SAÇK7 örneklerinde 400°C karbonizasyon sıcaklığında sırasıyla ağırlıkça %48,22 ve %48,53 değerlerinde elde edilmiştir. Sıvı verimi en yüksek SAÇK1 400°C sıcaklıkta ve SAÇK9 600°C sıcaklıkta sırasıyla ağırlıkça %36,23 ve %34,78 değerlerinde elde edilmiştir.
- Aktif çamur atık su arıtma tesisinin işleyişi ve yapısı gereği kül oranı yüksek olan bir materyaldir. Dolayısıyla karbonizasyon sonucu karbonize katının kül değerleri oranı artmıştır. Karbonize katı örnekleri içerisinde 650°C sıcaklıkta yapılan kül analizinde en yüksek değerler SAÇK6 ve SAÇK11 örneklerinde sırasıyla ağırlıkça %64,29 ve %64,36, 850°C sıcaklıkta yapılan kül analizinde ise en yüksek değerler yine SAÇK6 ve SAÇK11 örneklerinde elde edilmiş olup sırasıyla ağırlıkça %63,39 ve %62,38 olarak elde edilmiştir. En düşük kül değerleri ise 650°C sıcaklık için ağırlıkça SAÇK1 örneğinde ağırlıkça %49,09 ve 850°C sıcaklıkta yine aynı örnekte ağırlıkça %48,18 değerlerinde elde edilmiştir.

- Tüm örneklerin element analiz sonuçlarına göre karbonizasyon sıcaklığı ve ısıtma hızı artışı ile örneklerin bünyesindeki karbon oranı da arttığı görülmüştür. Sıcaklık etkisi ile hidrojen, azot ve oksijen değerleri düşmüştür. Kül içeriğinin yüksek olması elementel bileşimin fazla değişmemesine neden olmuştur. Külsüz kuru temelde en yüksek karbon içeriği SAÇK5 örneğinde ağırlıkça %82,29, SAÇK11 örneğinde ağırlıkça %83,90 ve SAÇK17 örneğinde ağırlıkça %91,62 olarak elde edilmiştir. Aktif karbon örnekleri içerisinde en yüksek karbon içeriği SAÇK 22 örneğinde ağırlıkça %89,31 olarak elde edilmiştir.

- Karbonize örneklerin ısıl değerleri sıcaklık ve ısıtma hızına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Kül içeriğinin artmasına bağlı olarak yapısal düzenlenmenin artması sonucu organik bileşenler daha fazla sıvı ve gaz fazına geçtiklerinden alt ısıl değerleri düşüş göstermiştir. Orijinal temelde en yüksek üst ısıl değerleri SAÇK1 ve SAÇK13 örneklerinde elde edilmiş olup sırasıyla 5998,5 kalori/gram ve 5577,2 kalori/gram değerlerinde olmuştur.

- Hammadde aynı bileşimde olduğu ve bunun sonucu kondense edilen organik piroliz sıvısının kimyasal yapısı fazla değişime uğramadığından GC-MS sonuçlarına göre sıvının benzer organik bileşikler içerdiği belirlenmiştir.

- Termal analiz sonuçlarına göre karbonizasyon sıcaklığı arttıkça yapısal düzenlenme daha düzenli olduğundan bozunma pik sıcaklıklarında artış göstermiştir. Piklerin geniş ve dar olması yapısal düzenlenmenin ve makromoleküler yapının farklı ve/veya benzer makromoleküler grupların varlığına işaret etmektedir. TGA verileri örneklerin kül içerikleri ile benzerlik göstermektedir.

- Örneklerin SEM sonuçları örneklerin yüzey morfolojisinin homojen olmadığı farklı organik ve inorganik bileşenlerin mevcut olduğu, grafitik ve grafenik birimlerin mevcut olduğunu göstermektedir.

- Aktif karbon örneklerinin hem kimyasal aktivasyon hem de fiziksel aktivasyon yöntemlerine uygun sonuçlar içerdiği görülmüştür. Özellikle KOH aktivasyonu sonucu yüksek yüzey alanı elde edilirken fiziksel aktivasyon sonucu kül içeriği yüksek olduğu ve organik makromoleküler yapı daha basit birimlerden oluştuğu için ısı ve su buharı

etkisi ile kül içeriği yüksek yüzey alanı düşük elde edilmiştir. En yüksek yüzey alanı SAÇK12 örneğinde 1.813 m<sup>2</sup>/gram olarak elde edilmiştir.

- Ham çamur külünün ICP-MS sonuçlarına göre fosfor, potasyum, kalsiyum, sodyum, demir, magnezyum, titan, çinko, bakır ve mangan elementlerince zengin olduğu görülmektedir. Evsel atık su aktif çamuru olması itibarıyla bu elementler beklenen elementlerdir. Toksik metal içermemesi kayda değer bir sonuçtur.

- FTIR sonuçları sıcaklık etkisi ile makromoleküler yapıdaki düzenlenmenin tüm sıcaklıklarda benzer olduğunu ve kül içeriğinin yüksek olması nedeniyle FTIR spektrumlarında bu inorganik yapıların hakim olduğu görülmektedir.

- SACK12 ve SACK24 dizel yakıtına katkı maddesi olarak 50 ppm ve 100 ppm olarak uygulanmış olup, tüm dizel ve dizel karışımlarında tutuşma gecikmeleri aynı açıda olduğu ve tüm yüklerde silindir pik basıncının SACK24-100 (PA100) ve SACK24-50 (PA50)' de en yüksek olması yakıtta eklenen nanopartiküllerin katkısı ile yanma hızının artmasına sebep olduğu söylenebilir.

- Testler ağır hizmet dizel motorda gerçekleştirilmiş olup egzoz sıcaklıkları incelendiğinde sıcaklıkların düşük kaldığı normal şartlarda 400 °C- 450 °C sıcaklık aralığında olması gereken sıcaklıkların 108 °C – 190 °C sıcaklık aralığında olduğu görülmektedir. Bu durum da motorun tam yüklenemediği ve hava katsayısının yüksek olduğu göstermektedir.

- CO ve HC emisyonları için, en düşük değer 100, 150 ve 200 Nm için PA50 (SAÇK24-50), en yüksek değer CA100 (SAÇK12-100) elde edilmiştir. PA50 bazik yapıda olduğu için yakıtın parçalanması ve yanması daha hızlı olduğu, CA100 kimyasal olarak bağ yapısı asidik tepkimeleri neticesinde zor yandığından dolayıdır. Grafenik yapıdaki aktif karbonun parçalanması zor olduğundan ve ortamdaki ısı çektiğinden emisyondaki HC değeri daha yüksek çıkmıştır. Bu durum CO emisyonu için de geçerlidir.

- NO emisyonlarında en yüksek CA50 ve en düşük PA50 dizel yakıtı göre daha düşük NO emisyon değerlerine sahiptir. Dizel yakıtta NO değerleri yüke göre değişimi sabit kalmıştır. 150 Nm de katkı maddeli yakıtların NO emisyonları en düşük seviyelerde

görülmektedir. Bunun nedeni katkı maddesi ısıyı üzerinde absorbe etme kabiliyeti daha yüksektir. Egzoz çıkış sıcaklıkları bu değerleri desteklemektedir.

- Fren termal verim değerlerinde yükün artması ile bütün verim değerleri artmıştır. 50, 100 ve 150 Nm de en yüksek verim değeri CA50 (SACK12-50) elde edilmiştir. Bu güçlerde 50 ppm kimyasal aktivasyonlu katkı maddesi ısıyı absorbe ederek daha dengeli bir basınç eğrileri elde edildiğinde de anlaşılmaktadır. 200 Nm de en yüksek basınç değeri SACK24-100 (PA100) elde edilmiş olup, bu durum verim değerinde de görülmektedir.

### 4.3. Öneriler

- Artan endüstrileşme ve şehirleşme; çevre kirliliğini beraberinde getirmekte olup bunun sonucu atık su miktarının artmasına ve bu artışla beraber aktif çamur miktarında da artışa sebep olmaktadır. İnorganik elementler ve/veya toksik element konsantrasyonları dikkatlice takip edilerek mutlaka enerji üretiminde kullanılmalıdır. Özellikle kalorifik değer açısından atık çamurun karbonizasyonu ve aktif karbon haline getirilmesi ile elde edilen ısı değerleri bu atıkların ısı kaynak olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlamalıdır. Böylece hem atıktan kurtulmuş hem de enerji değeri yüksek bir ısı kaynağı elde edilmiş olunacaktır.

- Karbonizasyon ile doğrudan yakma yerine ortalama ağırlıkça %30 daha az emisyon değerleri olacağı için ve piroliz sıvısının yoğunlaştırma olmadan piroliz gazı ile birlikte yakılmasından CH<sub>4</sub> giderimine konu olduğundan karbon ayak izi açısından çok büyük katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

- Elde edilen karbon ve aktif karbonların ısı değerlerinin 5022 kalori/gram ile 12199 kalori/gram aralığında olmasından dolayı katı yakıt olarak kullanılmasının hem atık bertarafı hem de yeni nesil yakıt eldesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

- Karbonlaşmış ürünlerin kül analizleri incelendiğinde içeriklerinde bulunan Na, Mg, P gibi elementler ile küllerinin de toprak katkısı olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir.

- Ayrıca biyokütle temelli özellikle K, Na, Ca, Mg oksitlerce zengin biyokütle türevi aktif karbon veya karbonize katı kullanımı yanma verimliliğini artıracığından motorun temiz kalmasına olanak sağlayabilecektir. Bu sayede yakıtın yanma verimi artacağı,

egzoz gazlarının çevreyi kirletmesinin önüne geçileceği düşünülmektedir. Özellikle dizel motora sahip ağır tonajlı araç motorlarında önemli ölçüde katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

- Genel olarak örneklerin inorganik bileşenleri bazik karakterli olup yanma ortamında motorun içerisindeki kurumun ve/veya isin temizlenmesi açısından büyük öneme sahiptir.

- Aktif karbon ve içerisinde  $K_2O$ ,  $Na_2O$  ve  $CaO$  içeren grafenik yapıdaki malzemeler dizel yakıt katkı olarak kullanıldığında yakıt performansındaki değişim birçok yüksek lisans ve doktora tez çalışmasına temel teşkil edebilir. Katkı oranı optimize edildiğinde emisyon değerlerindeki pozitif yönlü değişim gözlemlenebilecektir.

## KAYNAKÇA

1. Porowski, A., 2019. Mineral and thermal waters. **Environ. Geol**, 149-181.
2. Singh, V. P., Su, Q., 2022. Water-environment-energy-food nexus: challenges and opportunities under climate change. **Indian Journal of Soil Conservation**, **50**(3), 177-189.
3. TÜİK., 2021. Su ve atık su istatistikleri, 2020. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2020-37197>, (Erişim tarihi: 16.12.2021).
4. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2018. Dünya çevre günü Türkiye raporu, Haziran 2018. Available: <https://api.cmo.org.tr/uploads/contents/2023-05-6-15-21-28-577269.pdf>.
5. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2010. Türkiye Geneli Değerlendirme. Atıksu Arıtımı 2008-2012 Eylem Planı. Ankara: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, 65-86.
6. Jones, E. R., Van Vliet, M. T., Qadir, M., & Bierkens, M. F., 2021. Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. **Earth System Science Data**, **13**(2), 237-254.
7. Yüksekdağ, M., GÖKPINAR, S., Yelmen, B., 2020. Atıksu Arıtma Tesislerinde Arıtma Çamurları ve Bertaraf Uygulamaları. **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, (18), 895-904.
8. Xu, G., 2014. Analysis of Sewage Sludge Recovery System in EU - in Perspectives of Nutrients and Energy Recovery Efficiency, and Environmental Impacts, **Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering**, Master in Industrial Ecology, Trondheim, Norway, 90.
9. Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O., Altınbaş, M., 2015. Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı. **Türkiye Belediyeler Birliği**, Ankara, 210.

10. Rahmanlar, M.,2017. Atıksu arıtma tesisleri ve Türkiye için uygun bir işletim yönetim model önerisi, **T.C. Kalkınma Bakanlığı Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü**, Uzmanlık Tezi, Ankara, 190.
11. Gherghel, A., Teodosiu, C., De Gisi, S., 2019. A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. **Journal of cleaner production**, **228**, 244-263.
12. Gao, N., Li, J., Qi, B., Li, A., Duan, Y., Wang, Z., 2014. Thermal analysis and products distribution of dried sewage sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **105**, 43-48.
13. Jaramillo-Arango, A., Fonts, I., Chejne, F., Arauzo, J., 2016. Product compositions from sewage sludge pyrolysis in a fluidized bed and correlations with temperature. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, **121**, 287-296.
14. Udayanga, W. C., Veksha, A., Giannis, A., Lisak, G., Lim, T. T., 2019. Effects of sewage sludge organic and inorganic constituents on the properties of pyrolysis products. **Energy conversion and management**, **196**, 1410-1419.
15. Folgueras, M. B., Alonso, M., Díaz, R. M., 2013. Influence of sewage sludge treatment on pyrolysis and combustion of dry sludge. **Energy**, **55**, 426-435.
16. Djandja, O. S., Wang, Z. C., Wang, F., Xu, Y. P., Duan, P. G., 2020. Pyrolysis of municipal sewage sludge for biofuel production: a review. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, **59**(39), 16939-16956.
17. Yuan, H., Lu, T., Huang, H., Zhao, D., Kobayashi, N., Chen, Y., 2015. Influence of pyrolysis temperature on physical and chemical properties of biochar made from sewage sludge. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **112**, 284-289.
18. Zhu, Y., Zhai, Y., Li, S., Liu, X., Wang, B., Liu, X., Zhu, Y., 2022. Thermal treatment of sewage sludge: A comparative review of the conversion principle, recovery methods and bioavailability-predicting of phosphorus. **Chemosphere**, **291**, 133053.
19. Syed-Hassan, S. S. A., Wang, Y., Hu, S., Su, S., Xiang, J., 2017. Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **80**, 888-913.

20. Xu, X., Zhao, B., Sun, M., Chen, X., Zhang, M., Li, H., Xu, S., 2017. Co-pyrolysis characteristics of municipal sewage sludge and hazelnut shell by TG-DTG-MS and residue analysis. **Waste Management**, **62**, 91-100.
21. Yin, Q., Liu, M., Ren, H., 2019. Biochar produced from the co-pyrolysis of sewage sludge and walnut shell for ammonium and phosphate adsorption from water. **Journal of environmental management**, **249**, 109410.
22. Zaker, A., Chen, Z., Wang, X., Zhang, Q., 2019. Microwave-assisted pyrolysis of sewage sludge: A review. **Fuel processing technology**, **187**, 84-104.
23. Bian, Y., Yuan, Q., Zhu, G., Ren, B., Hursthouse, A., Zhang, P., 2018. Recycling of waste sludge: preparation and application of sludge-based activated carbon. **International Journal of Polymer Science**, 2018.
24. Liu, Y., Zhou, S., Liu, R., Chen, M., Xu, J., Liao, M., Tang, P., 2022. Utilization of waste sludge: Activation/modification methods and adsorption applications of sludge-based activated carbon. **Journal of Water Process Engineering**, **49**, 103111.
25. Björklund, K., Li, L. Y., 2017. Adsorption of organic stormwater pollutants onto activated carbon from sewage sludge. **Journal of environmental management**, **197**, 490-497.
26. Du, Z., Wang, Q., Du, Y., Xu, Q., Wang, D., Zhang, W., 2022. Obtaining high-value nitrogen-containing carbon nanosheets with ultrahigh surface area from waste sludge for energy storage and wastewater treatment. **Science of The Total Environment**, **805**, 150353.
27. Wang, J., Senkovska, I., Kaskel, S., Liu, Q., 2014. Chemically activated fungi-based porous carbons for hydrogen storage. **Carbon**, **75**, 372-380.
28. Park, J., Lee, S. S., 2018. Adsorption of mercury by activated carbon prepared from dried sewage sludge in simulated flue gas. **Journal of the Air and Waste Management Association**, **68**(10), 1077-1084.
29. Li, L. Y., Gong, X., Abida, O., 2019. Waste-to-resources: Exploratory surface modification of sludge-based activated carbon by nitric acid for heavy metal adsorption. **Waste Management**, **87**, 375-386.

30. Tang, S., Tang, Y., Zheng, C., Zhang, Z., 2018. Alkali metal-driven release behaviors of volatiles during sewage sludge pyrolysis. **Journal of Cleaner Production**, **203**, 860-872.
31. Tu, W., Liu, Y., Xie, Z., Chen, M., Ma, L., Du, G., Zhu, M., 2021. A novel activation-hydrochar via hydrothermal carbonization and KOH activation of sewage sludge and coconut shell for biomass wastes: Preparation, characterization and adsorption properties. **Journal of Colloid and Interface Science**, **593**, 390-407.
32. Mirkarimi, S. M. R., Bensaid, S., Chiaramonti, D., 2022. Conversion of mixed waste plastic into fuel for diesel engines through pyrolysis process: A review. **Applied Energy**, **327**, 120040.
33. Soudagar, M. E. M., Nik-Ghazali, N. N., Kalam, M. A., Badruddin, I. A., Banapurmath, N. R., Akram, N., 2018. The effect of nano-additives in diesel-biodiesel fuel blends: A comprehensive review on stability, engine performance and emission characteristics. **Energy Conversion and Management**, **178**, 146-177.
34. Sadhik Basha, J., Anand, R. B., 2011. Role of nanoadditive blended biodiesel emulsion fuel on the working characteristics of a diesel engine. **Journal of Renewable and Sustainable energy**, **3**(2).
35. Chandrasekaran, V., Arthanarisamy, M., Nachiappan, P., Dhanakotti, S., Moorthy, B., 2016. The role of nano additives for biodiesel and diesel blended transportation fuels. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, **46**, 145-156.
36. Ramesh, D. K., Kumar, J. D., Kumar, S. H., Namith, V., Jambagi, P. B., Sharath, S., 2018. Study on effects of alumina nanoparticles as additive with poultry litter biodiesel on performance, combustion and emission characteristic of diesel engine. **Materials Today: Proceedings**, **5**(1), 1114-1120.
37. Aydın, S., Guneyisu, S., Arayici, S., 2007. Investigation of using adsorbents obtained from sewage sludge with pyrolysis for removal of cod and dye from textile industry wastewater. **Ekoloji**, **16**(64), 43-48.

38. Righi, S., Oliviero, L., Pedrini, M., Buscaroli, A., Della Casa, C., 2013. Life cycle assessment of management systems for sewage sludge and food waste: centralized and decentralized approaches. **Journal of Cleaner Production**, **44**, 8-17.
39. Méndez, A., Terradillos, A. M., Gascó, G., 2013. Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **102**, 124-130.
40. Fonts, I., Gea, G., Azuara, M., Ábrego, J., Arauzo, J., 2012. Sewage sludge pyrolysis for liquid production: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, **16**(5), 2781-2805.
41. Naqvi, S. R., Tariq, R., Hameed, Z., Ali, I., Naqvi, M., Chen, W. H., Shahbaz, M., 2019. Pyrolysis of high ash sewage sludge: Kinetics and thermodynamic analysis using Coats-Redfern method. **Renewable energy**, **131**, 854-860.
42. Świerczek, L., Cieślík, B. M., Konieczka, P., 2018. The potential of raw sewage sludge in construction industry—a review. **Journal of cleaner production**, **200**, 342-356.
43. Gupta, A., Garg, A., 2015. Primary sewage sludge-derived activated carbon: characterisation and application in wastewater treatment. **Clean Technologies and Environmental Policy**, **17**, 1619-1631.
44. Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Aydın, A. F., Alp, K., Arıkan, O. A., İnsel, G. H., Karaaslan, O. T., 2012. Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi. **T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü**, Ankara.
45. Salan, T., 2014. Atıksu arıtma çamurlarının Türkiye'deki durumu ve enerji üretiminde değerlendirilme olanakları, 190-195, International Cogeneration Conference of İstanbul, 2014, İstanbul, 5.
46. Zhang, B., Xiong, S., Xiao, B., Yu, D., Jia, X., 2011. Mechanism of wet sewage sludge pyrolysis in a tubular furnace. **International journal of hydrogen energy**, **36**(1), 355-363.
47. Research and markets, 2021. Activated carbon in the global mercury control market report: trends, forecast and competitive analysis, Available:

<https://www.researchandmarkets.com/reports/5003492/activated-carbon-in-the-global-mercury-control>, (Erişim tarihi: April 2021).

48. Hu, Q., Dai, Y., Wang, C. H., 2020. Steam co-gasification of horticultural waste and sewage sludge: Product distribution, synergistic analysis and optimization. **Bioresource technology**, **301**, 122780.
49. Revellame, E., Hernandez, R., French, W., Holmes, W., Alley, E., 2010. Biodiesel from activated sludge through in situ transesterification. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, **85**(5), 614-620.
50. Trabelsi, A. B. H., Zaafour, K., Friaa, A., Abidi, S., Naoui, S., Jamaoui, F., 2021. Municipal sewage sludge energetic conversion as a tool for environmental sustainability: production of innovative biofuels and biochar. **Environmental Science and Pollution Research**, **28**, 9777-9791.
51. Anderson, N., Gu, H., Bergman, R., 2021. Comparison of novel biochars and steam activated carbon from mixed conifer mill residues. **Energies**, **14**(24), 8472.
52. Bergna, D., Romar, H., Lassi, U., 2018. Physical activation of wooden chips and the effect of particle size, initial humidity, and acetic acid extraction on the properties of activated carbons. **Journal of Carbon Research**, **4**(4), 66.
53. Wang, J., Kaskel, S., 2012. KOH activation of carbon-based materials for energy storage. **Journal of materials chemistry**, **22**(45), 23710-23725.
54. Hacıoğlu, L., 2018. Çöp gazı ile kojenerasyon ve atıksu çamurunun gübreye dönüştürülmesi. International Cogeneration Conference of Istanbul, İstanbul, 3 Mayıs 2018, 26.
55. Domínguez, A., Fernández, Y., Fidalgo, B., Pis, J. J., Menéndez, J. A., 2008. Bio-syngas production with low concentrations of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from microwave-induced pyrolysis of wet and dried sewage sludge. **Chemosphere**, **70**(3), 397-403.
56. Piskorz, J., Scott, D. S., Westerberg, I. B., 1986. Flash pyrolysis of sewage sludge. **Industrial and Engineering Chemistry Process Design and Development**, **25**(1), 265-270.

57. Fabregat, A., Bengoa, C., Font, J., Stueber, F., 2011. Reduction, Modification and Valorisation of Sludge. Iwa Publishing.
58. Tomar, M., Kumar, N., 2020. Effect of multi-walled carbon nanotubes and alumina nano-additives in a light duty diesel engine fuelled with schleichera oleosa biodiesel blends. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, **42**, 100833.
59. Alhamed, Y. A., Bamufleh, H. S., 2009. Sulfur removal from model diesel fuel using granular activated carbon from dates' stones activated by ZnCl<sub>2</sub>. **Fuel**, **88**(1), 87-94.
60. Ren, M., Fan, F., Zhou, B., Liang, X., Yang, Z., 2022. Dynamic simulation of adsorption desulfurization from diesel fuel over activated carbon in the fixed bed. **Chemical Engineering Research and Design**, **183**, 274-284.
61. Fan, Y., Hornung, U., Dahmen, N., 2022. Hydrothermal liquefaction of sewage sludge for biofuel application: A review on fundamentals, current challenges and strategies. **Biomass and Bioenergy**, **165**, 106570.
62. Yang, X., Yuan, C., Xu, J., Zhang, W., 2015. Potential method for gas production: High temperature co-pyrolysis of lignite and sewage sludge with vacuum reactor and long contact time. **Bioresource Technology**, **179**, 602-605.
63. Udayanga, W. C., Veksha, A., Giannis, A., Lisak, G., Lim, T. T., 2019. Effects of sewage sludge organic and inorganic constituents on the properties of pyrolysis products. **Energy conversion and management**, **196**, 1410-1419.
64. Boualem, T., Debab, A., de Yuso, A. M., Izquierdo, M. T., 2014. Activated carbons obtained from sewage sludge by chemical activation: gas-phase environmental applications. **Journal of environmental management**, **140**, 145-151.
65. Ledakowicz, S., Stolarek, P., Malinowski, A., Lepez, O., 2019. Thermochemical treatment of sewage sludge by integration of drying and pyrolysis/autogasification. **Renewable and sustainable energy reviews**, **104**, 319-327.

66. Rulkens, W., 2008. Sewage sludge as a biomass resource for the production of energy: overview and assessment of the various options. **Energy and Fuels**, **22**(1), 9-15.
67. Pulkrabek, W. W., 2004. Engineering fundamentals of the internal combustion engine, 126-198, Journal of Engineering For Gas Turbines and Power, ASME.
68. Zhao, P., Shen, Y., Ge, S., Yoshikawa, K., 2014. Energy recycling from sewage sludge by producing solid biofuel with hydrothermal carbonization. **Energy conversion and management**, **78**, 815-821.
69. Manara, P., Zabaniotou, A., 2012. Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion—a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **16**(5), 2566-2582.
70. Hadi, P., Xu, M., Ning, C., Lin, C. S. K., McKay, G., 2015. A critical review on preparation, characterization and utilization of sludge-derived activated carbons for wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, **260**, 895-906.
71. De Filippis, P., Di Palma, L., Petrucci, E., Scarsella, M., Verdone, N., 2013. Production and characterization of adsorbent materials from sewage sludge by pyrolysis. **Chemical Engineering Transactions**, **32**, 205-210.
72. Brachi, P., Di Fraia, S., Massarotti, N., Vanoli, L., 2022. Combined heat and power production based on sewage sludge gasification: An energy-efficient solution for wastewater treatment plants. **Energy Conversion and Management: X**, **13**, 100171.
73. Lai, J. Y., Ngu, L. H., 2020. The production cost analysis of oil palm waste activated carbon: a pilot-scale evaluation. **Greenhouse Gases: Science and Technology**, **10**(5), 999-1026.
74. Samolada, M. C., Zabaniotou, A. A., 2014. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. **Waste management**, **34**(2), 411-420.
75. Seredych, M., Lison, J., Jans, U., Badosz, T. J., 2009. Textural and chemical factors affecting adsorption capacity of activated carbon in highly efficient desulfurization of diesel fuel. **Carbon**, **47**(10), 2491-2500.

76. Mariana, M., HPS, A. K., Mistar, E. M., Yahya, E. B., Alfatah, T., Danish, M., Amayreh, M., 2021. Recent advances in activated carbon modification techniques for enhanced heavy metal adsorption. **Journal of Water Process Engineering**, **43**, 102221.
77. Hossain, M. K., Strezov, V., Nelson, P. F., 2009. Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **85**(1-2), 442-446.
78. Du, M., Yu, T., Wang, F., Qu, C., 2019, March. Study on preparation of activated carbon from sludge. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 484, p. 012013). IOP Publishing.
79. Golnari, K., Alijani, H., Nobakht, V., Mokhtari, B., 2022. High-performance total sulfur removal from diesel fuel using amine functionalized biochar: Equilibrium, kinetic study and experimental design. **Chemical Engineering Research and Design**, **185**, 253-266.
80. Cao, J. P., Li, L. Y., Morishita, K., Xiao, X. B., Zhao, X. Y., Wei, X. Y., Takarada, T., 2013. Nitrogen transformations during fast pyrolysis of sewage sludge. **Fuel**, **104**, 1-6.
81. Figueiredo, J. L., Pereira, M. F. R., Freitas, M. M. A., Orfao, J. J. M., 1999. Modification of the surface chemistry of activated carbons. **Carbon**, **37**(9), 1379-1389.
82. Zhang, J. H., Lin, Q. M., Zhao, X. R., 2014. The hydrochar characters of municipal sewage sludge under different hydrothermal temperatures and durations. **Journal of Integrative Agriculture**, **13**(3), 471-482.
83. Wang, J., Liu, T. L., Huang, Q. X., Ma, Z. Y., Chi, Y., Yan, J. H., 2017. Production and characterization of high quality activated carbon from oily sludge. **Fuel Processing Technology**, **162**, 13-19.
84. Moško, J., Pohořelý, M., Skoblia, S., Beňo, Z., Jeremiáš, M., 2020. Detailed analysis of sewage sludge pyrolysis gas: Effect of pyrolysis temperature. **Energies**, **13**(16), 4087.

85. Yuan, H., Lu, T., Huang, H., Zhao, D., Kobayashi, N., Chen, Y., 2015. Influence of pyrolysis temperature on physical and chemical properties of biochar made from sewage sludge. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **112**, 284-289.
86. Guibet, J. C., 1991. Fuels Evolution in Europe and Consequences on Exhaust Catalysis. **In Studies in Surface Science and Catalysis**, **71**, 93-103.
87. Yu, G., Lu, S., Chen, H., Zhu, Z., 2005. Diesel fuel desulfurization with hydrogen peroxide promoted by formic acid and catalyzed by activated carbon. **Carbon**, **43**(11), 2285-2294.
88. Xu, G., Yang, X., Spinosa, L., 2015. Development of sludge-based adsorbents: preparation, characterization, utilization and its feasibility assessment. **Journal of environmental management**, **151**, 221-232.
89. Lu, G. Q., Low, J. C. F., Liu, C. Y., Lua, A. C., 1995. Surface area development of sewage sludge during pyrolysis. **Fuel**, **74**(3), 344-348.
90. Zhang, F. S., Nriagu, J. O., Itoh, H., 2005. Mercury removal from water using activated carbons derived from organic sewage sludge. **Water research**, **39**(2-3), 389-395.
91. Mistar, E. M., Ahmad, S., Muslim, A., Alfatah, T., Supardan, M. D., 2018, March. Preparation and characterization of a high surface area of activated carbon from *Bambusa vulgaris*—Effect of NaOH activation and pyrolysis temperature. **In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, **334**, 012051.
92. Callegari, A., Capodaglio, A. G., 2018. Properties and beneficial uses of (bio) chars, with special attention to products from sewage sludge pyrolysis. **Resources**, **7**(1), 20.
93. Cao, J. P., Li, L. Y., Morishita, K., Xiao, X. B., Zhao, X. Y., Wei, X. Y., Takarada, T., 2013. Nitrogen transformations during fast pyrolysis of sewage sludge. **Fuel**, **104**, 1-6.
94. Ania, C. O., Bandosz, T. J., 2006. Metal-loaded polystyrene-based activated carbons as dibenzothiophene removal media via reactive adsorption. **Carbon**, **44**(12), 2404-2412.

95. Schmitt, C. C., Chiaro, S. S. X., de Andrade Tanobe, V. O., Takeshita, E. V., Yamamoto, C. I., 2017. Regeneration of activated carbon from babassu coconut refuse, applied as a complementary treatment to conventional refinery hydrotreatment of diesel fuel. **Journal of Cleaner Production**, **140**, 1465-1469.
96. Ania, C. O., Bandosz, T. J., 2005. Importance of structural and chemical heterogeneity of activated carbon surfaces for adsorption of dibenzothiophene. **Langmuir**, **21**(17), 7752-7759.
97. Mohamed, B. A., Li, L. Y., Hamid, H., Jeronimo, M., 2022. Sludge-based activated carbon and its application in the removal of perfluoroalkyl substances: a feasible approach towards a circular economy. **Chemosphere**, **294**, 133707.
98. Hoang, A. T., Le, M. X., Nižetić, S., Huang, Z., Ağbulut, Ü., Veza, I., Nguyen, X. P., 2022. Understanding behaviors of compression ignition engine running on metal nanoparticle additives-included fuels: A control comparison between biodiesel and diesel fuel. **Fuel**, **326**, 124981.
99. Korus, A., Gutierrez, J. P., Szłęk, A., Jagiello, J., Hornung, A., 2022. Pore development during CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O activation associated with the catalytic role of inherent inorganics in sewage sludge char and its performance during the reforming of volatiles. **Chemical Engineering Journal**, **446**, 137298.
100. Jaramillo-Arango, A., Fonts, I., Chejne, F., Arauzo, J., 2016. Product compositions from sewage sludge pyrolysis in a fluidized bed and correlations with temperature. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, **121**, 287-296.
101. Swat, A. A. A., Saleh, T. A., Ganiyu, S. A., Siddiqui, M. N., Alhooshani, K. R., 2017. Preparation of activated carbon, zinc oxide and nickel oxide composites for potential application in the desulfurization of model diesel fuels. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **128**, 246-256.
102. European Solar Thermal Industry Federation. 2015. Solar Thermal Markets In Europa Trends and Market Statistics 2014. Brussels : European Solar Thermal Industry Federation, 2015.
103. International Solid Waste Association. Working Group on Sewage & Waterworks Sludge. (1998). Sludge treatment and disposal: management approaches and

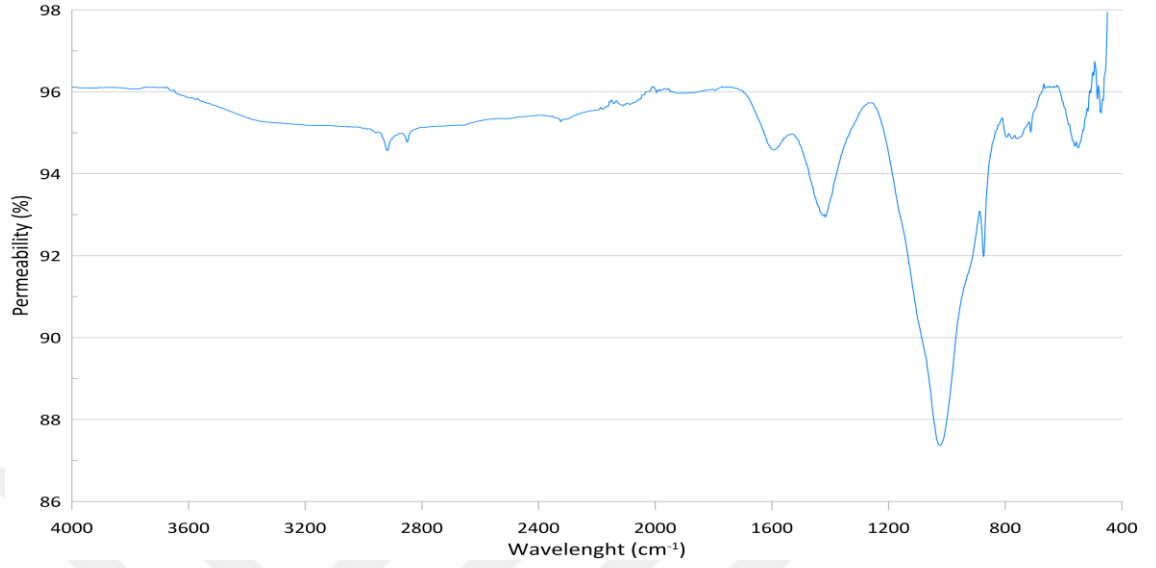
experiences (No. 7). Office for official publications of the European communities.

104. Toraman, Ö. Y., Topal, H., 2003. Katı Atık Ve Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesinde Alternatif Termal Teknolojiler Ve Uygulamaları. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **18**(1), 19-33.
105. Xiong, S., Zhuo, J., Zhang, B., Yao, Q., 2013. Effect of moisture content on the characterization of products from the pyrolysis of sewage sludge. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **104**, 632-639.
106. Xing, J., Xu, G., Li, G., 2021. Comparison of pyrolysis process, various fractions and potential soil applications between sewage sludge-based biochars and lignocellulose-based biochars. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, **208**, 111756.
107. Khawer, M. U. B., Naqvi, S. R., Ali, I., Arshad, M., Juchelková, D., Anjum, M. W., Naqvi, M., 2022. Anaerobic digestion of sewage sludge for biogas & biohydrogen production: State-of-the-art trends and prospects. **Fuel**, **329**, 125416.
108. Mashhadi, S., Sohrabi, R., Javadian, H., Ghasemi, M., Tyagi, I., Agarwal, S., Gupta, V. K., 2016. Rapid removal of Hg (II) from aqueous solution by rice straw activated carbon prepared by microwave-assisted H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activation: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. **Journal of Molecular Liquids**, **215**, 144-153.
109. Ghodke, P. K., Sharma, A. K., Pandey, J. K., Chen, W. H., Patel, A., Ashokkumar, V., 2021. Pyrolysis of sewage sludge for sustainable biofuels and value-added biochar production. **Journal of Environmental Management**, **298**, 113450.
110. Dharmalingam, B., Ramalingam, S., Santhoshkumar, A., Gundupalli, M. P., Sriariyanun, M., 2023. A review on different additives and advanced injection strategy on diesel engine characteristics fuelled with first, second and third generation biodiesel. **Materials Today: Proceedings**, **72**, 2909-2914.

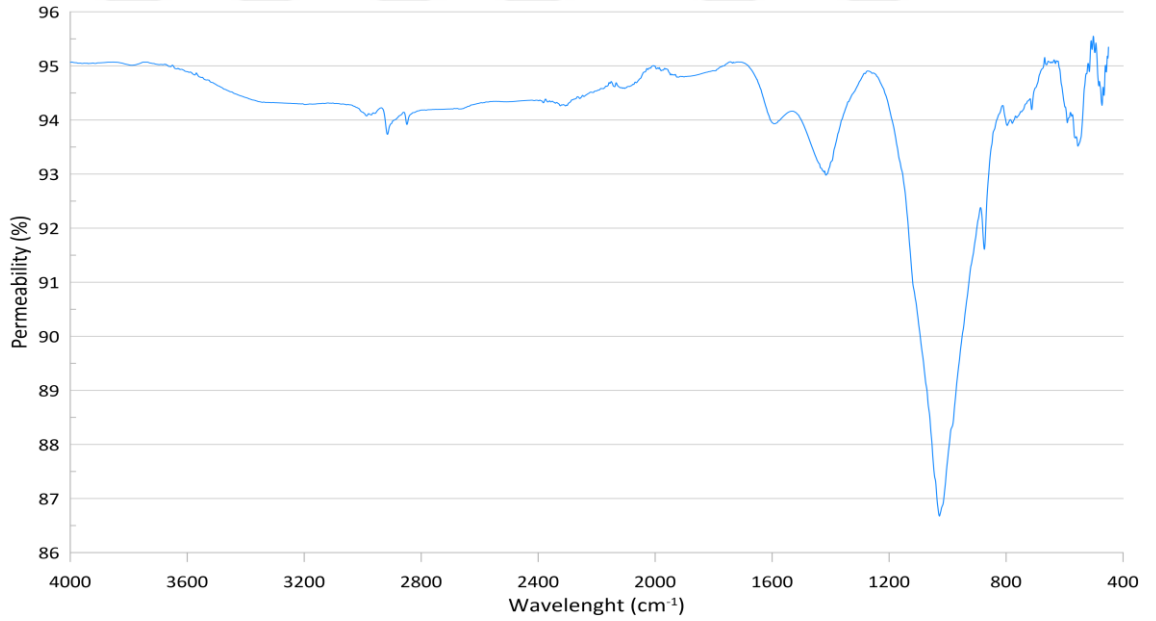
## **EKLER**

### **EK 1. Makale Kabul Yazısı**

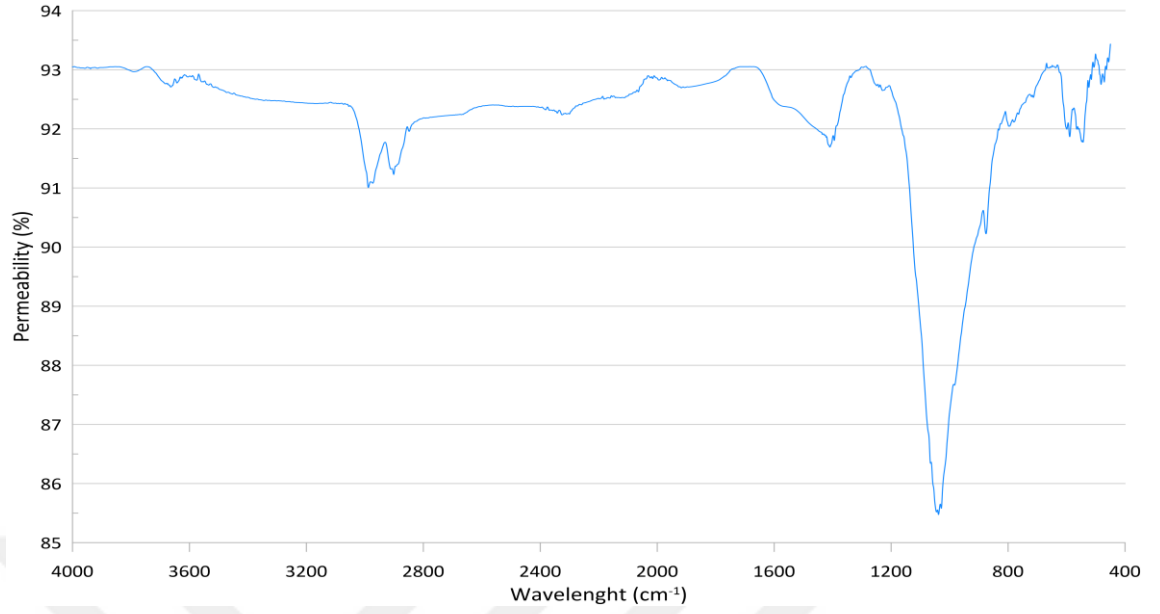


**EK 2. FT-IR Analiz Sonuç Grafikleri**

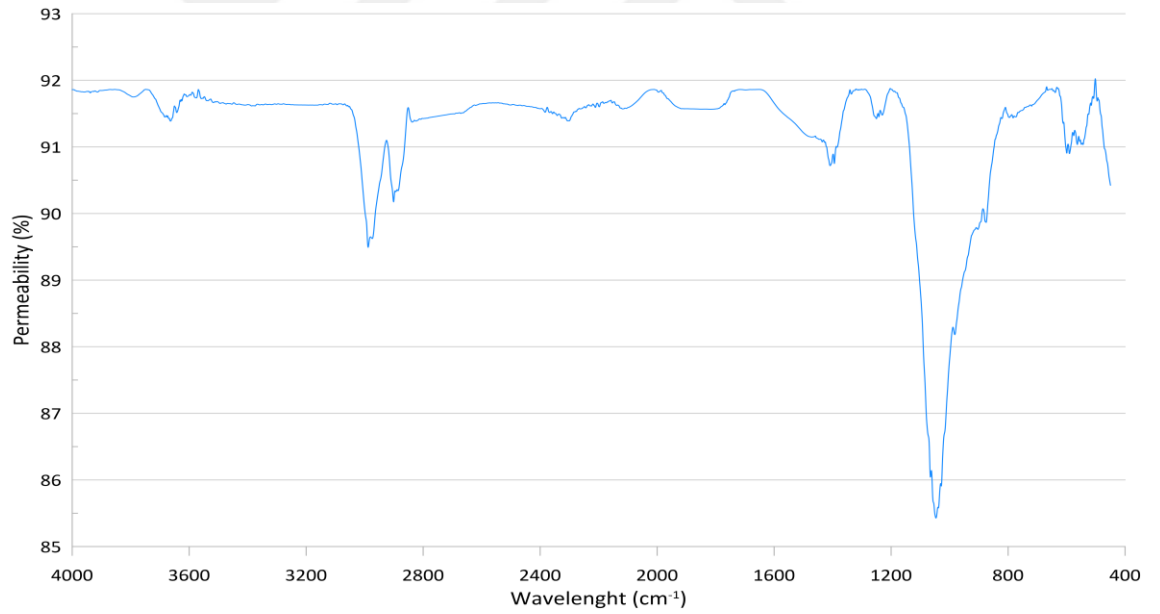
SAÇK2 FT-IR analiz sonuç grafiği



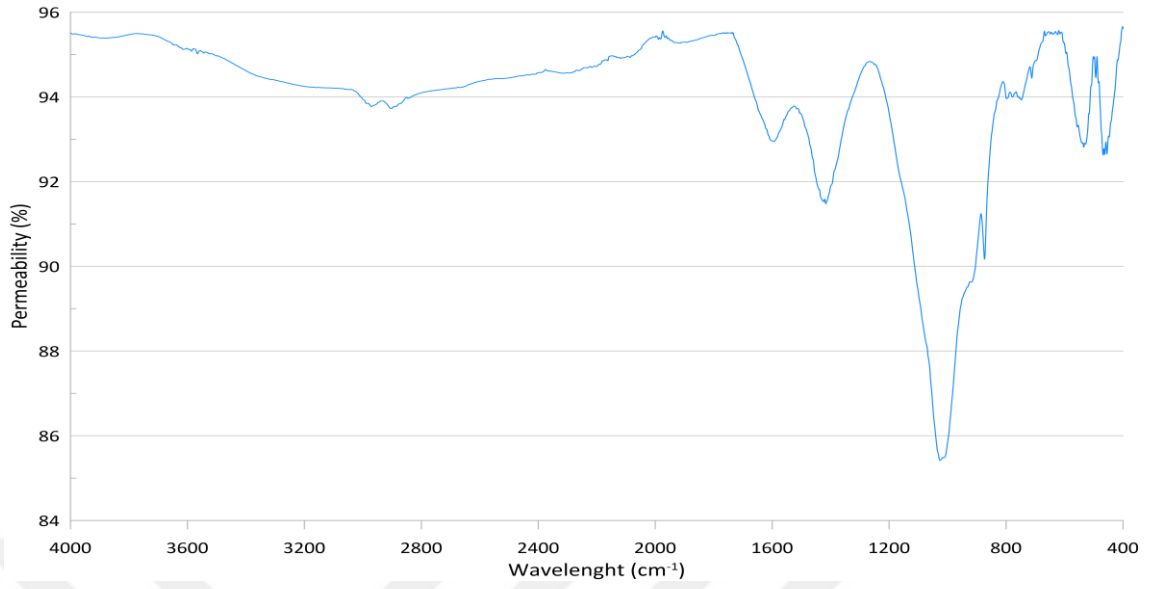
SAÇK3 FT-IR analiz sonuç grafiği



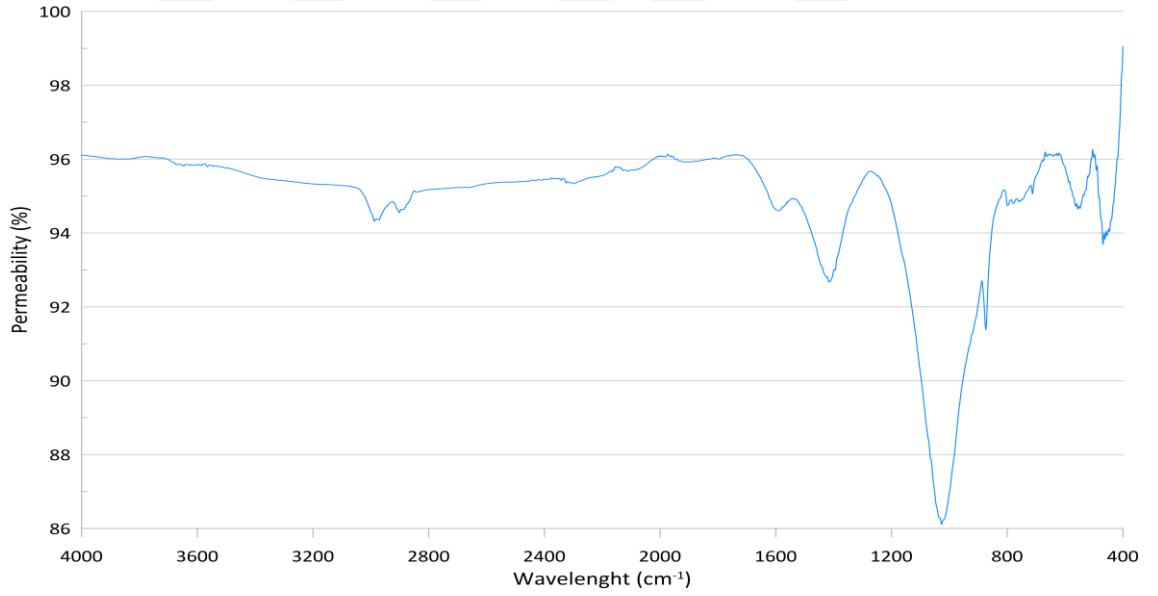
SAÇK4 FT-IR analiz sonuç grafiği



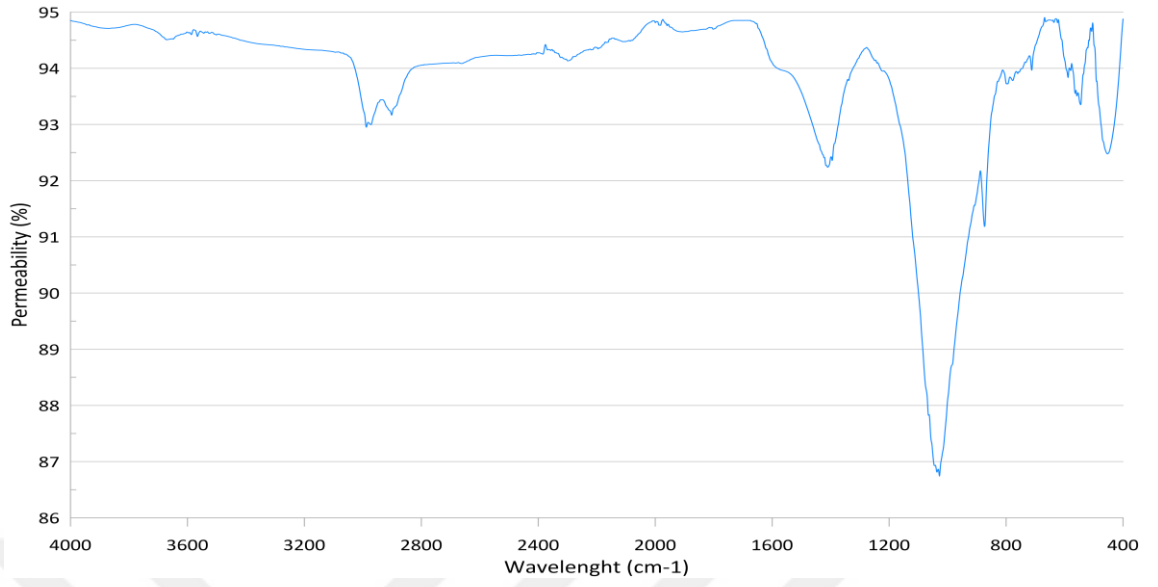
SAÇK5 FT-IR analiz sonuç grafiği



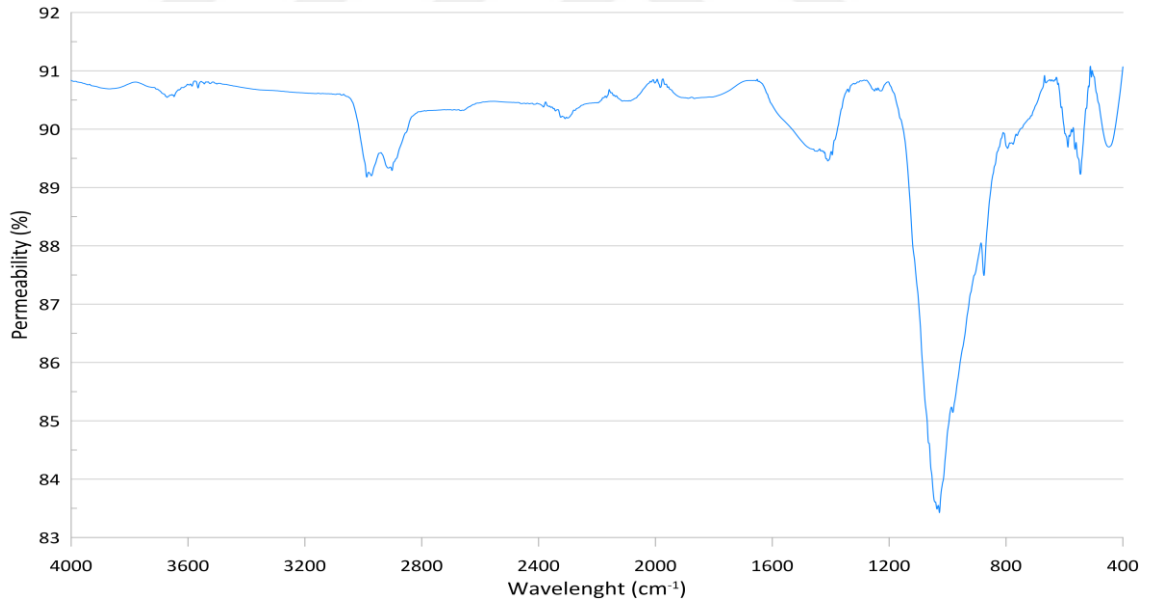
SAÇK7 FT-IR analiz sonuç grafiği



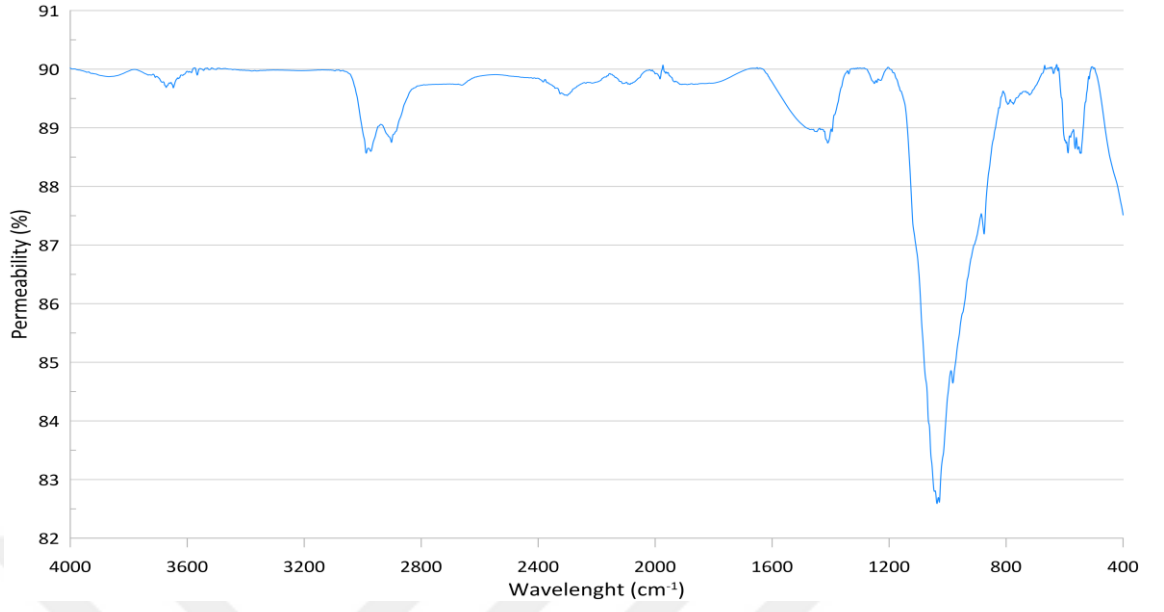
SAÇK8 FT-IR analiz sonuç grafiği



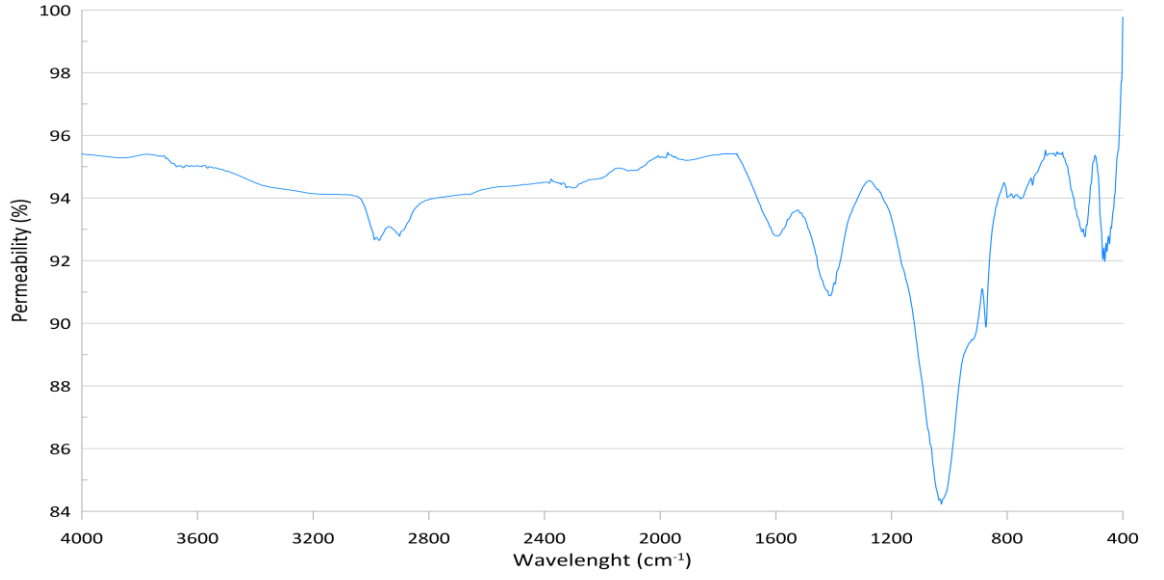
SAÇK9 FT-IR analiz sonuç grafiği



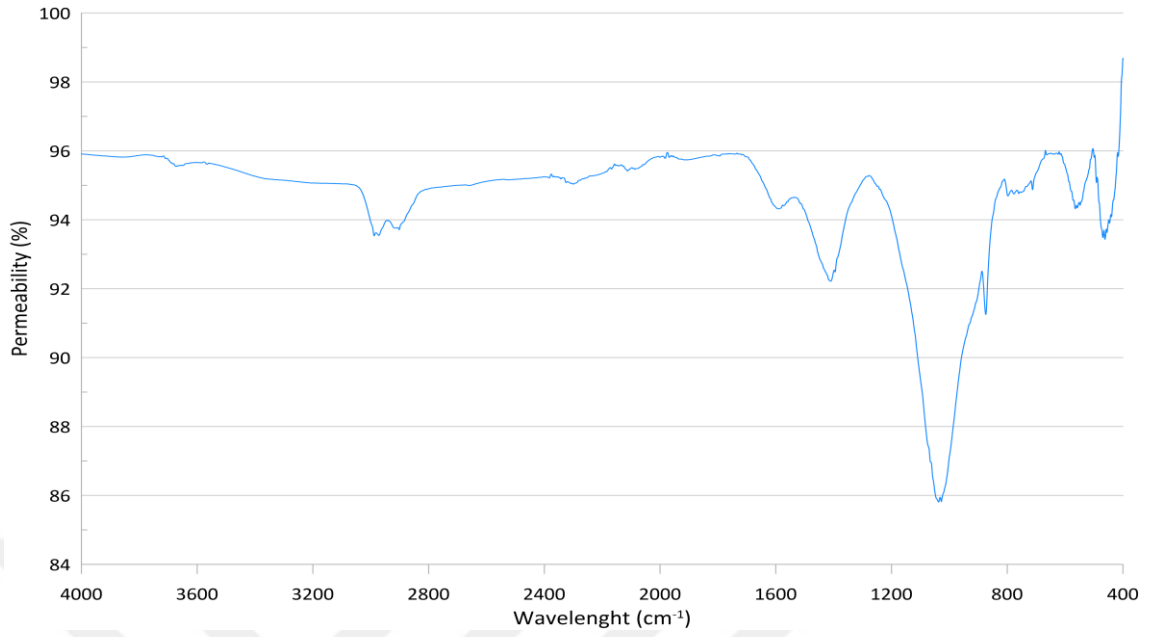
SAÇK10 FT-IR analiz sonuç grafiği



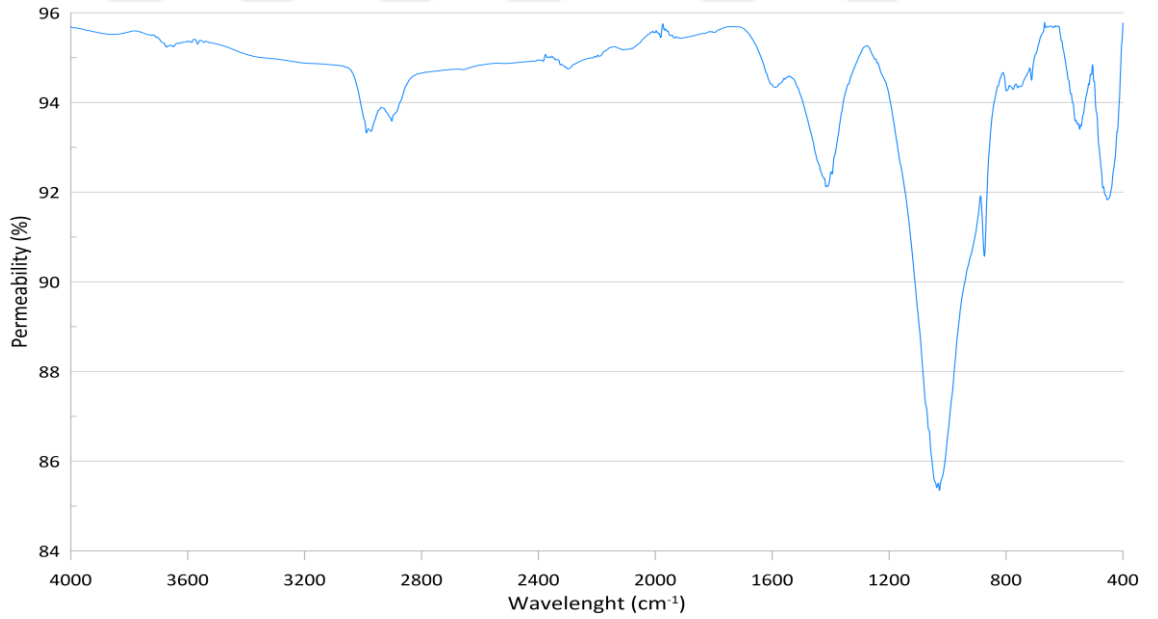
SAÇK11 FT-IR analiz sonuç grafiği



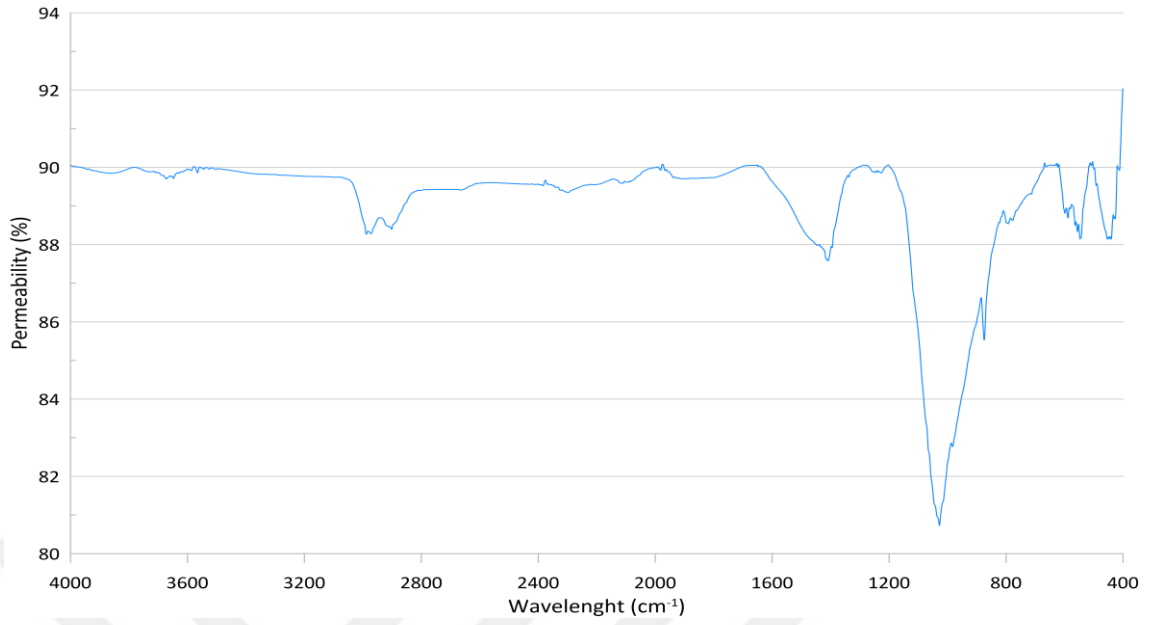
SAÇK13 FT-IR analiz sonuç grafiği



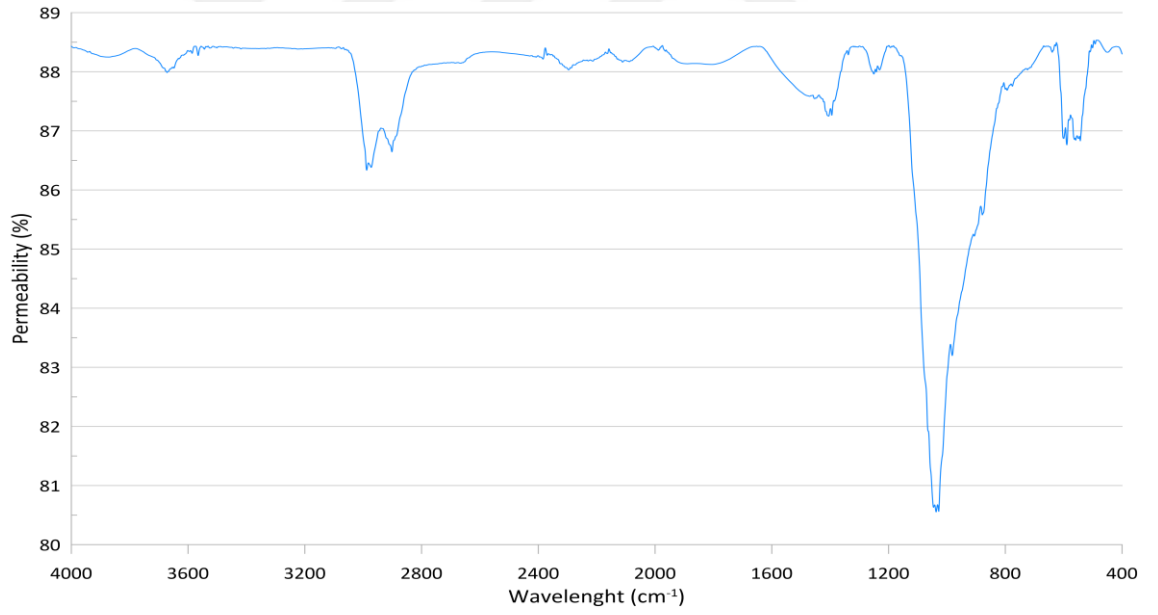
SAÇK14 FT-IR analiz sonuç grafiği



SAÇK15 FT-IR analiz sonuç grafiği

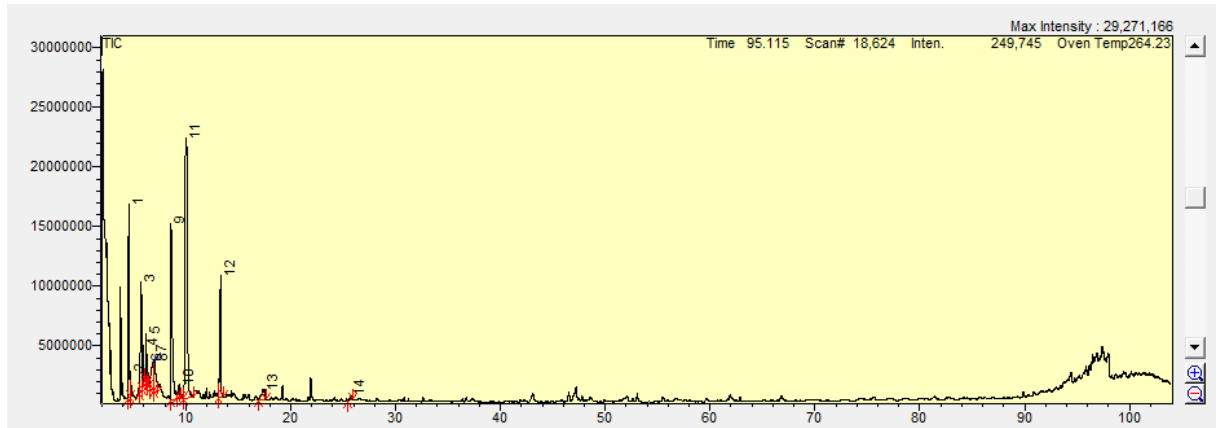


SAÇK16 FT-IR analiz sonuç grafiği



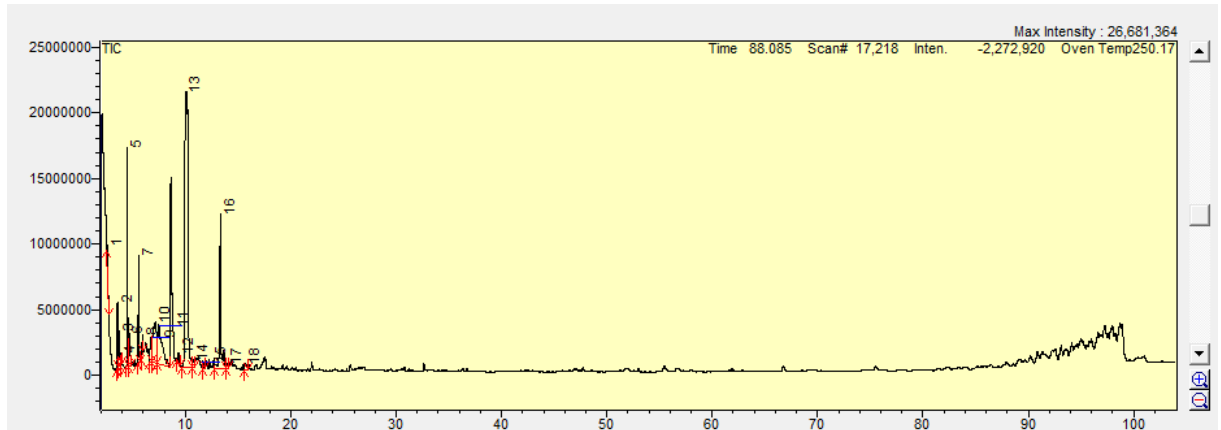
SAÇK17 FT-IR analiz sonuç grafiği

### EK 3. GC-MS Analiz Sonuç Tabloları



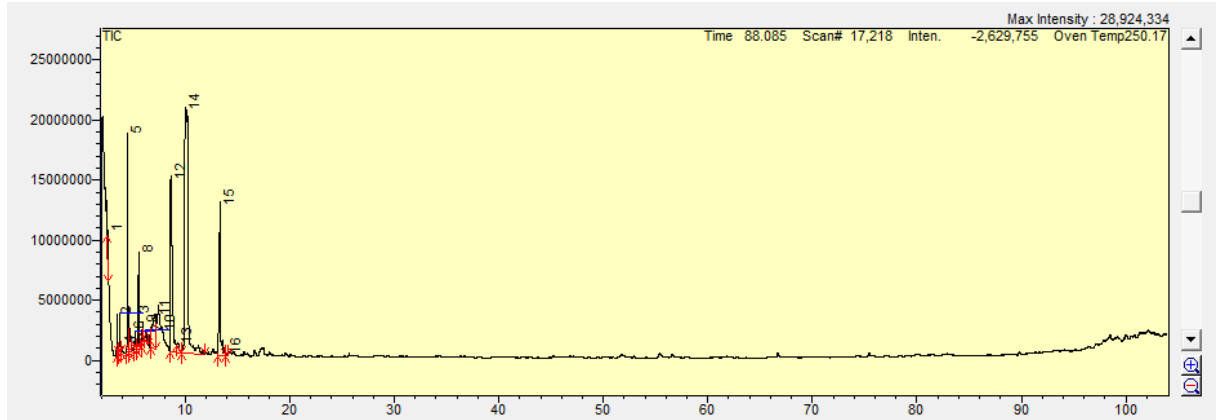
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	4.543	4.430	4.665	TIC	58301112	6.37	16244558	17.99	3.59		3-Hexen-2-one
2	4.691	4.665	4.745	TIC	7018107	0.77	2138843	2.37	3.28	V	Ethyl 2-isocyanatopropionate
3	5.757	5.535	5.805	TIC	59313471	6.48	9018514	9.98	6.58	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
4	5.951	5.845	6.040	TIC	9277728	1.01	3149043	3.49	2.95		Benzene, 1,3-dimethyl-
5	6.211	6.135	6.330	TIC	26119258	2.85	3984576	4.41	6.56		2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
6	6.359	6.330	6.460	TIC	5292649	0.58	1995132	2.21	2.65	V	N,N-Dimethylacetamide
7	6.855	6.555	6.935	TIC	37320605	4.08	2333874	2.58	15.99	V	Cyclohexaneethanamine, N-alpha-dimethyl- (CAS)
8	6.978	6.935	7.325	TIC	34372350	3.76	2520562	2.79	13.64	V	Pentanal, 2-methyl- (CAS)
9	8.589	8.495	9.805	TIC	163432025	17.86	14624859	16.19	11.17	S	Phenol, 4-(ethylamino)-
10	9.347	9.145	9.535	TIC	8284264	0.91	1005759	1.11	8.24	TV	Pyridine, 2,4,6-trimethyl-
11	10.023	9.805	10.695	TIC	411624791	44.97	21777151	24.11	18.90	SV	2-Decanone (CAS)
12	13.312	13.155	13.615	TIC	71668774	7.83	10213433	11.31	7.02	V	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-
13	17.387	16.945	17.720	TIC	19081461	2.08	867804	0.96	21.99	V	2H-Pyran-2-one, tetrahydro-6-propyl- (CAS)
14	25.736	25.470	25.945	TIC	4157434	0.45	447442	0.50	9.29		Dodecane, 4,6-dimethyl-

### SAĞK2 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



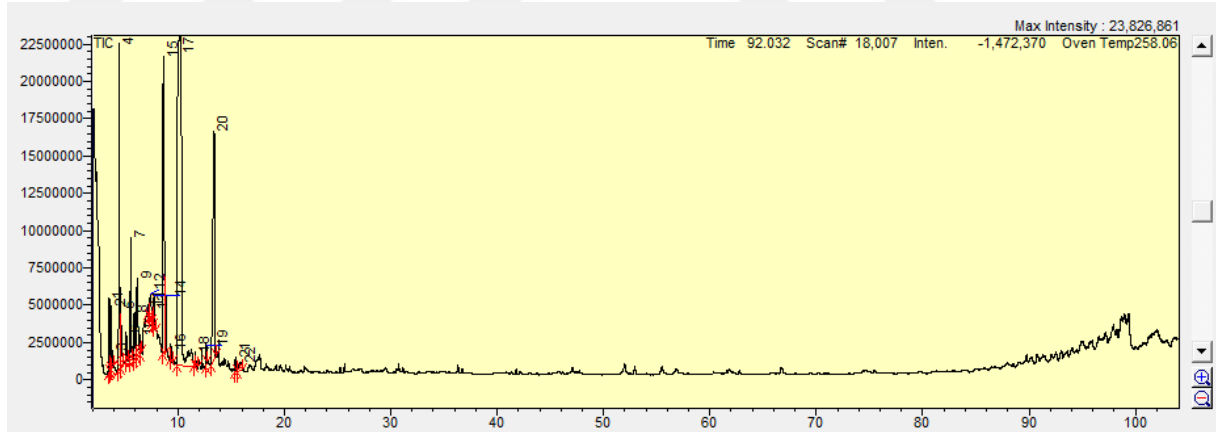
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	2.561	2.530	2.725	TIC	8048594	0.82	1198356	1.46	6.72		2-Propanamine, N-methyl- (CAS)
2	3.545	3.430	3.630	TIC	16579001	1.69	5058236	6.17	3.28		Ethanol, 2-(dimethylamino)- (CAS)
3	3.707	3.630	3.815	TIC	13586251	1.38	2730864	3.33	4.98	V	4-Heptyn-3-ol
4	3.868	3.815	3.985	TIC	4287715	0.44	977681	1.19	4.39	V	1,3,5-Cycloheptatriene
5	4.493	4.390	4.605	TIC	71224276	7.25	16629609	20.28	4.28		3-Hexen-2-one (CAS)
6	4.649	4.605	4.845	TIC	18035885	1.84	2475719	3.02	7.29	V	1,3,2-Dioxaborolan-4-one, 2-ethyl-
7	5.608	5.435	5.660	TIC	49272944	5.02	8165475	9.96	6.03		2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
8	5.904	5.830	6.000	TIC	7181198	0.73	1663304	2.03	4.32		Benzene, 1,3-dimethyl-
9	6.750	6.575	6.840	TIC	23284631	2.37	1905358	2.32	12.22		N,N-DIMETHYL-3-BUTEN-1-AMINE #
10	7.137	6.840	7.340	TIC	75154911	7.65	3139471	3.83	23.94	V	2-Propanone, 1-(dimethylamino)- (CAS)
11	7.490	7.340	8.540	TIC	82730443	8.42	2947395	3.59	28.07	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
12	9.343	9.190	9.565	TIC	6405252	0.65	745216	0.91	8.60		Pyridine, 2,4,6-trimethyl-
13	10.074	9.690	10.690	TIC	476289143	48.49	21005491	25.61	22.67		2-Decanone (CAS)
14	10.815	10.690	10.915	TIC	6794993	0.69	599326	0.73	11.34	V	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-
15	11.640	11.590	11.865	TIC	3848527	0.39	517310	0.63	7.44	V	Pyridine, 2-ethyl-4,6-dimethyl-
16	13.332	12.790	13.840	TIC	107550798	10.95	11368066	13.86	9.46	V	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-
17	14.018	13.840	14.140	TIC	5033992	0.51	428147	0.52	11.81	V	2-Pyridinamine (CAS)
18	15.651	15.515	15.915	TIC	6998757	0.71	456934	0.56	15.32		Cyclobutane, 2-hexyl-1,1,4-trimethyl-

### SAĞK3 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



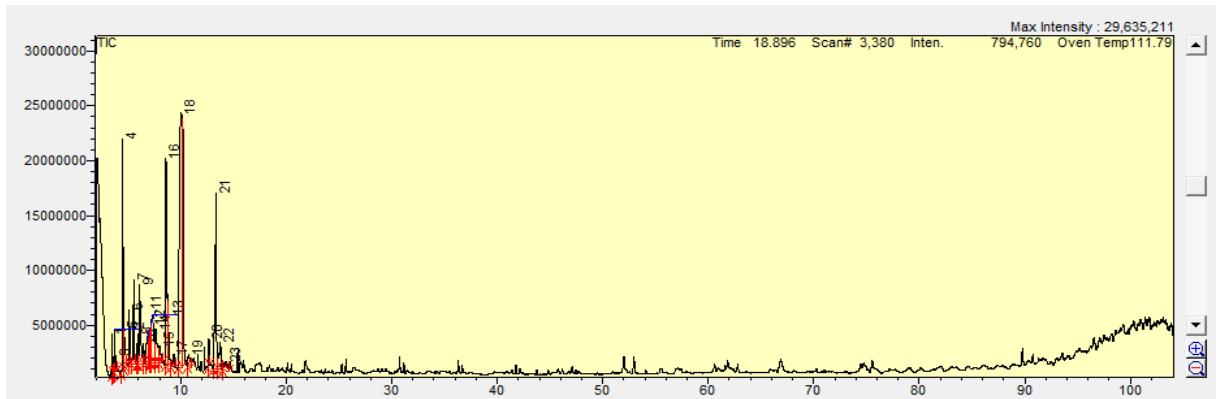
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	2.591	2.540	2.665	TIC	5212241	0.47	1944429	2.10	2.68		ACETAMIDE, N-METHYL-
2	3.465	3.430	3.635	TIC	16720075	1.51	3427486	3.71	4.88	V	Ethanol 2-(dimethylamino)- (CAS)
3	3.705	3.635	3.815	TIC	12291484	1.11	3345602	3.62	3.67	V	4-Heptyn-3-ol
4	3.855	3.815	3.885	TIC	2461016	0.22	720117	0.78	3.42	V	Benzene, methyl- (CAS)
5	4.489	4.375	4.640	TIC	84823214	7.67	18261854	19.75	4.64		3-Hexen-2-one (CAS)
6	4.655	4.640	4.835	TIC	12066885	1.09	1979485	2.14	6.10	V	Ethyl 2-isocyanatopropionate
7	5.157	5.050	5.340	TIC	8263555	0.75	1624427	1.76	5.09	V	Methanamine, N-[3-methyl-2-butenylidene]
8	5.558	5.340	5.660	TIC	50325046	4.55	8084498	8.74	6.22	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
9	5.903	5.830	5.995	TIC	6565556	0.59	1809677	1.96	3.63		o-Xylene
10	6.208	6.125	6.415	TIC	7506989	0.68	814617	0.88	9.22		1,2-Ethanediamine, N'-ethyl-N,N-dimethyl- (CAS)
11	7.132	6.740	7.240	TIC	69740875	6.31	2844487	3.08	24.52	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
12	8.617	8.515	9.590	TIC	194923271	17.63	14471031	15.65	13.47	S	Phenol, 4-(ethylamino)-
13	9.316	9.140	9.590	TIC	5182815	0.47	486071	0.53	10.66	T	Pyridine, 2,3,6-trimethyl- (CAS)
14	10.074	9.865	11.865	TIC	509061239	46.07	20083499	21.71	25.00		2-Decanone (CAS)
15	13.332	13.085	13.865	TIC	117712074	10.65	12336487	13.34	9.54	V	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-
16	14.004	13.865	14.115	TIC	2583845	0.23	233467	0.25	11.07	V	4-Pyridinamine (CAS)

## SAÇK4 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



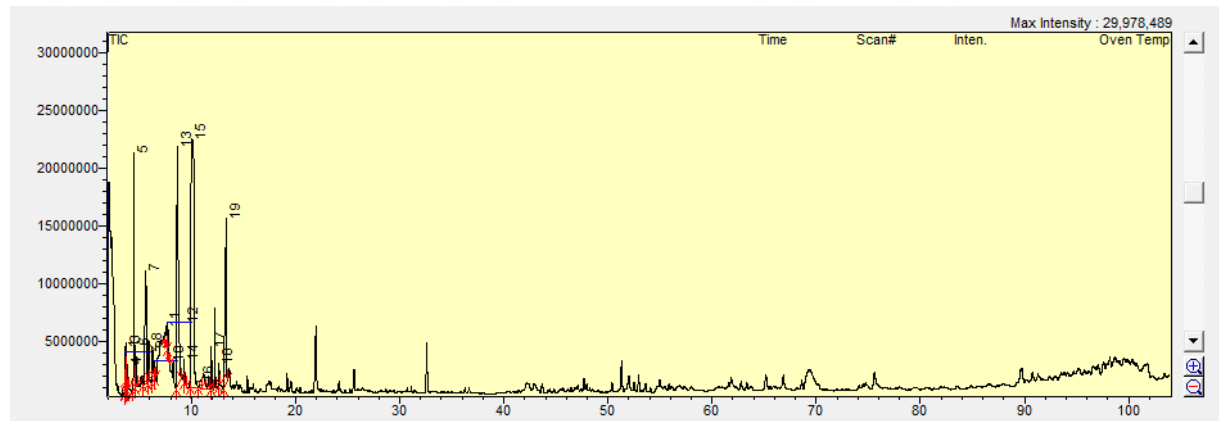
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	3.540	3.505	3.610	TIC	15973667	1.21	4997141	4.06	3.20		Ethanol 2-(dimethylamino)- (CAS)
2	3.685	3.610	3.780	TIC	16140037	1.22	4282504	3.48	3.77	V	4-Heptyn-3-ol
3	3.858	3.780	3.965	TIC	5071347	0.38	1163268	0.95	4.36	V	Benzene, methyl- (CAS)
4	4.498	4.355	4.590	TIC	124089785	9.37	21823728	17.74	5.69		3-Penten-2-one, 4-methyl- (CAS)
5	4.621	4.590	4.805	TIC	26091738	1.97	3929523	3.19	6.64	V	1,3,2-Dioxaborolan-4-one, 2-ethyl-
6	5.123	5.095	5.290	TIC	8468639	0.64	1995914	1.62	4.24		Methanamine, N-[3-methyl-2-butenylidene]
7	5.611	5.415	5.655	TIC	58103677	4.39	8245452	6.70	7.05	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
8	5.884	5.785	6.020	TIC	14502574	1.10	3068506	2.49	4.73		Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
9	6.152	6.020	6.395	TIC	43926273	3.32	5197636	4.22	8.45	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
10	6.461	6.395	6.595	TIC	5727495	0.43	1207016	0.98	4.75	V	Cyclopentene, 1-ethyl-3-methylene-
11	7.190	7.125	7.320	TIC	8620473	0.50	509543	0.41	12.99		Methanaminium, 1-carboxy-N,N,N-trimethyl-, hydroxide, inner salt
12	7.394	7.320	7.535	TIC	16115880	1.22	1613928	1.31	9.99	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
13	7.625	7.535	7.685	TIC	8212425	0.62	1019014	0.83	8.06	V	Pyridine, 2,4-dimethyl-
14	7.746	7.685	7.930	TIC	15045080	1.14	2071300	1.68	7.26	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
15	8.626	8.490	8.755	TIC	185860050	14.03	19867824	16.15	9.35		Phenol, 4-(ethylamino)-
16	9.365	9.315	9.465	TIC	4355799	0.33	686371	0.56	6.35	V	Butanoic acid, 3-methyl- (CAS)
17	10.119	9.865	11.810	TIC	587282796	44.32	22437531	18.26	25.08	S	2-Decanone (CAS)
18	11.609	11.440	11.650	TIC	4688890	0.35	959536	0.78	4.89	TV	2-Ethyl-3,5-dimethylpyridine
19	12.671	12.580	12.760	TIC	4732738	0.36	1330891	1.08	3.56		2-Ethyl-6-isopropyl pyridine
20	13.406	13.070	13.580	TIC	158627972	11.98	15207640	12.36	10.43		4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl- (CAS)
21	15.407	15.330	15.530	TIC	3653602	0.28	906566	0.74	4.03		N,N-Bis(salicylidene)-1,3-propanediamine
22	15.976	15.530	16.080	TIC	11082844	0.84	507156	0.41	21.85		Pyridine, 2,4,6-trimethyl- (CAS)

## SAÇK5 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



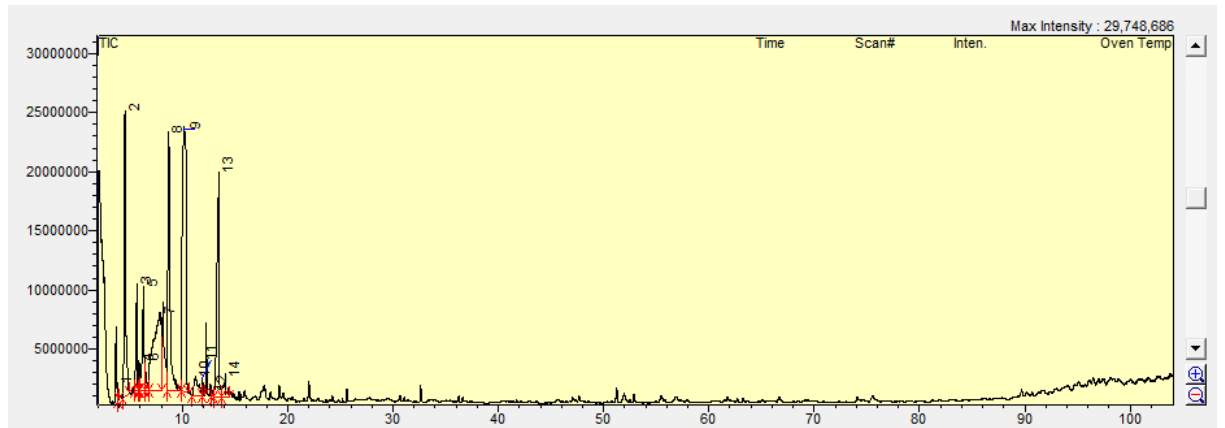
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	3.476	3.445	3.620	TIC	14085330	1.07	3718446	2.68	3.79	V	N,N-Dimethylaminoethanol
2	3.714	3.620	3.760	TIC	13651048	1.04	3985020	2.87	3.43	V	4-Heptyn-3-ol
3	3.874	3.760	3.965	TIC	7605135	0.58	1459385	1.05	5.21	V	1,3,5-CYCLOHEPTATRENE
4	4.513	4.380	4.610	TIC	116350104	8.85	21112996	15.19	5.51	V	3-Penten-2-one, 4-methyl- (CAS)
5	4.630	4.610	4.815	TIC	22511893	1.71	3744062	2.69	6.01	V	Ethyl 2-isocyanatopropionate
6	5.117	5.080	5.255	TIC	18999641	1.45	4879998	3.51	3.89	V	Methanamine, N-[3-methyl-2-butenylidene]
7	5.583	5.385	5.660	TIC	56689846	4.31	7593155	5.46	7.47	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
8	5.902	5.775	5.995	TIC	11434446	0.87	2652031	1.92	4.30	V	Benzene, 1,3-dimethyl-
9	6.115	5.995	6.405	TIC	95407258	4.97	7221632	5.20	9.06	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
10	6.472	6.405	6.635	TIC	10492863	0.80	1791269	1.29	5.86	V	Benzenepropionyl bromide
11	6.835	6.635	6.915	TIC	30490690	2.32	2355343	1.69	12.95	V	2-Hexanone (CAS)
12	7.155	7.075	7.195	TIC	24078923	1.83	3529440	2.54	6.82	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
13	7.296	7.195	7.505	TIC	63767949	4.85	4416157	3.18	14.44	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
14	7.623	7.505	7.875	TIC	48221523	3.67	3094315	2.23	15.58	V	1-Heptanamine, N,N-dimethyl-
15	7.985	7.875	8.265	TIC	19966037	1.52	1569469	1.13	12.72	V	4-DIMETHYLAMINO-2,3,3-TRIMETHYL-BUTAN-2-OL
16	8.595	8.475	8.745	TIC	190718287	14.50	18837845	13.55	10.12	V	Phenol, 4-(ethylamino)-
17	9.291	9.045	9.485	TIC	13895183	1.06	1171422	0.84	11.86	V	Pyridine, 2,4,6-trimethyl-
18	10.035	9.765	10.105	TIC	348724245	26.50	23268284	16.73	14.99	V	2-Decanone (CAS)
19	10.785	10.635	10.985	TIC	15459178	1.18	1144856	0.82	13.50	V	Phenol (CAS)
20	12.665	12.555	12.745	TIC	9030299	0.89	2524487	1.82	3.58	V	2-Ethyl-6-isopropyl pyridine
21	13.381	13.055	13.515	TIC	167460613	12.74	15963888	11.49	10.49	V	4-Piperidone, 2,2,6,6-tetramethyl- (CAS)
22	13.765	13.515	13.915	TIC	26927108	2.05	2098370	1.51	12.83	V	Phenol, 3-methyl-
23	14.357	13.915	14.540	TIC	18884916	1.44	846803	0.61	22.30	V	Ethanol, 2-ethoxy-, acetate (CAS)

## SAÇK6 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



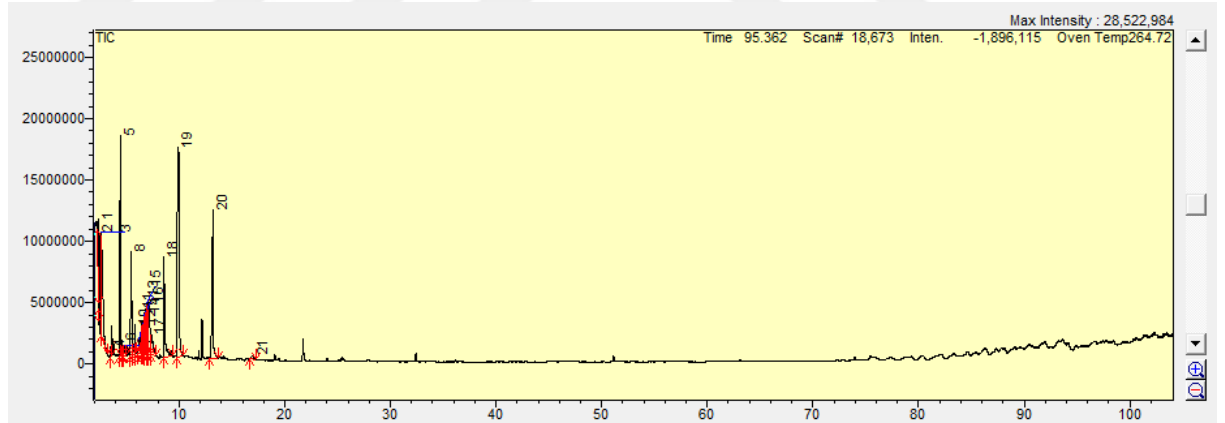
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	3.580	3.550	3.630	TIC	11411026	0.99	4048935	3.24	2.82	V	Ethanol, 2-(dimethylamino)- (CAS)
2	3.650	3.630	3.670	TIC	7488524	0.65	3537744	2.83	2.12	V	Pyridine
3	3.695	3.670	3.795	TIC	12748316	1.10	4276424	3.43	2.98	V	2,6-Dimethyl-6-nitro-2-hepten-4-one
4	3.894	3.795	3.955	TIC	6902489	0.60	2082661	1.67	3.31	V	Toluene
5	4.490	4.370	4.600	TIC	98850530	8.56	20450525	16.38	4.83	V	3-Penten-2-one, 4-methyl- (CAS)
6	4.635	4.600	4.800	TIC	17854232	1.55	3638086	2.91	4.91	V	1,3,2-Dioxaborolan-4-one, 2-ethyl-
7	5.632	5.375	5.655	TIC	75031613	6.49	9740960	7.80	7.70	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
8	5.881	5.800	5.975	TIC	10430099	0.90	3576458	2.86	2.92	V	Benzene, 1,3-dimethyl-
9	6.237	6.150	6.385	TIC	21793970	1.89	2917521	2.34	7.47	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
10	6.446	6.385	6.545	TIC	6408875	0.55	1557304	1.25	4.12	V	1-vinyl-1,3-cyclohexadiene
11	7.532	7.440	7.635	TIC	12744788	1.10	1532801	1.23	8.31	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
12	7.708	7.635	7.880	TIC	17993196	1.58	2832426	2.27	6.35	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
13	8.661	8.530	9.005	TIC	224501745	19.43	20724380	16.60	10.83	V	Phenol, 4-(ethylamino)-
14	9.298	9.255	9.505	TIC	10000085	0.87	2024690	1.62	4.94	V	Pyridine, 2,4,6-trimethyl-
15	10.070	9.875	11.790	TIC	455478990	38.42	21547722	17.28	20.27	SV	2-Decanone (CAS)
16	10.770	10.630	11.030	TIC	10048540	0.87	542863	0.43	18.51	T	Carbamic acid, phenyl ester
17	11.911	11.820	12.100	TIC	14511090	1.26	3674474	2.94	3.95	V	2-Cyclopentan-1-one, 2,3-dimethyl-
18	12.851	12.560	12.730	TIC	8625987	0.57	1977971	1.58	3.35	V	2-Ethyl-6-isopropyl pyridine
19	13.346	13.040	13.440	TIC	134504589	11.64	14152639	11.34	9.50	V	4-Piperidone, 2,2,6,6-tetramethyl-

## SAÇK7 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



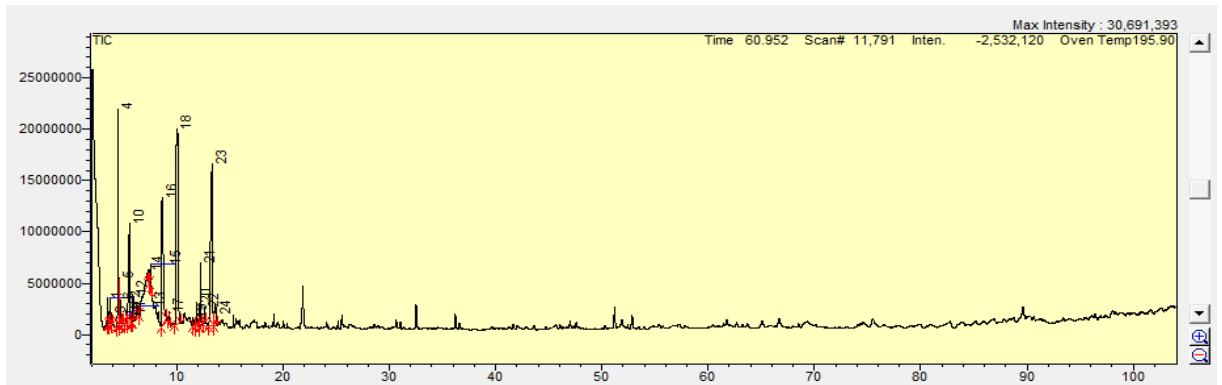
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	3.864	3.830	4.005	TIC	5800263	0.29	1484902	1.21	3.91	V	1,3,5-CYCLOHEPTATRIENE
2	4.536	4.355	4.965	TIC	228066470	11.44	24175741	19.75	9.35	S	3-Pentan-2-one, 4-methyl- (CAS)
3	5.685	5.485	5.790	TIC	70532456	3.57	8883040	7.26	7.94	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
4	5.875	5.970	5.970	TIC	14814571	0.75	2541326	2.08	5.83	V	Benzene, 1,3-dimethyl-
5	6.315	5.970	6.410	TIC	101675976	5.14	8695206	7.10	11.69	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
6	6.440	6.410	6.760	TIC	24086547	1.22	2602976	2.13	9.25	V	Benzene, 1,3-dimethyl-
7	7.911	6.760	8.045	TIC	349003629	17.66	6565875	5.36	53.15	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
8	8.713	8.520	9.845	TIC	297511967	15.05	21623795	17.66	13.76	SV	Phenol, 4-(ethylamino)-
9	10.177	9.870	10.670	TIC	512966036	25.96	22274522	18.20	23.03		2-Decanone (CAS)
10	11.241	10.870	11.845	TIC	45250223	2.29	1583145	1.29	28.58		2-Cyclohexenone, 4-acetamido-
11	11.923	11.845	12.120	TIC	7880252	0.40	1408462	1.15	5.59	V	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-
12	12.845	12.745	12.995	TIC	4794141	0.24	514334	0.42	9.32	V	Phorone
13	13.475	12.995	13.720	TIC	283420966	14.34	18566387	15.17	15.27	V	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl- (CAS)
14	14.066	13.720	14.495	TIC	32525264	1.65	1495066	1.22	21.76	V	Phenol, 3-methyl-

### SAÇK8 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



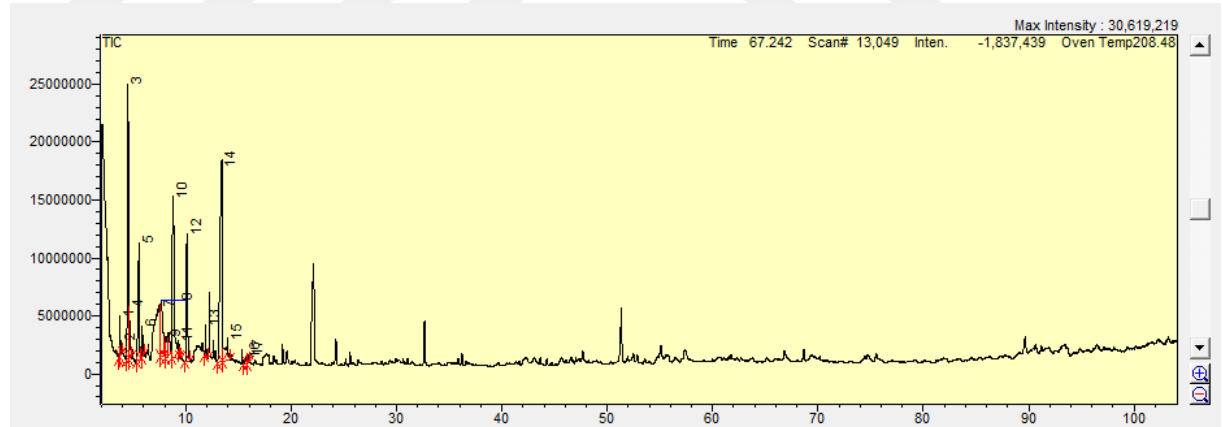
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	2.313	2.265	2.340	TIC	10799099	1.36	4684549	4.24	2.31		Propanal
2	2.382	2.350	2.410	TIC	8191864	1.03	6825870	6.18	1.20		Acetic acid, ethyl ester (CAS)
3	2.611	2.565	3.185	TIC	111760574	14.06	8478451	7.68	13.18	V	2-Propanamine, N-methyl- (CAS)
4	3.521	3.475	3.605	TIC	4147377	0.52	851626	0.77	4.87		Ethanol, 2-(dimethylamino)- (CAS)
5	4.428	4.350	4.525	TIC	54873914	6.91	17947917	16.27	3.06		3-Hexen-2-one
6	4.612	4.595	4.745	TIC	4546495	0.57	1230437	1.11	3.70	V	Ethyl 2-isocyanatopropionate
7	4.815	4.745	4.905	TIC	4922378	0.62	845294	0.77	5.82	V	3-Pentan-2-one, 4-methyl- (CAS)
8	5.498	5.295	5.620	TIC	53733972	6.76	8417191	7.62	6.38		2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
9	5.658	5.620	5.790	TIC	4119266	0.52	797594	0.72	5.16	V	Benzene, ethyl- (CAS)
10	5.848	5.790	5.990	TIC	7773053	0.98	2382526	2.16	3.26	V	o-Xylene
11	6.177	6.120	6.290	TIC	8983369	1.13	1167585	1.06	7.69		2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
12	6.490	6.460	6.510	TIC	6931473	0.87	2352800	2.13	2.95	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
13	6.675	6.550	6.695	TIC	24349891	3.06	3137855	2.84	7.76	V	Quinolin-2(1H)-one, 3,4,5,6,7,8-hexahydro-3-dimethylaminomethyl-
14	6.755	6.695	6.830	TIC	27215588	3.42	3419805	3.10	7.96	V	Ephedrine
15	6.985	6.950	6.990	TIC	9990548	1.26	4225178	3.83	2.36	V	Oxirane, methyl- (CAS)
16	7.134	7.070	7.325	TIC	44718686	5.63	4251847	3.85	10.52	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
17	7.355	7.325	7.830	TIC	22257421	2.80	1728285	1.57	12.88	SV	Benzedrex
18	8.545	8.480	9.370	TIC	69743396	8.78	8201705	7.43	8.50	S	Phenol, 4-(ethylamino)-
19	9.934	9.780	10.360	TIC	211861663	26.66	17066587	15.46	12.41		Undecanal, 2-methyl-
20	13.201	12.985	13.685	TIC	98838997	12.44	12026543	10.89	8.22		4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-
21	17.023	16.735	17.265	TIC	4893419	0.62	355529	0.32	13.76		Piperidinone (CAS)

### SAÇK9 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



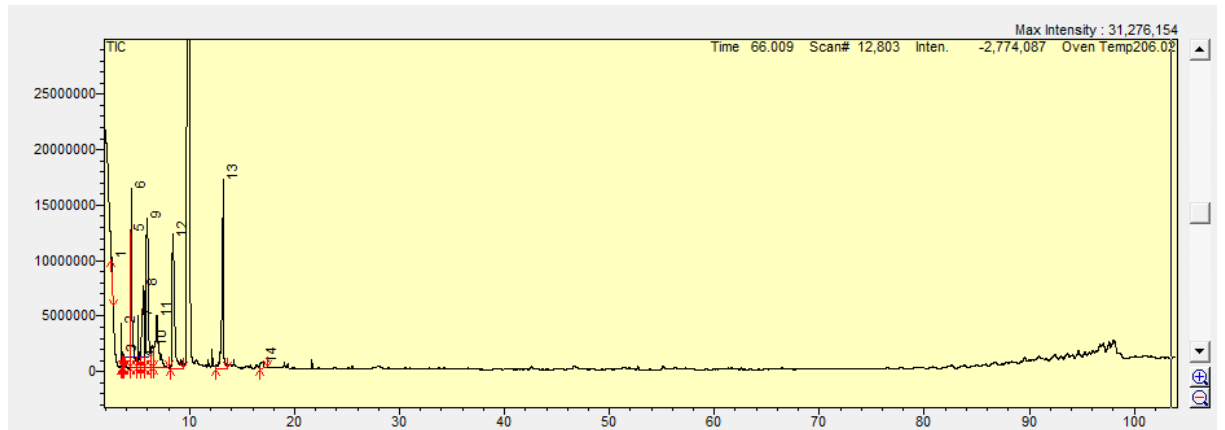
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	3.472	3.450	3.575	TIC	7736916	0.85	2631762	2.32	2.94		N,N-Dimethylaminoethanol
2	3.703	3.575	3.760	TIC	7583637	0.83	2457667	2.16	3.09	V	4-Heptyn-3-ol
3	3.879	3.830	3.955	TIC	3599120	0.39	1049457	0.92	3.43		1,3,5-Cycloheptatriene
4	4.493	4.365	4.535	TIC	92655331	10.13	21108461	18.60	4.39		3-Penten-2-one, 4-methyl- (CAS)
5	4.560	4.535	4.625	TIC	18427937	2.02	4559358	4.01	4.04	V	2,2,4-Trimethyl-2H-imidazole
6	4.645	4.625	4.810	TIC	14943908	1.63	2509909	2.21	5.95	V	Ethyl 2-isocyanatopropionate
7	4.842	4.810	4.910	TIC	1860220	0.20	660270	0.58	2.82	V	Pyridine, 2-methyl-
8	5.160	5.140	5.305	TIC	3015468	0.33	662793	0.50	5.36		Methanamine, N-(3-methyl-2-butenylidene)
9	5.325	5.305	5.355	TIC	1058452	0.12	390265	0.34	2.71	V	Isoamyl cyanide
10	5.543	5.355	5.640	TIC	69163607	7.56	9701112	8.54	7.13	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
11	5.681	5.640	5.755	TIC	2616873	0.29	827027	0.73	3.16	V	Ethylbenzene
12	5.875	5.785	6.005	TIC	9834737	1.08	2711488	2.39	3.63		Benzene, 1,3-dimethyl-
13	6.440	6.360	6.495	TIC	2733941	0.30	634597	0.73	3.28		1-vinyl-1,3-cyclohexadiene
14	7.285	7.465	7.465	TIC	4439137	0.49	397537	0.35	11.17		2-Hexanone (CAS)
15	7.555	7.465	7.650	TIC	13559289	1.48	2550620	2.25	5.32		2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
16	8.607	8.525	9.020	TIC	134387603	14.70	12473578	10.98	10.77		Phenol, 4-(ethylamino)-
17	9.264	9.210	9.450	TIC	4052783	0.44	835980	0.74	4.85		Pyridine, 2,4,6-trimethyl-
18	10.050	9.820	10.390	TIC	297840797	32.57	18949412	16.69	15.72		Undecanal, 2-methyl- (CAS)
19	11.541	11.480	11.730	TIC	4825618	0.53	363085	0.78	5.59		Pyridine, 2-ethyl-4,6-dimethyl-
20	11.870	11.730	12.060	TIC	11948070	1.31	2378393	2.09	5.02	V	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-
21	12.218	12.080	12.340	TIC	24494737	2.68	6125602	5.39	4.00		Piperidine, 1-(1-oxo-2-butynyl)-
22	12.609	12.530	12.720	TIC	5302388	0.58	1495435	1.32	3.55		2-Ethyl-6-isopropyl pyridine
23	13.306	12.970	13.410	TIC	155130133	16.97	15735547	13.86	9.86		4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl- (CAS)
24	13.660	13.410	13.835	TIC	23071642	2.52	1750945	1.54	13.18	V	Phenol, 3-methyl-

## SAÇK10 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



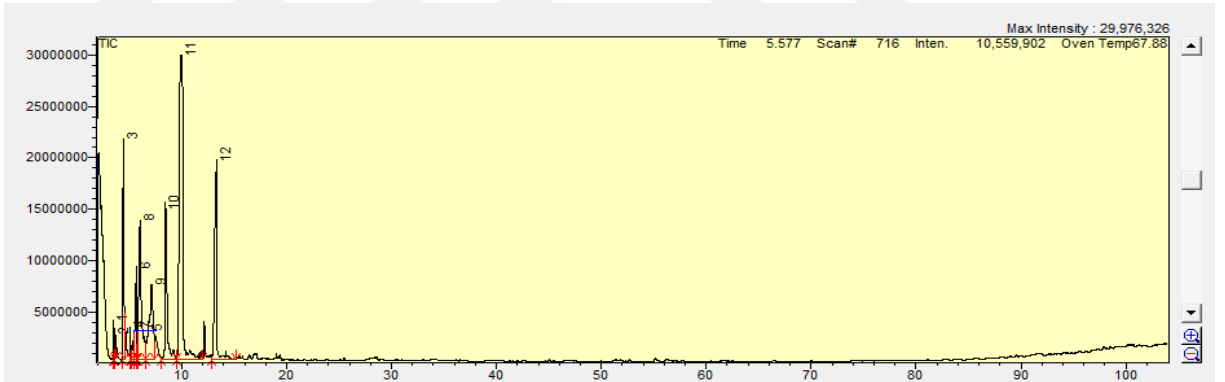
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	3.696	3.640	3.775	TIC	8784762	0.92	3553696	3.39	2.47		4-Heptyn-3-ol
2	3.882	3.775	3.940	TIC	4602271	0.48	1173045	1.12	3.92		Toluene
3	4.519	4.355	4.600	TIC	155104455	16.19	23730786	22.67	6.54		3-Penten-2-one, 4-methyl- (CAS)
4	4.610	4.600	4.830	TIC	28752926	3.00	4523804	4.32	6.36	V	2,2,4-Trimethyl-2H-imidazole
5	5.547	5.355	5.640	TIC	73841129	7.71	9923177	9.47	7.44	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
6	5.871	5.800	6.030	TIC	9241720	0.96	2555836	2.44	3.62		o-Xylene
7	7.540	7.490	7.600	TIC	28306329	2.96	4305924	4.11	6.57	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl- (CAS)
8	7.688	7.600	7.910	TIC	63775687	6.66	4821332	4.60	13.23	V	N-(3-BUTENYL)-DIMETHYLAMINE
9	8.200	8.090	8.300	TIC	20074335	2.10	1711771	1.63	11.73	V	2-Hexanone (CAS)
10	8.790	8.620	9.470	TIC	182702551	19.08	13876977	13.25	13.17	SV	Phenol, 4-(ethylamino)-
11	9.309	9.260	9.430	TIC	4777992	0.50	1107439	1.06	4.31	T	Pyridine, 2,4,6-trimethyl-
12	10.108	9.940	10.390	TIC	95921355	10.02	10948820	10.45	8.76		Undecanal, 2-methyl- (CAS)
13	11.876	11.800	12.100	TIC	12225482	1.28	2863998	2.54	4.59		2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-
14	13.394	12.990	13.530	TIC	218801853	22.83	16978698	16.21	12.89		4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl- (CAS)
15	13.998	13.530	14.255	TIC	39140952	4.09	1742445	1.66	22.46	V	Phenol, 3-methyl-
16	15.630	15.480	15.805	TIC	5993105	0.63	470739	0.45	12.73		Naphthalene (CAS)
17	15.933	15.805	16.055	TIC	5631987	0.59	664659	0.63	8.47	V	Pyridine, 2,4,6-trimethyl- (CAS)

## SAÇK11 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



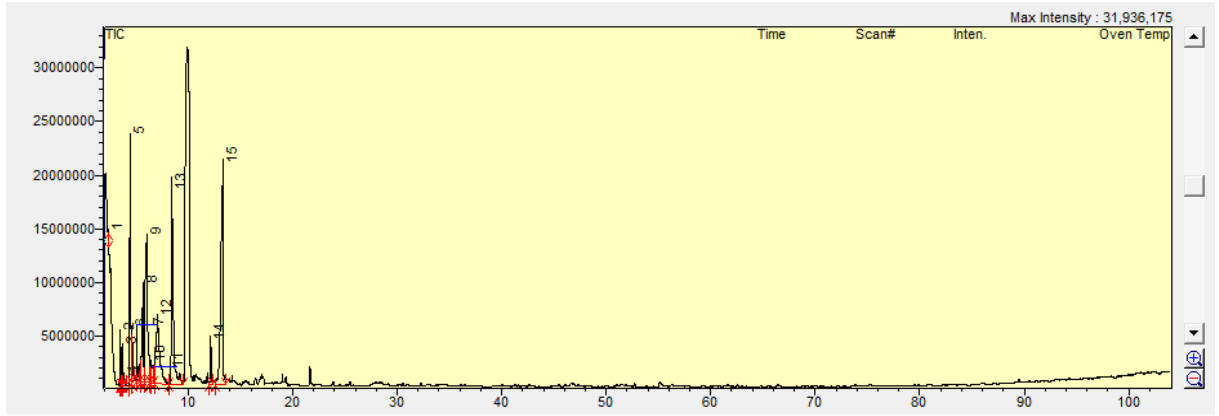
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	2.559	2.545	2.705	TIC	3927808	0.39	584168	0.61	6.72		N-Ethylformamide
2	3.457	3.420	3.580	TIC	15806417	1.59	4062040	4.22	3.89		Ethanol, 2-(dimethylamino)- (CAS)
3	3.655	3.635	3.710	TIC	3882170	0.39	1389586	1.44	2.79	V	4-Heptyn-3-ol
4	3.783	3.750	3.830	TIC	3232647	0.32	911190	0.95	3.55	V	Toluene
5	4.385	4.305	4.395	TIC	35938757	3.61	12293231	12.77	2.92		3-Penten-2-one, 4-methyl- (CAS)
6	4.429	4.395	5.015	TIC	104560683	10.51	16126397	16.75	6.48	SV	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
7	5.065	5.015	5.275	TIC	27972713	2.81	4635028	4.82	6.04	V	Methanamine, N-[3-methyl-2-butenylidene]
8	5.632	5.275	5.740	TIC	92582378	9.31	7390894	7.69	12.51	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
9	5.995	5.740	6.310	TIC	192260781	19.33	13393440	13.92	14.35	V	Piperazine, 1-methyl- (CAS)
10	6.443	6.310	6.560	TIC	25843515	2.60	1966839	2.04	13.14	V	Benzeneethanamine, N,N-dimethyl-
11	6.878	6.560	8.005	TIC	107076788	10.76	4705539	4.89	22.76	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
12	8.392	8.130	9.430	TIC	175003513	17.59	11895360	12.36	14.71	S	Phenol, 4-(ethylamino)-
13	13.243	12.430	13.580	TIC	194264001	19.55	16329830	16.96	11.90	V	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-
14	16.939	16.630	17.405	TIC	12340747	1.24	559860	0.58	22.04	V	Piperidinone (CAS)

### SAÇK13 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	3.530	3.465	3.590	TIC	13554333	0.67	3743614	2.90	3.62		N,N-Dimethylaminoethanol
2	3.659	3.590	3.745	TIC	12073997	0.60	2419614	1.87	4.99	V	4-Heptyn-3-ol
3	4.455	4.310	4.555	TIC	142732510	7.07	21383978	16.55	6.67		3-Penten-2-one, 4-methyl- (CAS)
4	5.072	5.045	5.240	TIC	18638713	0.92	3085371	2.39	6.04	V	Methanamine, N-[3-methyl-2-butenylidene]
5	5.432	5.240	5.480	TIC	24258023	1.20	2741900	2.12	8.85	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
6	5.690	5.480	5.755	TIC	84621028	4.19	8814351	6.82	9.60	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
7	5.812	5.755	5.830	TIC	10499723	0.52	3015420	2.33	3.48	V	o-Xylene
8	6.079	5.830	6.520	TIC	248060218	12.29	13479602	10.43	18.40	V	Piperazine, 1-methyl- (CAS)
9	7.134	6.610	7.450	TIC	188413505	9.33	7146165	5.53	26.37	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
10	8.454	8.050	9.475	TIC	217229410	10.76	14932005	11.56	14.21	V	Phenol, 4-(ethylamino)-
11	9.958	9.475	12.050	TIC	763351146	37.82	29378580	22.76	25.45	V	2-Decanone (CAS)
12	13.320	12.900	15.175	TIC	295444147	14.63	19046658	14.74	14.97	V	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl- (CAS)

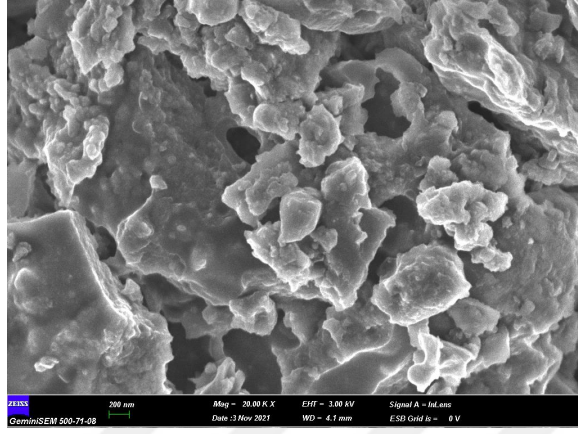
### SAÇK14 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları



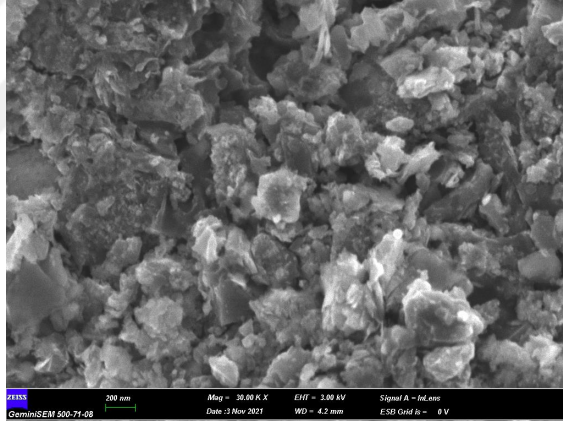
Peak#	Ret.Time	Start Tm	End Tm	m/z	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Mark	Name
1	2.365	2.325	2.390	TIC	2059060	0.15	1221172	1.00	1.69		Acetic acid, ethyl ester (CAS)
2	3.519	3.475	3.620	TIC	19775038	1.46	5168453	4.24	3.83		N,N-Dimethylaminoethanol
3	3.669	3.620	3.765	TIC	12652858	0.94	3901640	3.20	3.24	V	4-Heptyn-3-ol
4	3.831	3.765	4.090	TIC	7087212	0.52	1165056	0.96	6.08	V	BENZENE, METHYL-
5	4.470	4.315	4.550	TIC	141788175	10.50	23349870	19.14	6.07		3-Penten-2-one, 4-methyl- (CAS)
6	4.575	4.550	4.850	TIC	36037730	2.67	5354789	4.39	6.73	V	Ethyl 2-isocyanatopropionate
7	5.066	5.040	5.300	TIC	24669370	1.83	5237766	4.30	4.71		Methanamine, N-[3-methyl-2-butenylidene]
8	5.711	5.460	5.770	TIC	92107133	6.82	9249535	7.59	9.96	V	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl- (CAS)
9	6.066	5.770	6.365	TIC	247212906	18.30	13763572	11.29	17.96	V	Piperazine, 1-methyl- (CAS)
10	6.419	6.365	6.485	TIC	12381956	0.92	2064991	1.69	6.00	V	Benzene, 1,3-dimethyl-
11	6.565	6.485	6.635	TIC	13329958	0.99	1551112	1.27	8.59	V	1-(1,4-cyclohexadienyl)-2-methylaminopropane
12	7.075	6.765	8.165	TIC	156613751	11.59	6329765	5.19	24.74	V	2-Pentanone, 4-amino-4-methyl-
13	8.421	8.165	9.465	TIC	257351421	19.05	19004439	15.59	13.25		Phenol, 4-(ethylamino)-
14	12.166	12.015	12.415	TIC	21042795	1.56	4299814	3.53	4.89	V	Piperidine, 1-(1-oxo-2-butynyl)-
15	13.328	12.640	13.615	TIC	306869552	22.70	20271023	16.62	15.14	V	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-

SAÇK15 piroliz sıvısı GC-MS analiz sonuçları

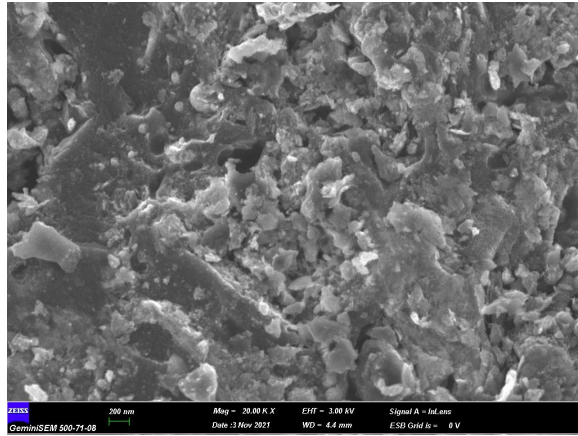
## EK 4. SEM Görüntüleri



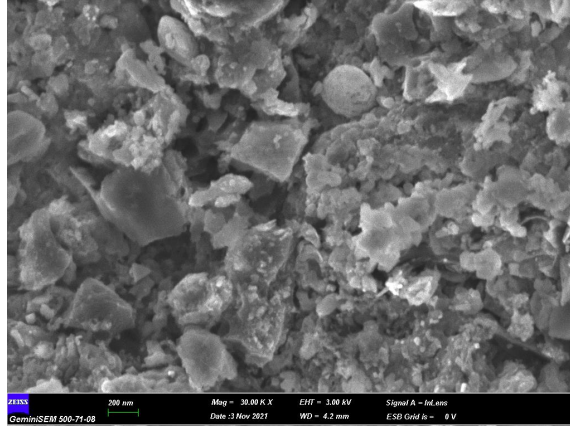
SAÇK2 SEM görüntüsü



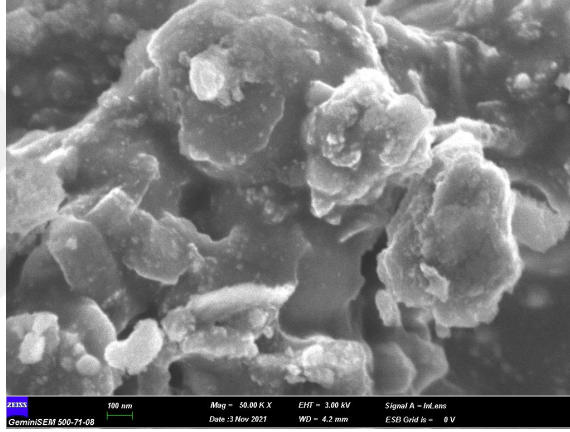
SAÇK3 SEM görüntüsü



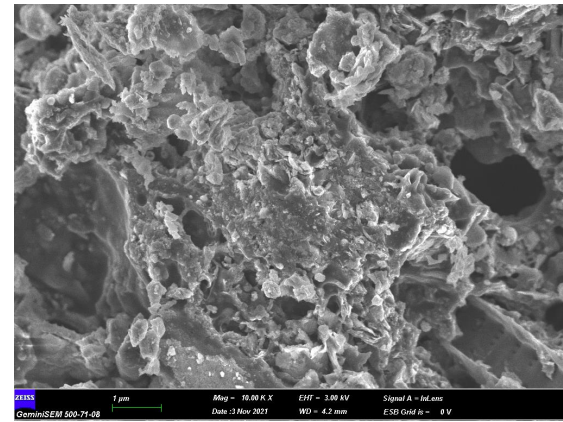
SAÇK4 SEM görüntüsü



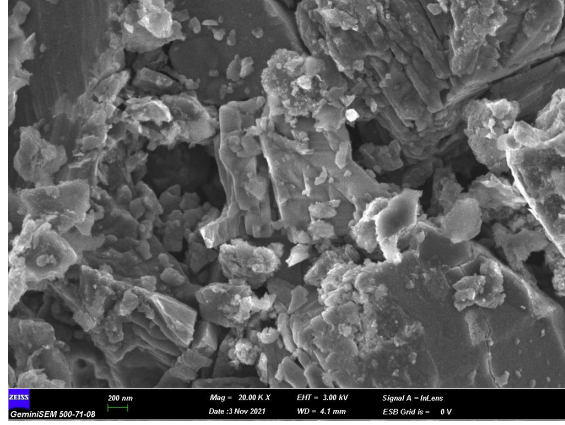
SAÇK5 SEM görüntüsü



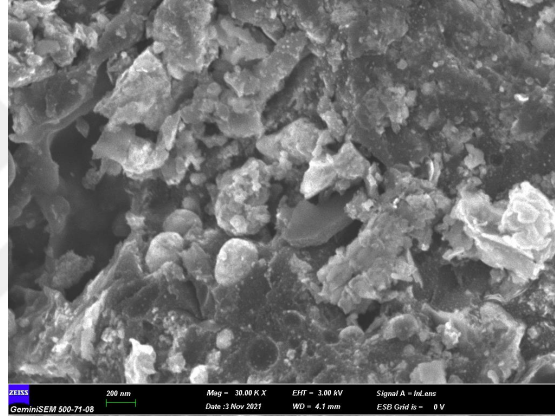
SAÇK7 SEM görüntüsü



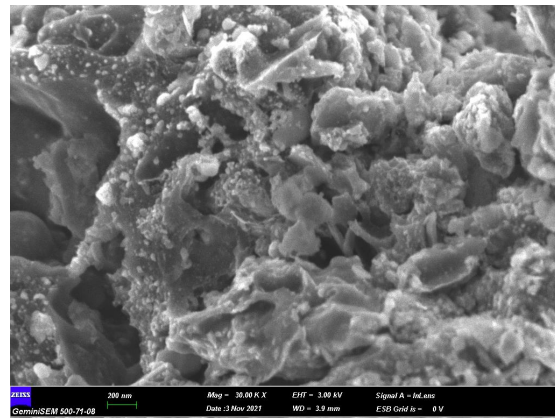
SAÇK8 SEM görüntüsü



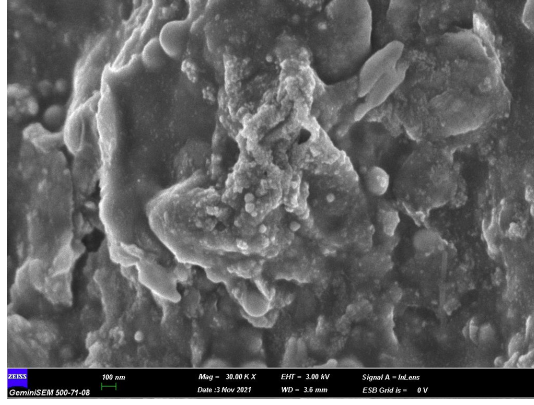
SAÇK9 SEM görüntüsü



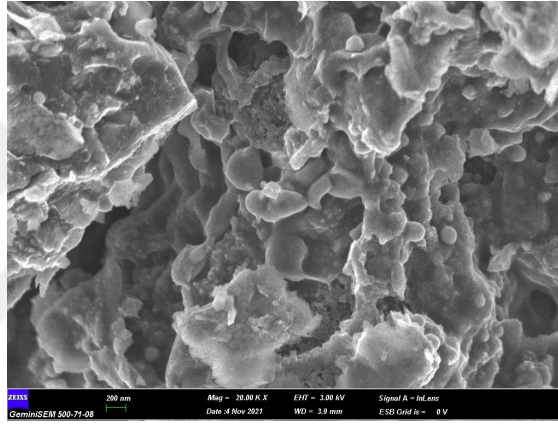
SAÇK10 SEM görüntüsü



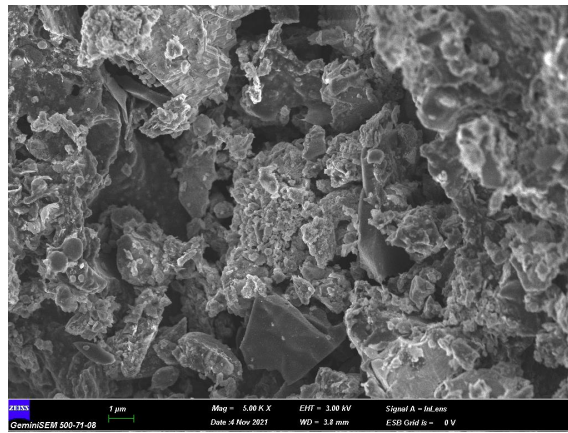
SAÇK11 SEM görüntüsü



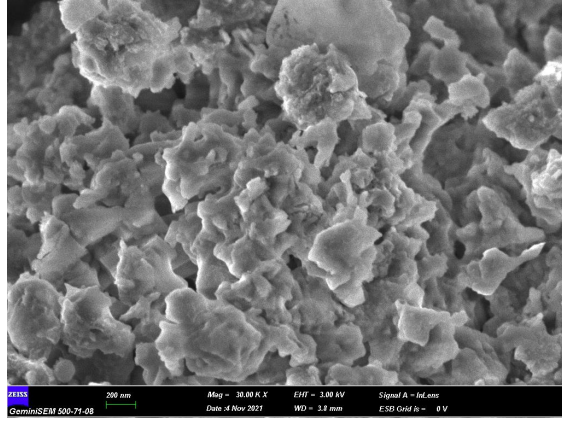
SAÇK13 SEM görüntüsü



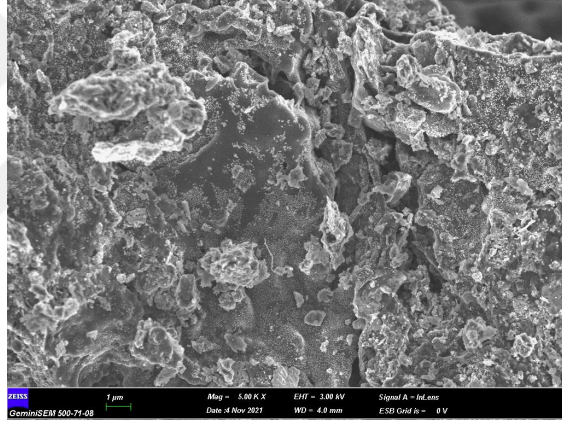
SAÇK14 SEM görüntüsü



SAÇK15 SEM görüntüsü

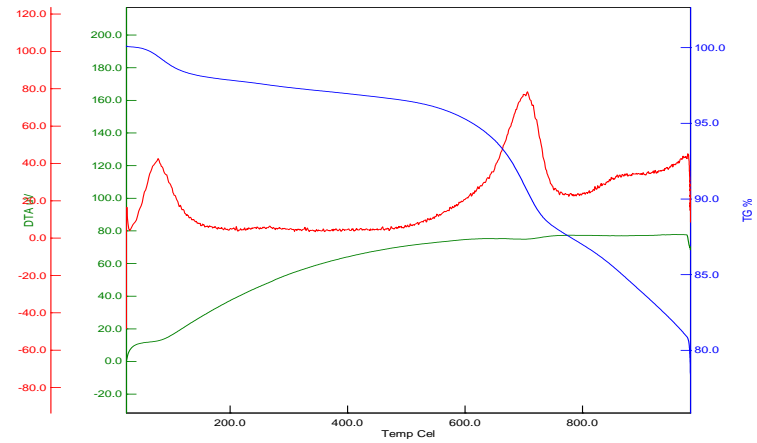
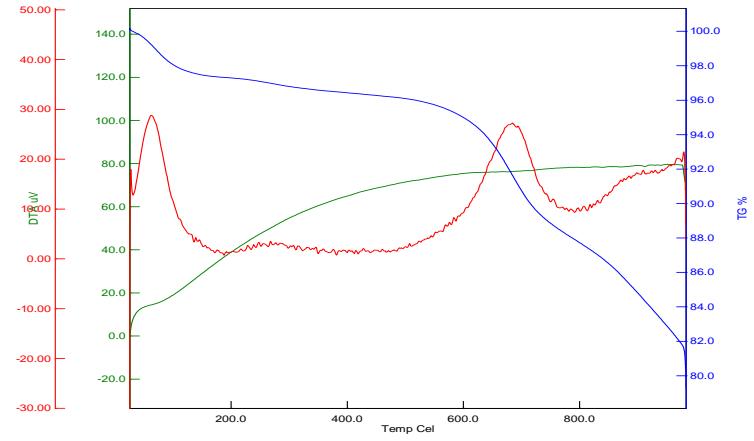
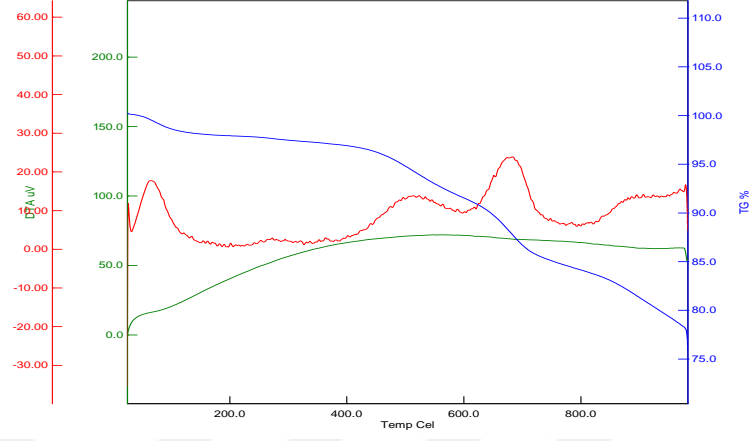


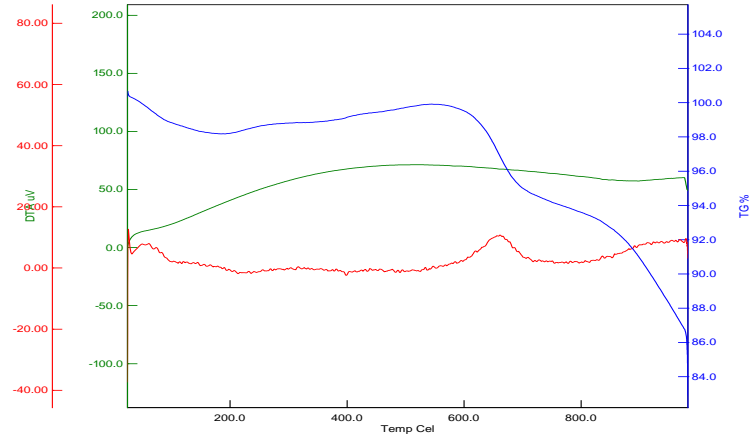
SAÇK16 SEM görüntüsü



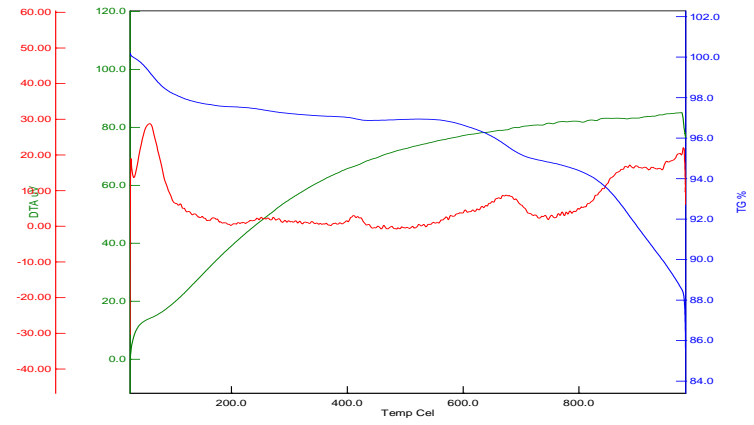
SAÇK17 SEM görüntüsü

## EK 5. TG-DTA Analiz Sonuç Grafikleri

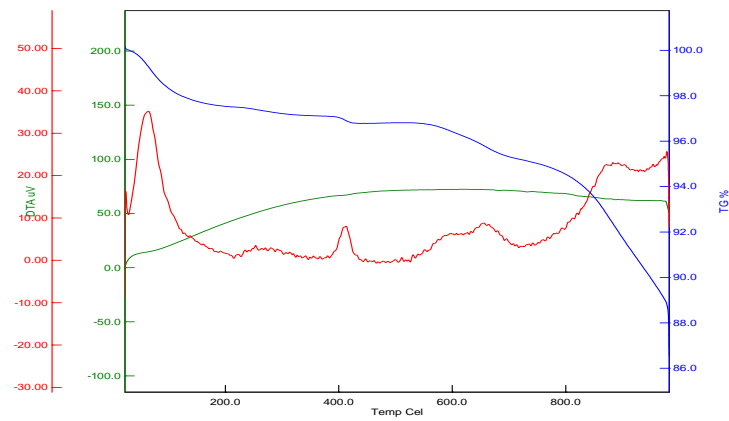




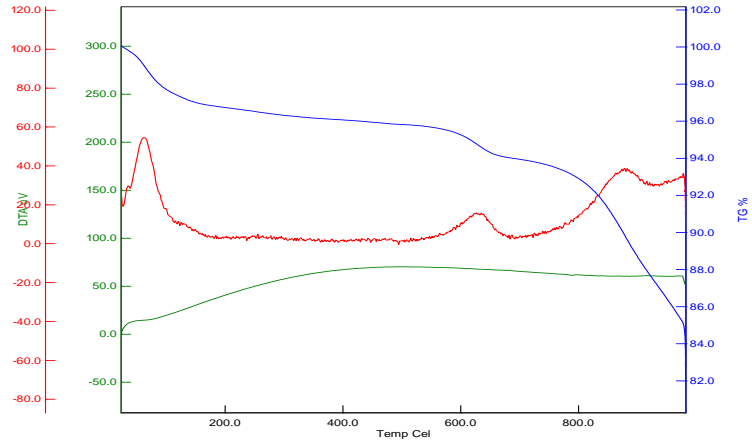
SAÇK14 TG-DTA grafiği



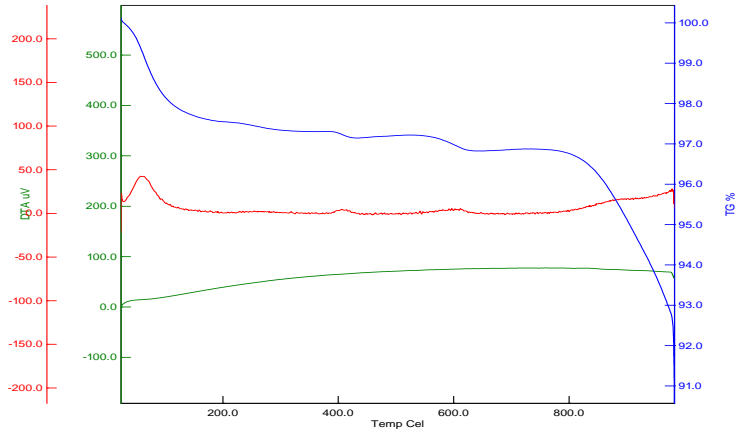
SAÇK4 TG-DTA grafiği



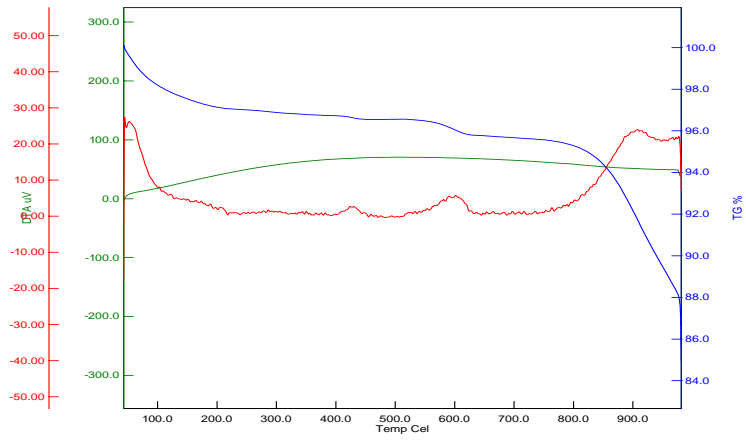
SAÇK10 TG-DTA grafiği



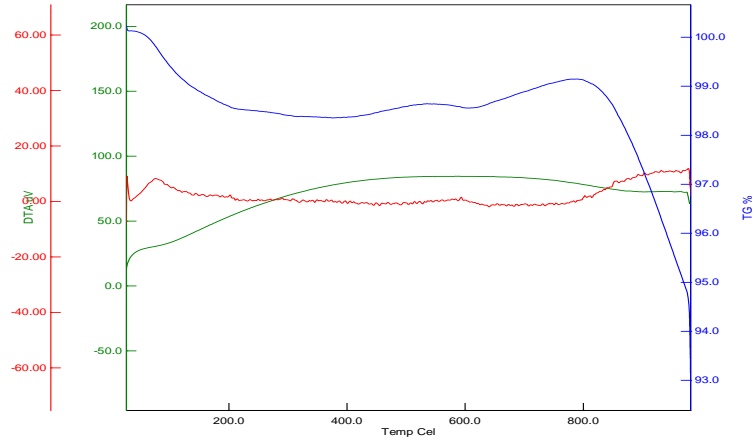
SAÇK16 TG-DTA grafiği



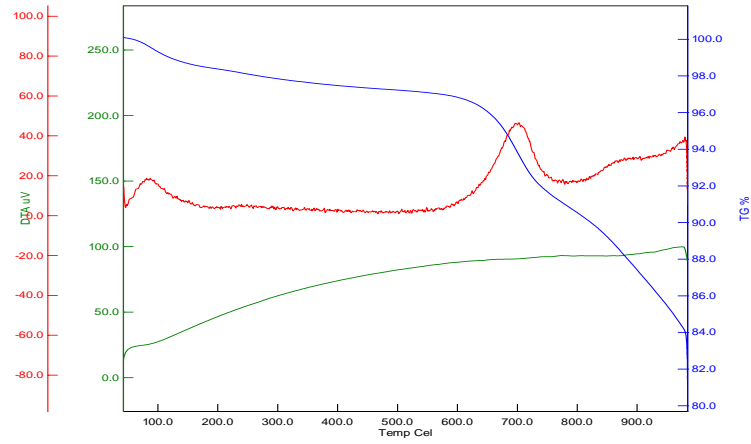
SAÇK5 TG-DTA grafiği



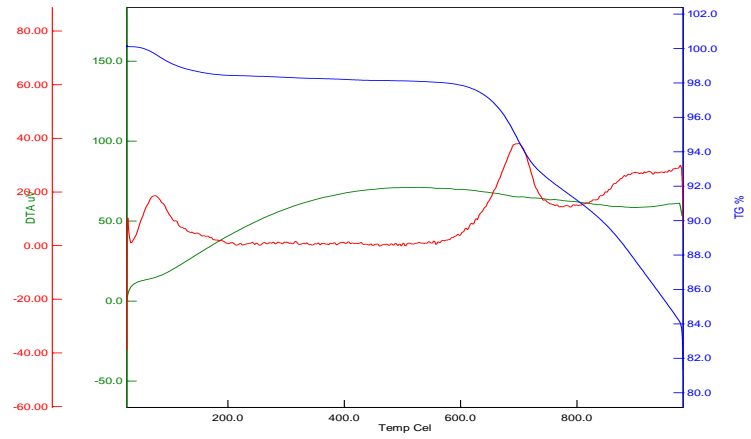
SAÇK11 TG-DTA grafiği



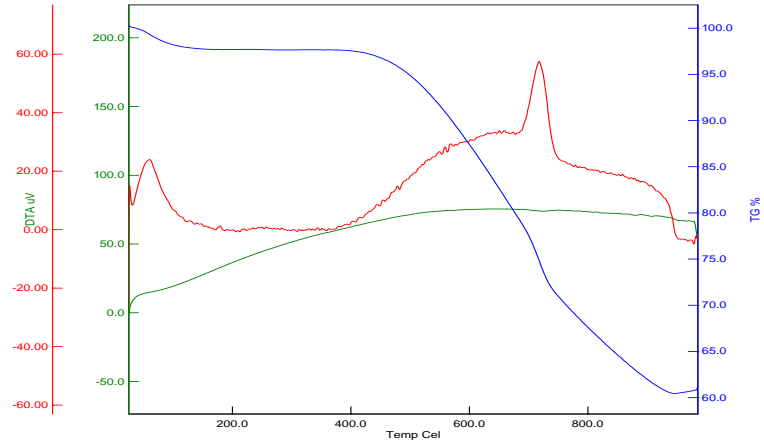
SAÇK17 TG-DTA grafiği



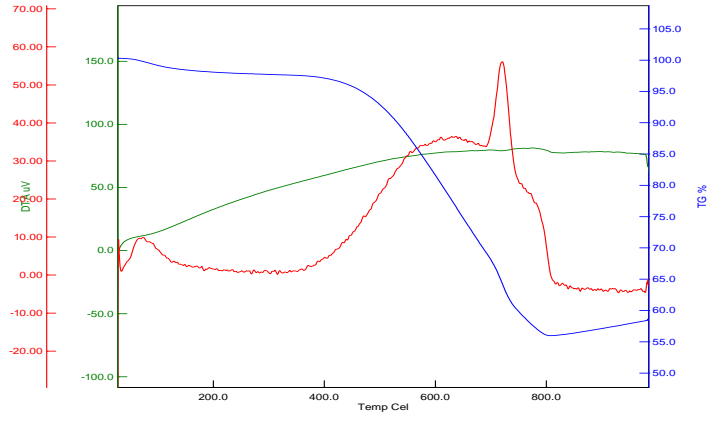
SAÇK3 TG-DTA grafiği



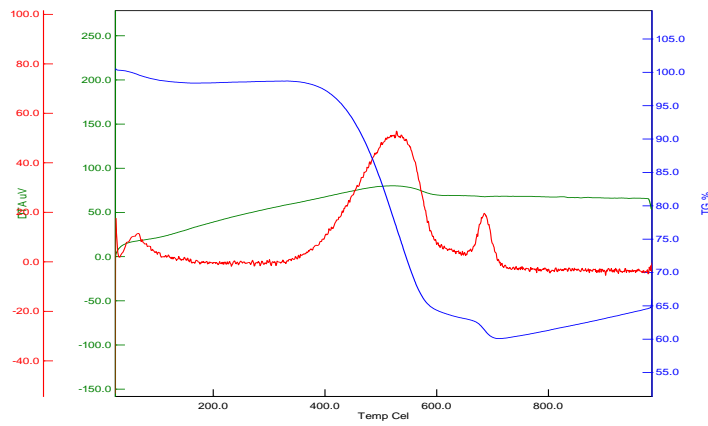
SAÇK9 TG-DTA grafiği



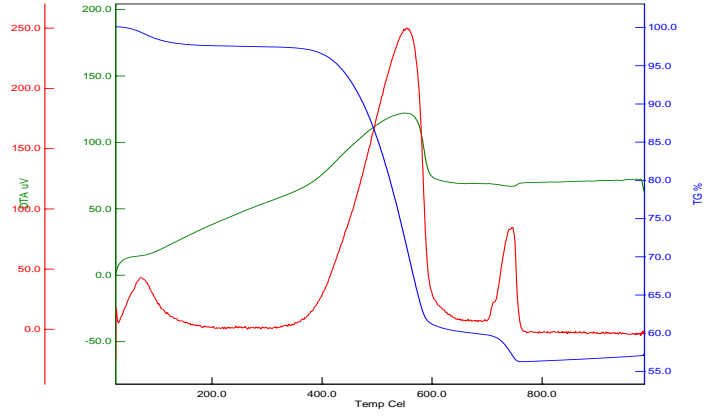
SAÇK15 TG-DTA grafiği



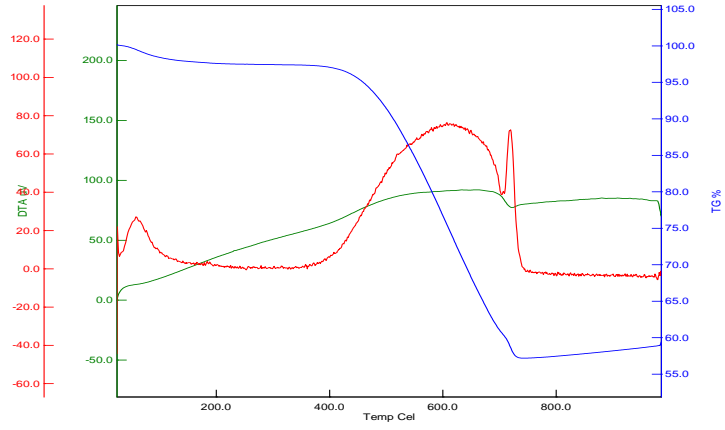
SAÇK8 TG-DTA grafiği (hava)



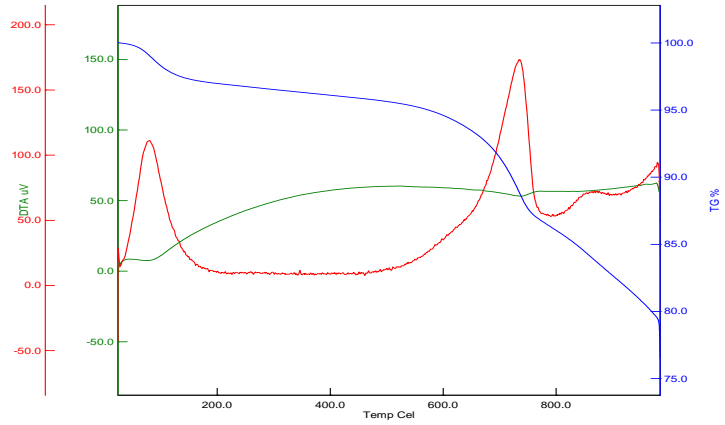
SAÇK14 TG-DTA grafiği (hava)



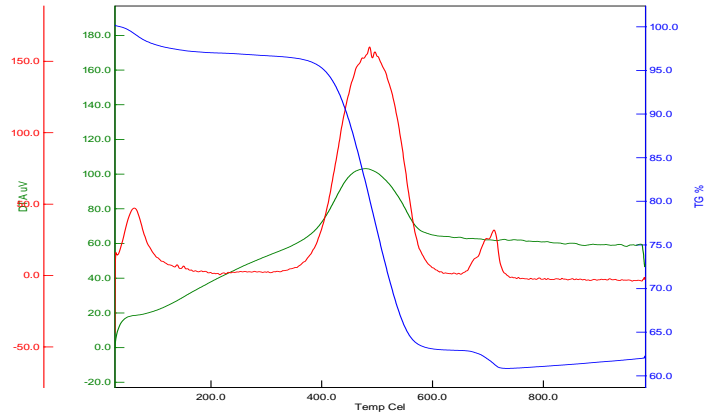
SAÇK3 TG-DTA grafiği (hava)



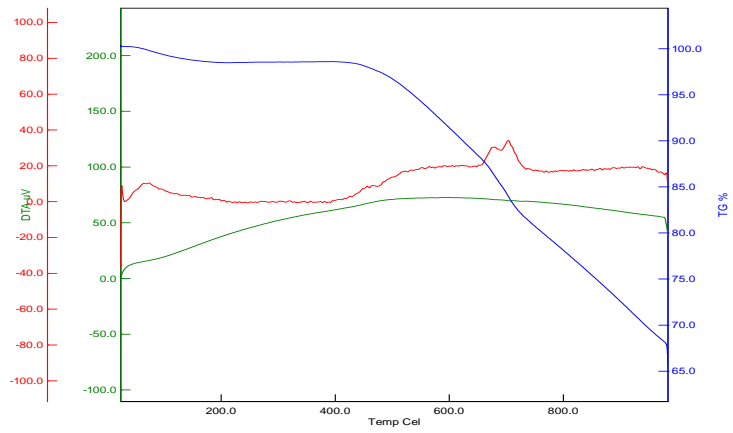
SAÇK9 TG-DTA grafiği (hava)



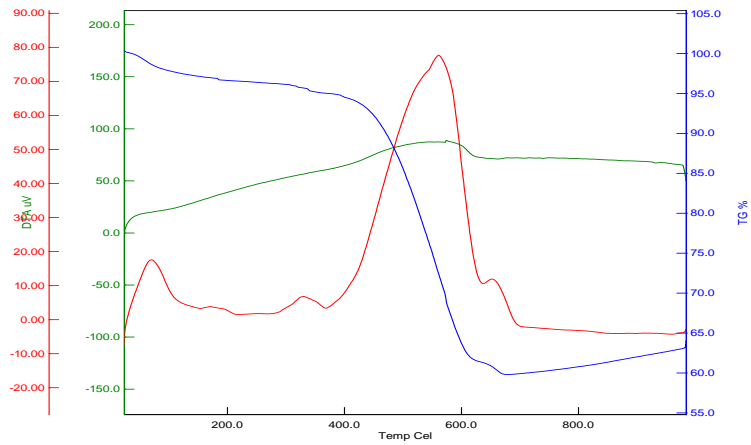
SAÇK15 TG-DTA grafiği (hava)



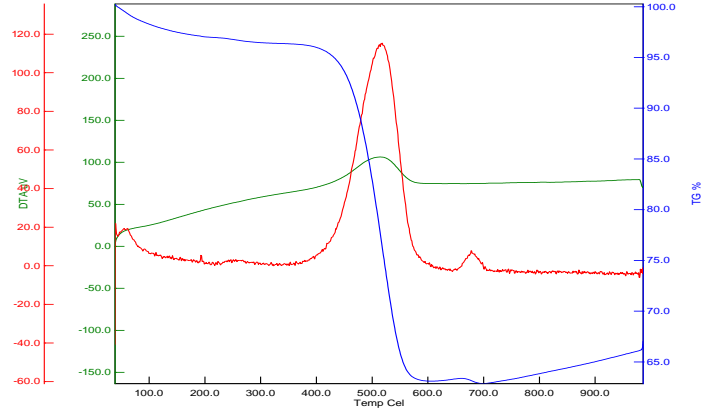
SAÇK4 TG-DTA grafiği (hava)



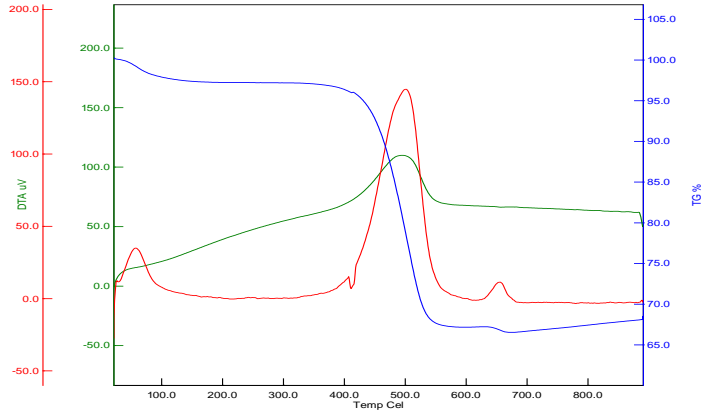
SAÇK10 TG-DTA grafiği (hava)



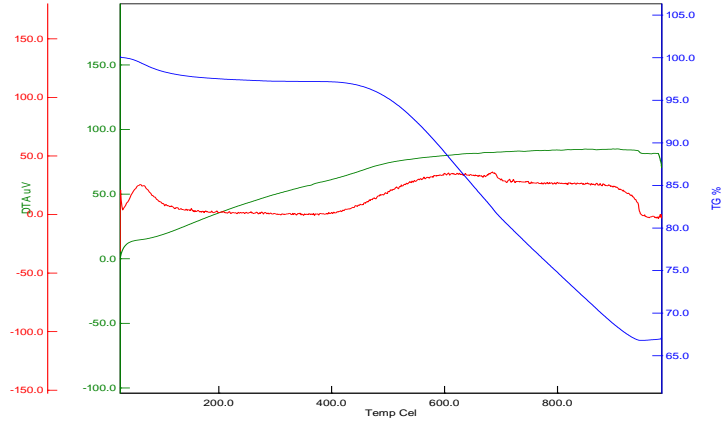
SAÇK16 TG-DTA grafiği (hava)



SAÇK5 TG-DTA grafiği (hava)



SAÇK11 TG-DTA grafiği (hava)



SAÇK17 TG-DTA grafiği (hava)

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Serhat BİLGİN

**Uyruğu:** Türkiye (T.C)

### EGİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği	2017
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2009
Lise	Danişmend Gazi Lisesi, Niksar	2002

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2020-Halen	Bkc Makine Sanayi Ve Ticaret Ltd. Şti.	3
2016-2020	Bilgin Ofset	4
2015-2016	Çevirgen İnş. Ltd. Şti.	1
2011-2015	Nimsan Sanayi Ve Ticaret A.Ş.	4
2010- 2011	Ankara Beton San. Ve Tic. A.Ş.	1

### YABANCI DİL

İngilizce

**YAYINLAR**

1. Bilgin, S., Önal, Y., et. al., (2023). The Effect Of Using Activated Carbon Obtained From Sewage Sludge As A Fuel Additive On Engine Performance And Emissions. *Thermal Science*, 27(5A)

**BİLDİRİLER**

1. Bilgin, S., (2022). Carbonization, Activation and Investigation of Different Uses of Wastewater Treatment Sludge. *16th International Combustion Symposium*.

