

Rabia AYDEMİR



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**İSKENDERUN KÖRFEZİNDE
YETİŞEN ALGLERİN
BİYOKÜTLE ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Rabia AYDEMİR

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

ARALIK 2021

ARALIK 2021



**İSKENDERUN KÖRFEZİNDE YETİŞEN ALGLERİN BİYOKÜTLE
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

RABİA AYDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ESTİTÜSÜ

ARALIK-2021

Rabia AYDEMİR tarafından hazırlanan “İSKENDERUN KÖRFEZİNDE YETİŞEN ALGLERİN BİYOKÜTLE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Yunus ÖNAL

Kimya mühendisliği Anabilim Dalı, İnönü Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik

Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 15/12/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Rabia AYDEMİR

15/12/2021

İSKENDERUN KÖRFEZİNDE YETİŞEN ALGLERİN BİYOKÜTLE
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Rabia AYDEMİR

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Aralık 2021

ÖZET

İnsan gelişimi doğrudan ya da dolaylı olarak enerjinin var oluşu ve kullanışıyla bir ilişki içerisinde. Enerjinin insan ihtiyaçlarını karşılayacak formda olması istenir. Bunun yanı sıra kullanılacak olan enerji türünün insan ihtiyaçlarını karşılarken insanın yaşam kalitesini etkilememesi, temel ihtiyaçlarını kısıtlamaması insanoğlu tarafından istenen durumlardır. Nüfus arttıkça enerji talebi de bununla doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Enerji talebindeki bu artış insanları yenilenemez enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmaya yöneltmiştir. Geleceğin biyoyakıt türlerinden biri olabilecek yosunun potansiyelinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada alglerin biyokütle özellikleri baz alınarak biyoyakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu kapsamda Chaetomorpha Linum alg türüne ait hammadde farklı sıcaklıklarda (400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C) ve farklı ısıtma hızlarında (10 °C/dk. 30 °C/dk. 50 °C/dk.) karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Karbonizasyon işleminden elde edilen numunelerin kül tayini deneyi, kalorifik değer, elementel analizi, XRD analizi, SEM analizi, FTIR analizi ve DTA-TGA analizleri yapılmıştır. XRD analizi ise; X-ışını difraktometresi ile $CuK\alpha$ ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$) kaynağı kullanılarak elde edilmiştir. Taramalar $10^\circ < 2\theta < 80^\circ$ aralığında 0,1 derece steple, dakikada 6 derecelik hızla kaydedilmiştir. Kalorifik değer deneylerinde hem katı hem sıvı numunelerin ölçümü yapılmıştır. Çalışmada incelenen parametrelerin her numunede farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Isıl değer en iyi olduğu veri 600 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)' de yapılan ölçüm olduğu görülmüştür. Elementel analizlerde istenen veriler karbon elementi için 600 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında), kükürt elementi için 600 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında), hidrojen elementi için 700 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında), oksijen elementi için 400 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında), azot elementi için 700°C (10 °C/dk. ısıtma hızında) dir. SEM görüntüleri sonucu 600 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında) ve 700 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında) 'deki numunelerin daha esnek bir yapıya sahip oldukları ve diğer numune gruplarına göre molekül bağlarının daha güçlü olduğu söylenebilir. Analizler sonucu Chaetomorpha Linum'un ellipsoid şekilli bir görünümüne sahip olduğu anlaşılmıştır. FTIR analizlerine göre; farklı sıcaklık seviyelerine maruz bırakılan Chaetomorpha Linum yapısındaki kristalize halin fazla sıcaklıkta arttığı gözlemlenirken daha düşük sıcaklıklarda kristalize hale dönüşümü daha yavaş gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Yosun doğal sulu ortamda yetişen ve kirlilik giderimin de önemli bir biyokütledir. Nem içeriğinin yüksek olmasına karşın miktarsal olarak çok fazla olduğundan enerji üretiminde tek başına ve/veya diğer atıklar ile karıştırılarak kullanılabilir. Karbonizasyon sonucu kalori değeri düşük olsada inorganik yapısı nedeniyle çimento endüstrisinde yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılabilir. Tamamen yakıldığında kül hammadde olarak çimento üretiminde kullanılabilir bileşimdedir.



Anahtar Kelimeler : Alg, biyokütle, biyoyakıt, piroliz, karbonizasyon

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Prof. Dr. Tolga DEPCİ

INVESTIGATION OF BIOMASS PROPERTIES OF ALGAE GROWING IN

ISKENDERUN BAY

(M. Sc. Thesis)

Rabia AYDEMİR

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

December 2021

ABSTRACT

Human development is directly or indirectly related to the existence and use of energy. Energy is required to be in a form that meets human needs. In addition, it is desired by human beings that the type of energy to be used does not affect the quality of life of people while meeting human needs, and that it does not limit their basic needs. As the population increases, the energy demand also increases in direct proportion. This increase in energy demand has led people to search for renewable energy sources from non-renewable energy sources. In this study, which was carried out to determine the potential of algae, which can be one of the biofuel types of the future, its usability as biofuel was investigated based on the biomass properties of algae.

In this context, the raw material of the Chaetomorpha Linum algae species was subjected to carbonization at different temperatures (400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C) and at different heating rates (10 °C/min. 30 °C/min. 50 °C/min.). Ash determination test, calorific value, elemental analysis, XRD analysis, SEM analysis, FTIR analysis and DTA-TGA analyzes of the samples obtained from the carbonization process were performed. XRD analysis is: Obtained by X-ray diffractometry using $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$) source. Scans were recorded in the range of $10^\circ < 2\theta < 80^\circ$ with a 0.1-degree step, at a speed of 6 degrees per minute. In the calorific value experiments, both solid and liquid samples were measured. It was observed that the parameters examined in the study showed differences in each sample. It has been observed that the best data for the heating value is the measurement made at 600 °C (50 °C/min. heating rate). The data required in elemental analyzes are 600 °C for the element carbon (at a heating rate of 30 °C/min), 600 °C for the element sulfur (at a heating rate of 50 °C/min), 700 °C for the element hydrogen (at a heating rate of 10 °C/min), oxygen element is 400 °C (at 30 °C/min. heating rate), 700 °C (at 10 °C/min. heating rate) for nitrogen element. As a result of SEM images, it can be said that the samples at 600 °C (at 50 °C/min. heating rate) and 700 °C (at 10 °C/min. heating rate) have a more flexible structure and their molecular bonds are stronger than other sample groups. As a result of the analysis, it was understood that Chaetomorpha Linum has an ellipsoid-shaped appearance. According to FTIR analysis: It was observed that the crystallized state in the structure of Chaetomorpha Linum, which was exposed to different temperature levels, increased at higher temperatures, while it was observed that the transformation into crystallized state occurred more slowly at lower temperatures.

Algae is an important biomass that grows naturally and removes pollution. Despite its high moisture content, it can be used alone and/or mixed with other wastes in energy production since it is very high in quantity. Although its caloric value is low as a result of carbonization, it can be used as fuel and/or raw material in the cement industry due to its inorganic structure. When completely burned, the ash can be used in cement production as a raw material.



Key Words : Algae, biomass, biofuel, pyrolysis, carbonization
Page Number : 77
Supervisor : Prof. Dr. Tolga DEPCI

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesi, tez sürecinde yapılması gereken deneylerin düzeni, malzemelerin temini, deney sonuçlarının analizi ve değerlendirilmesi kısaca tezin maddi, manevi her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgemeyen bununla beraber ihtiyaç duyacağım her alanda beni yönlendiren saygıdeğer danışmanım **Sayın Prof. Dr. Tolga DEPCİ' ye;**

Yüksek lisansa başlama sebebim olan, başlangıçtan sonuca kadar desteklerini esirgemeyen, karamsarlığa düştüğümde aydınlatan, bütün bilgi ve birikimini benimle paylaşan bu tezi yazmamdaki gücü veren saygıdeğer hocam **Sayın Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ' ye;**

Deneylerin gerçekleşmesi için Kimya Mühendisliği laboratuvarlarının kullanılmasına olanak sunan ve konu hakkında bilgi paylaşımını esirgemeyen saygıdeğer hocam **Sayın Doç. Dr. Yunus ÖNAL' a;**

Kullanılacak alg türü hakkındaki verdiği bilgiler, hammaddenin toplanması ve kurutulmasında yardımcı olan, bilgilerini esirgemeyen **Sayın Selin SAYIN' a;**

Bu süreçte bilgi birikimi ve yardımlarını esirgemeyen **Sayın Arş. Gör. Emine YALMAN** ve **Sayın Arş. Gör. Onur Eser KÖK' e;**

Malzemelerin toplanmasında yardımcı olan **Sayın Arş. Gör. Mustafa Göktan AYDIN' a;**

İskenderun Teknik Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi ile İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde analizler için yardımcı olan araştırmacılara;

Eğitim öğretim hayatım boyunca maddi manevi beni destekleyen, bana her daim güvenen ve yanımda olan çok sevdiğim ailem **Dursun AYDEMİR, Emine AYDEMİR, Ozan AYDEMİR, Rumeysa AYDEMİR** ve **Şeref Ahmet AYDEMİR' e** bu süreçte beni dinleyip başarabileceğimi dile getiren, bana inanan arkadaşlarım **Kübra PEKTAŞ** ve **Petrol ve Doğalgaz Mühendisi Çağlar EKER' e,** lisansüstü eğitimim boyunca çalıştığım **Özlüce Ebebek** mağazasındaki değerli **arkadaşlarıma** sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TERİMLER VE UYGULAMALAR.....	4
2.1. Alg Tanımı	4
2.2. Alglerin Oluşumu	4
2.3. Alglerin Sınıflandırılması.....	5
2.3.1. Mikroalg	6
2.3.2. Makroalg	7
2.4. Chaetomorpha Linum.....	7
2.5. Alglerin Kullanıldığı Sektörler.....	8
2.6. Biyokütle	9
2.6.1. Biyokütle olarak alg	10
2.7. Biyokütle Türleri	10
2.7.1. Birinci nesil biyoyakıtlar	10
2.7.2. İkinci nesil biyoyakıtlar.....	10
2.7.3. Üçüncü nesil biyoyakıtlar	10

	Sayfa
2.7.4. Dördüncü nesil biyoyakıtlar	11
2.8. Biyoyakıt	12
2.9. Termokimyasal Dönüşümler	13
2.9.1. Biyokütle pirolizi	14
2.9.2. Biyokütle gazlaştırma.....	15
2.10. Piroliz	15
2.10.1. Yavaş (geleneksel) piroliz.....	17
2.10.2. Hızlı piroliz	17
2.10.3. Kül (flash) piroliz.....	18
2.10.4. Pirolizin avantaj ve dezavantajları	19
2.10.5. Piroliz ürünlerinin potansiyel uygulamaları.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Materyal	21
3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan hammadde.....	21
3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan alet ve düzenekler.....	21
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Örneklerin hazırlanması	22
3.2.2. Reaktör deneyleri.....	22
3.2.3. Kül tayini.....	24
3.2.4. Kalorifik değer	25
3.2.5. Elementel analiz	26
3.2.6. XRD analizi.....	27
3.2.7. SEM analizi	27
3.2.8. FTIR analizi.....	28

	Sayfa
3.2.9. TGA-DTA-DSC analizi	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	30
4.1. Karbonizasyon Deney Sonuçları	30
4.2. Kül Tayini Deney Sonuçları	31
4.3. Kalorifik Değer Deney Sonuçları	32
4.4. Numunelerin Analiz Sonuçları	34
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	72
EKLER	76
DİZİN	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Tipik deniz yosunlarının bileşimi	5
Çizelge 2.2. Biyoyakıt nesillerinin artıları ve eksileri.....	11
Çizelge 2.3. Piroliz prosesleri için ana işletim parametreleri aralığı	19
Çizelge 4.1. Karbonizasyon deneyi	30
Çizelge 4.2. Kül tayini deneyi.....	31
Çizelge 4.3. Farklı sıcaklık ve ısıtma hızından oluşan katı formdaki numunelerin ısı değerleri	32
Çizelge 4.4. Farklı sıcaklık ve ısıtma hızından oluşan sıvı formdaki numunelerin ısı değerleri	33
Çizelge 4.5. RA-1 Numunesine ait FTIR Analizi sonucu	36
Çizelge 4.6. RA-2 Numunesine ait FTIR Analizi sonucu	39
Çizelge 4.7. RA-3 numunesine ait FTIR analizi sonucu	42
Çizelge 4.8. RA-4 numunesine ait FTIR analizi sonucu.....	44
Çizelge 4.9. RA-2 ve RA-4 örneklerinin elementel analiz sonuçları.....	45
Çizelge 4.10. RA-5 numunesine ait FTIR analizi sonucu.....	47
Çizelge 4.11. RA-6 numunesine ait FTIR analizi sonucu.....	49
Çizelge 4.12. Hammadde ve karbonize edilmiş numunelere ait elementel analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.13. RA-7 numunesine ait FTIR analizi sonucu.....	55
Çizelge 4.14. RA-8 Numunesine ait FTIR analizi sonucu	57
Çizelge 4.15. RA-9 Numunesine ait FTIR analizi sonucu	60
Çizelge 4.16. RA-10 Numunesine ait FTIR analizi sonucu	62
Çizelge 4.17. RA-11 Numunesine ait FTIR analizi sonucu.....	65
Çizelge 4.18. RA-12 Numunesine ait FTIR analizi sonucu.....	67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Yıllara göre Dünya' daki enerji tüketimi.....	3
Şekil 1.2. Yıllara göre Türkiye' deki enerji tüketimi.....	3
Şekil 2.1. Alglerin kullanıldığı sektörler ve yaygın etkileri.....	9
Şekil 4.1. Farklı sıcaklık ve ısıtma hızından oluşan katı formdaki numunelerin kalori değerleri.....	33
Şekil 4.2. Farklı sıcaklık ve ısıtma hızından oluşan sıvı formdaki numunelerin kalori değerleri.....	34
Şekil 4.3. RA-1 hammadde numunesinin XRD grafiği	35
Şekil 4.4. RA-1 numunesine ait TGA sonuçları	37
Şekil 4.5. RA-1 numunesine ait DTA sonuçları	37
Şekil 4.6. RA-1 numunesine ait DSC sonuçları.....	38
Şekil 4.7. RA-2 numunesine ait TGA sonuçları	40
Şekil 4.8. RA-2 numunesine ait DTA sonuçları	40
Şekil 4.9. RA-3 numunesinin XRD grafiği.....	41
Şekil 4.10. RA-3 numunesine ait TGA sonuçları	42
Şekil 4.11. RA-3 numunesine ait DTA sonuçları	43
Şekil 4.12. RA-4 numunesinin XRD grafiği.....	44
Şekil 4.13. RA-4 numunesine ait TGA sonuçları	45
Şekil 4.14. RA-4 numunesine ait DTA sonuçları	46
Şekil 4.15. RA-5 numunesinin XRD grafiği.....	47
Şekil 4.16. RA-5 numunesine ait TGA sonuçları	48
Şekil 4.17. RA-5 numunesine ait DTA sonuçları	48
Şekil 4.18. RA-6 numunesinin XRD grafiği.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.19. RA-6 numunesine ait TGA sonuçları	50
Şekil 4.20. RA-6 numunesine ait DTA sonuçları	51
Şekil 4.21. RA-7 numunesinin XRD grafiği.....	52
Şekil 4.22. RA-7 numunesine ait TGA sonuçları	55
Şekil 4.23. RA-7 numunesine ait DTA sonuçları	56
Şekil 4.24. RA-8 numunesinin XRD grafiği.....	56
Şekil 4.25. RA-8 numunesine ait TGA sonuçları	58
Şekil 4.26. RA-8 numunesine ait DTA sonuçları	58
Şekil 4.27. RA-9 numunesinin XRD grafiği.....	59
Şekil 4.28. RA-9 numunesine ait TGA sonuçları	60
Şekil 4.29. RA-9 numunesine ait DTA sonuçları	61
Şekil 4.30. RA-10 numunesinin XRD grafiği.....	61
Şekil 4.31. RA-10 numunesine ait TGA sonuçları	63
Şekil 4.32. RA-10 numunesine ait DTA sonuçları	63
Şekil 4.33. RA-11 numunesinin XRD grafiği.....	64
Şekil 4.34. RA-11 numunesine ait TGA sonuçları	65
Şekil 4.35. RA-11 numunesine ait DTA sonuçları	66
Şekil 4.36. RA-12 numunesinin XRD grafiği.....	66
Şekil 4.37. RA-12 numunesine ait TGA sonuçları	68
Şekil 4.38. RA-12 numunesine ait DTA sonuçları	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Yeşil alg türlerinden biri olan Chaetomorpha Linum.....	8
Resim 2.2. Biyokütlenin, ara ürünlerin ve nihai ürünlerin üç ana termokimyasal dönüşümü.....	13
Resim 3.1. İskenderun ilçe merkezinde bulunan kanal.....	21
Resim 3.2. Karbonizasyon işleminin yapıldığı silindirik fırın.....	23
Resim 3.3. Karbonizasyon sırasında çıkan sıvı numuneler.....	23
Resim 3.4. Farklı ısıtma hızı ve sıcaklığa maruz bırakılmış numuneler.....	23
Resim 3.5. Kül tayininin yapıldığı fırın ve numuneler.....	24
Resim 3.6. Parr marka 6775 model kalorimetre cihazı.....	26
Resim 4.1. Chaetomorpha Linum yosunu (RA-1 Evresi) hammaddeye ait görsel.....	34
Resim 4.2. Hava sıcaklığı şartlarında serme usulü gerçekleştirilen Chaetomorpha Linum kurutma işlemi.....	35
Resim 4.3. Karbonize RA-1 numunesinin SEM görüntüsü.....	36
Resim 4.4. Karbonize RA-2 numunesi SEM görüntüsü.....	38
Resim 4.5. Karbonize RA-3 numunesi SEM görüntüsü.....	41
Resim 4.6. Karbonize RA-4 numunesi SEM görüntüsü.....	43
Resim 4.7. Karbonize RA-5 numunesi SEM görüntüsü.....	46
Resim 4.8. Karbonize RA-6 uygulaması SEM görüntüsü.....	50
Resim 4.9. Karbonize RA-7 numunesi SEM görüntüsü.....	54
Resim 4.10. Karbonize RA-8 numunesi SEM görüntüsü.....	57
Resim 4.11. Karbonize RA-9 numunesi SEM görüntüsü.....	59
Resim 4.12. Karbonize RA-10 numunesi görüntüsü.....	62
Resim 4.13. Karbonize RA-11 numunesi SEM görüntüsü.....	64
Resim 4.14. Karbonize RA-12 numunesi SEM görüntüsü.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

°C

°K

C

H

N

O

S

T

cm⁻¹

Açıklamalar

Santigrat derece

Kelvin

Karbon

Hidrojen

Azot

Oksijen

Kükürt

Sıcaklık

Dalga sayısı

Kısaltmalar

1G

2G

3G

4G

CI

DTA

DSC

TGA

FTIR

XRD

SEM

GHG

PG

PL

SI

Açıklamalar

Birinci nesil biyoyakıtlar

İkinci nesil biyoyakıtlar

Üçüncü nesil biyoyakıtlar

Dördüncü nesil biyoyakıtlar

Sıkıştırılmalı ateşlemeli motor

Diferansiyel termal analiz

Diferansiyel taramalı kalorimetre

Termogravimetrik analiz

Frouier dönüşümü

X-Ray difraksiyon toz kırınımı

Taramalı elektron mikroskobu

Sera gazı

Piroliz sıvısı

Piroliz sıvısı

İçten yanmalı motor

Kısaltmalar**Açıklamalar**

RA-1	Ham madde
RA-2	400 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-3	400 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-4	500 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-5	500 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-6	500 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-7	600 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-8	600 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-9	600 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-10	700 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-11	700 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)
RA-12	700 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)

1. GİRİŞ

İnsan gelişimi, doğrudan veya dolaylı olarak enerji kullanımı ile ilişkilidir. Enerji kaynaklarının insan ihtiyaçları için her zaman kullanılabilir olacağı yanlıgısı tarih boyunca devam etmiştir. Bu inanca rağmen bilim, enerjinin mevcudiyetinin sınırlı olduğunu ve kaynakların tamamen yenilenebilir olmadığını göstermektedir (Dias ve diğçerleri, 2004).

Enerji talebi, büyük ölçüde artan nüfusun ihtiyaçları tarafından yönlendirilir. Dünya Yenilenebilir Enerji Konseyi'nin (WREC) raporlarına göre, 2100 yılına kadar dünya nüfusu 12 milyara çıkacak ve dünya çapındaki enerji talebi hızla mevcut senaryonun yaklaşık 5 katına çıkacağını belirtmektedir (Hossain ve Davies, 2013).

Sanayileşmedeki gelişim ve Dünya nüfusunun artmasıyla beraber enerji talebindeki artışı devam ettirmektedir. Artan enerji talebini karşılamak için birçok araştırmacı alternatif kaynaklara yönelmiştir. Araştırmacılar, enerji kaynağı olarak atık malzemelerin dönüştürülmesi veya yeniden kullanılmasını mümkün kılan teknolojiler geliştirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda alternatif enerjiye olan talep artmış ve atık lastik, atık yağlar, odunsu bitkiler, plastikler vb. gibi çok sayıda enerji kaynağı kullanılmıştır (Ayanoglu ve diğçerleri, 2016).

Araştırmacıların bulduğu çeşitli alternatif enerji kaynakları arasında biyokütle, benzersiz bir avantaja sahiptir. Kullanımı sırasında atmosfere salınan karbon, biyokütle kaynaklarının enerji üretimi için kullanılması sırasında geri alınır. Şu anda biyokütle, dünyanın birincil enerji arzının yaklaşık %13'ünü ve küresel yenilenebilir enerjinin %75'inden fazlasını sağlamaktadır (Abdullah ve Wu, 2009).

Nitekim, Dünya Enerji Konseyi'nin bir raporunda biyoenerjinin 2050'ye kadar küresel enerji arzının %25–33'üne katkıda bulunabileceği tahmin edildiği belirtilmiştir (Montes ve diğçerleri, 2009).

Sürdürülemez enerji kaynaklarından dolayı çevreye salınan CO₂ Dünya'da sera gazı etkisi yaratmaktadır. Birincil küresel enerjinin %84'ü petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil yakıtlardan oluşmaktadır (Sudhakar ve diğçerleri, 2018). Dünyada nüfus artışıyla doğru orantılı olarak enerji tüketiminde de yaklaşık olarak %1 oranında artış yaşanmaktadır.

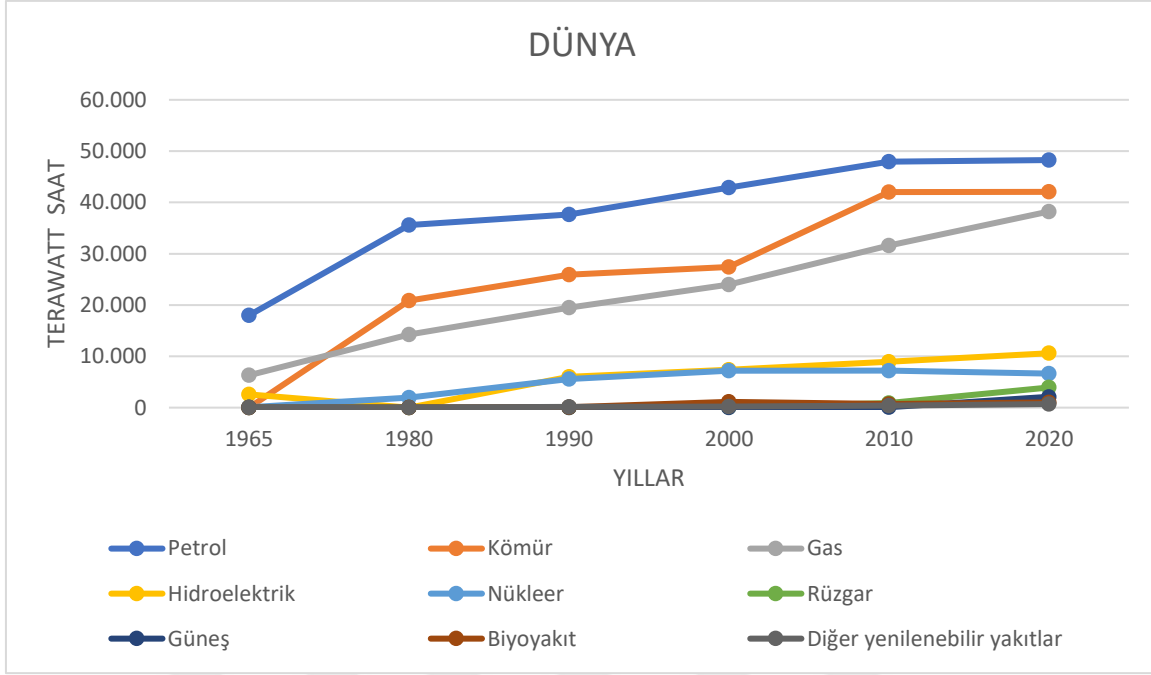
Fakat petrol fiyatlarında yaşanan dalgalanmalar, sürdürülemez olması, iklim değişikliklerinin yarattığı etkiler insanları fosil yakıtlar yerine biyoyakıtlara yönlendirmiştir (Nagarajan ve diğerleri, 2013). Çünkü fosil yakıtların aşırı yanması, ortamdaki karbondioksit seviyesini yükseltmekte ve iklim değişikliklerine katkıda bulunmaktadır (Uddin ve diğerleri, 2021)

Petrol kaynaklı yakıtların çevreye verdiği zarar, sürdürülemez oluşu ve sürekli kullanımdan kaynaklı atık tüketici talebini karşılamaması yaygın olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber ne yazık ki yağlı bitkiler, atık yağlar, hayvansal yağlardan elde edilen biyodizelin sürdürülebilir olması ve talebi karşılayabilmesi gerçekçi bir bakış açısı değildir (Chisti, 2007).

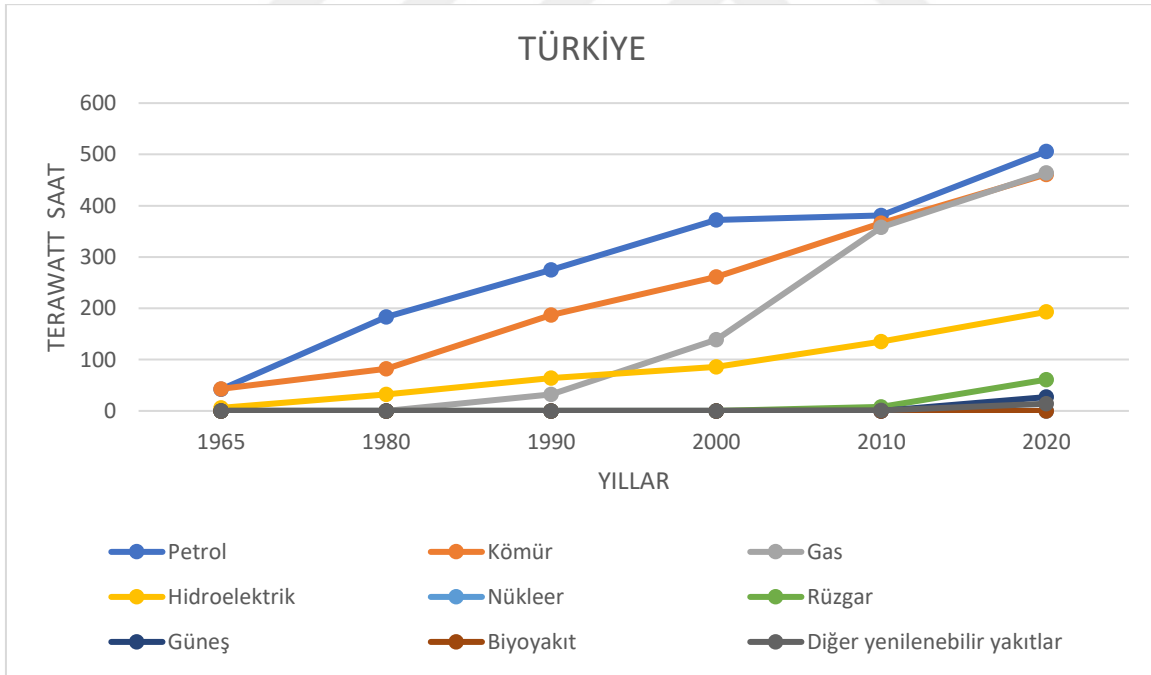
Fosil yakıtlar yerine biyo yakıt tercih edilmesinin nedenleri; çevre dostu olması, sürdürülebilir olması ve yenilenebilirliği. Biyo yakıtlar farklı biyokütlelerden üretilen sıvı yakıtlar olarak tanımlanır. Bunlar tarım, orman ürünleri ve biyolojik olarak parçalanabilen kısmi endüstriyel atıklardır. Brezilya, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği Dünya'nın en büyük biyodizel üretici ülkeleridir (Khan, 2017).

Araştırmacıların biyokyakıt için algleri seçmelerinin nedenleri alg hücrelerinin %30 lipid içeriğe sahip olması ve bunun soya fasulyesi ve hurma gibi diğer biyokütlelerden daha yüksektir olmasıdır (Khan, 2017).

Alglerin en önemli bileşeni sudur bundan dolayı atık su arıtımında önemli ölçüde yol oynar. Atık suları arıtmadaki rolü sayesinde hem kirli suların temizliği hem de biyokütle olarak kullanılması alglerin yetiştirilmesinde büyük rol oynar (Khan, 2017).



Şekil 1.1. Yıllara göre Dünya’daki enerji tüketimi (<https://ourworldindata.org/energy-mix>)
Son erişim tarihi: 08.07.2021



Şekil 1.2. Yıllara göre Türkiye’deki enerji tüketimi
(<https://ourworldindata.org/energy-mix>)

Şekil 1.1. ve Şekil 1.2. da ki verilere dayanarak Dünya’da ve Türkiye’de petrolün en çok talep gören yakıt türü olduğu gözlemlenmiştir. Bununla beraber yurtdışında biyoyakıt kullanıma başlanmışken Türkiye’de araştırılmasına rağmen henüz kullanıma geçilmemiştir.

2. KURAMSAL TERİMLER VE UYGULAMALAR

2.1. Alg Tanımı

Alg latince “deniz otu” anlamına gelen “su yosunları” olarak bilinen birçok sucul canlının besin kaynağı olan neredeyse her yerde yaşayabilen yüksek biokütle ve büyüme hızına sahip olan bir canlıdır (Özdemir ve Erkmen, 2013).

Algler, besin zincirinin ilk halkasını oluşturan biokütlenin önemli birincil üreticilerinde olup, farklı kimyasal ve biyolojik bileşikleri üretme özelliği olan tek hücreli ya da karmaşık çok hücreli yapılara kadar çeşitlilik gösteren önemli ekolojik gruplardan biridir (Evrenosoğlu ve diğerleri, 2013).

“Algler, farklı kimyasal ve biyolojik bileşikleri üretme özelliğine sahip oldukları için ticari açıdan önemli olan organizmalardır. Aynı zamanda vitaminler, pigmentler, mineraller, lipit ve polisakkaritler alglerden elde edilen ürünlerdir.” (Evrenosoğlu ve diğerleri, 2013).

2.2. Alglerin Oluşumu

Denizlerin önemli canlı kaynaklarından biri alglerdir. Algler primer üretici canlılar grubunda olup besin zincirinin önemli bir parçasıdır. Algler birçok sektörde kullanılmaktadır bunlar; kozmetik, gıda, eczacılık, endüstri ve tıp dallarıdır (Aktar ve diğerleri, 2010).

Algler genel olarak %70 oranında su bulunan yerlerde yaşarlar. Suyun olmadığı yerlerde ise toprak, ağaç ya da kayalara tutunarak yaşayabilirler. Hayvan ve bitkilerle simbiyotik yaşam kurabilme yeteneğine sahiptirler (Aktar ve diğerleri, 2010).

“Buzla kaplı alanlarda, 70°C veya daha yüksek sıcaklıktaki kaynak sularında, çok tuzlu su ortamlarında, düşük ışık yoğunluğu ve yüksek basınç altındaki göl ve deniz ortamlarında kısaca fotosentez yapmak için ışık bulabildikleri her yerde yaşayabilirler” (Aktar ve diğerleri, 2010).

2.3. Alglerin Sınıflandırılması

Çizelge 2.1. Tipik deniz yosunlarının bileşimi (Hong ve diğerleri, 2014)

	Türler	Karbonhidrat	Protein	Lipit	Kül
<i>Yeşil yosun</i>	Codium fragile	58,7	15,3	0,9	25,1
	Capsosiphon fulvescens	48,1	24,4	0,6	26,9
	Enteromorpha prolifera	53,3	22,9	0,8	22,9
	Ulva lactuca	50,4	26,8	0,6	22,2
	Caulerpa lentilifera	45,5	11,7	1,2	41,6
	Ortalama	53,2 ± 1,8	19,8 ± 2,5	0,8 ± 0,1	26,1 ± 3,1
<i>Kırmızı deniz yosunu</i>	Gelidium amansi	66	20,5	0,2	13,3
	Porphyra Sp.	45,5	43,6	1,9	9
	Gigartina tenella	42,2	27,4	0,9	29,5
	Hypnea charoides	57,3	18,4	1,5	22,8
	Carpopeltis cornea	60,7	23,8	0,4	15,6
	Ortalama	55,2 ± 2,8	23,1 ± 2,4	0,9 ± 0,2	20,6 ± 1,6
<i>Kahverengi yosun</i>	Laminaria japonica	51,5	8,4	1,3	38,8
	Undaria pinnatifida	43,2	23,8	3,5	29,5
	Hijikia fusiforme	47,5	9,8	1,2	41,5
	Eisenia bicyclis	72,7	8,2	0,2	18,8
	Ecklonia stolonifera	65	15,3	1,5	18,1
	Ortalama	57,5 ± 4,2	12,1 ± 2,0	1,8 ± 0,6	28,6 ± 4,4

Not: Bu çizelgede yer alan alg türleri içerisinde bu tezin konusu olan Chaetomorpha Linum türü yer almamaktadır. Chaetomorpha Linum türüne ait veriler tez içerisinde yer almaktadır.

Algler potansiyel olarak yüksek biyolojik içerikli üretken kaynaklardan biridir. Aynı zamanda algler klorofil içeren basit organizmalardır. Ortalama olarak boyutları 3-10 µm (mikron) ile 70 m uzunluğa kadar değişiklik göstermektedir. Büyüme süreleri ise günlük 50 cm'ye kadar çıkabilmektedir. Algler denizde, nehirde, gölde, toprakta, duvarda aslında fotosentez yapacak bir ışığın ve suyun olduğu hemen hemen her yerde bulunabilir (Gamal, 2010).

Deniz yosunu makroalgler ve mikroalgler olarak sınıflandırılır ve makroalgler kırmızı algler, kahverengi algler ve yeşil algler olarak sınıflandırılır. Kırmızı alg hücre duvarları polisakkaritlerden (agar, selüloz, ksilen, mannan ve karagenan) oluşur ve karbonhidratların çoğu agarda bulunur ve daha az selüloz içerir. Agar; hücre duvarlarının dışını oluşturan ve hücreler arasında bulunan yapışkan bir polisakkarittir. Kahverengi alglerin hücre duvarlarındaki polisakkaritler; selüloz ve aljinattır. Yeşil alglerin hücre duvarlarındaki polisakkaritler, hücre duvarlarının çerçevesini oluşturan selüloz, mannoz ve ksilen'dir. Selüloz, bu alglerdeki karbonhidrat içeriğinin büyük bir oranını temsil eder. Selüloz, deniz yosunundan biyoetanol üretimi için önemli bir bileşen olarak kullanılabilir. Lignin eksikliği, ligninin uzaklaştırılması için proses ihtiyacını ortadan kaldırır (Hong ve diğerleri, 2014).

2.3.1. Mikroalg

Yosunlar; yeşil algler, diyatomlar, altın kahverengi ve siyanobakteriler olarak kategorize edilir ve 25.000'den fazla türü mevcuttur. Mikroalgler güneş ışığından etkilenen hücre fabrikaları, prokaryot veya ökaryot fotosentetik mikro organizmalardır ve proteinler, çoklu doymamış yağ asitleri, pigmentler, bağışıklık modülatörleri, vitaminler gibi birçok endüstriyel dal için (yani gıda, su ürünleri yetiştiriciliği, kümes hayvanları, farmasötik ve biyoyakıt endüstrileri) ilgili çeşitli değerli ürünler üretirler. Dünya çapında toplam mikroalg biyokütle üretimi yılda yaklaşık 10.000 tondur. Mikroalgler, büyümelerine ve biyokimyasal bileşimlerine yardımcı olmada baskın bir rol oynayan karbon, hidrojen, nitrojen, fosfor ve potasyum içerir (Mathimani ve diğerleri, 2019).

Mikroalgler; tatlı su, deniz suyu ve atık su gibi çeşitli habitat türlerinde yetişen farklı fotosentetik organizma gruplarıdır.

Bazı alkalifil (yüksek pH), halofil (yüksek tuzluluk) suşlarının, diğer mikroalgal suşlarının çapraz kontaminasyonunu (istenmeyen element) kısıtlayarak dış mekânda geliştiği bulunmuştur. Ayrıca uzun vadede kontaminasyonun üstesinden gelmek için tohum kültürü baskın bir kültür olarak sürekli olarak çoğaltılmalıdır. Genel olarak, mikroalgler açık havuz ve iç mekân (tübüler fotobiyoreaktör) yetiştirme sistemi kullanılarak yetiştirilir. Her iki yetiştirme sistemi de ışık kaynağı ve yoğunluğu vasıtasıyla düzenlenir. Dış mekân yetiştirme sistemlerinde mikroalgere güneşten gelen doğal ışık kaynağı sağlanırken, iç mekân yetiştirme sistemlerinde ışık yayan diyotlar (LED) ve optik fiberler gibi farklı yapay

kaynaklar kullanılır. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine daha fazla aktarımı, iç mekân koşullarında sağlıklı büyümeyi teşvik eden fiber optik sistemler kullanılarak da mümkündür. Bununla birlikte, her iki yetiştirme sisteminde, doyma noktasının üzerindeki fotosentetik olarak aktif radyasyon (PAR), büyümeyi sınırlandıran bir faktör olabilir ve dolayısıyla biyokütle üretkenliğini en aza indirebilir. Laboratuvar tabanlı yetiştirme sistemleri izlenebilir ve düzenlenebilirken, dış sistemler izlenebilir ve düzenlenebilir değildir (Mathimani ve diğerleri, 2019).

2.3.2. Makroalg

Algler, makro ve mikro alg olarak ikiye ayrılır. Genellikle kıyı bölgelerde bulunan halk tarafından su yosunu olarak bilinen makroalgler kırmızı, yeşil ve kahverengi olmak üzere 3'e ayrılmaktadır (Kim, 2021). Makroalgler diğer adıyla su yosunları, kıyı bölgelerindeki kayalara ya da taşlı zeminlere yapışarak yaşayan bitkimsi organizmalardır (Kılınç ve diğerleri, 2013). Boyları 80 metreye kadar ulaşabilen makroalgler ortalama olarak büyüme hızları; türbülanslı difüzyon yapabilmeleri, su bulunan her yerde yaşayıp çoğalabilmelerinden dolayı karada yaşayan fotosentetik canlılara kıyasla 2,5-4 kat daha fazladır (Ramirez, 2017). Makroalglerin yapısı basit olmasına rağmen içerdiği çok sayıda bileşenden dolayı farmasotik, biyoenerji üretimi, takviye edici gıda, gübre, hayvan yemi, olarak kullanıma elverişlidir (Chin ve diğerleri, 2020; Zhou ve diğerleri, 2019).

Makroalgleri biyoenerji olarak kullanılmasının sebebi; anaerobik çürütülmesi sistemin kolay işletilebilirliği ve nihai ürünün kolaylıkla ticarileştirilebilmesidir (Bruton ve diğerleri, 2009).

2.4. Chaetomorpha Linum

Cladophoraceae ailesindeki bir yeşil alg türüdür. Chaetomorpha Linum ve Chaetomorpha Area bazı yazarlar tarafından türdeş olarak kabul edilirken bazı yazarlar tarafında bu kabul edilmez. (Burrows ve diğerleri, 1991), (Hardy ve Guiry, 2006).

Chaetomorpha Linum, ince saç benzeri, tek sıralı, dallanmamış filamentlerden oluşan bir türdür. Hücreler 1-2 kat daha uzun ve maksimum genişliği 585µm'dir (Guiry, 2007). Hücreler genellikle silindirik şeklindedir (Burrows ve diğerleri, 1991). Hem bağlanmamış (C. linum) hem de eklenmiş (C. aerea) formlar mevcuttur. Bağlanmamış bitkiler bükülmüş filament kütleleri oluşturur (Burrows ve diğerleri, 1991) ve bağlı filamentler belirli bir tabandan kümeler halinde büyür (Newton, 1931).

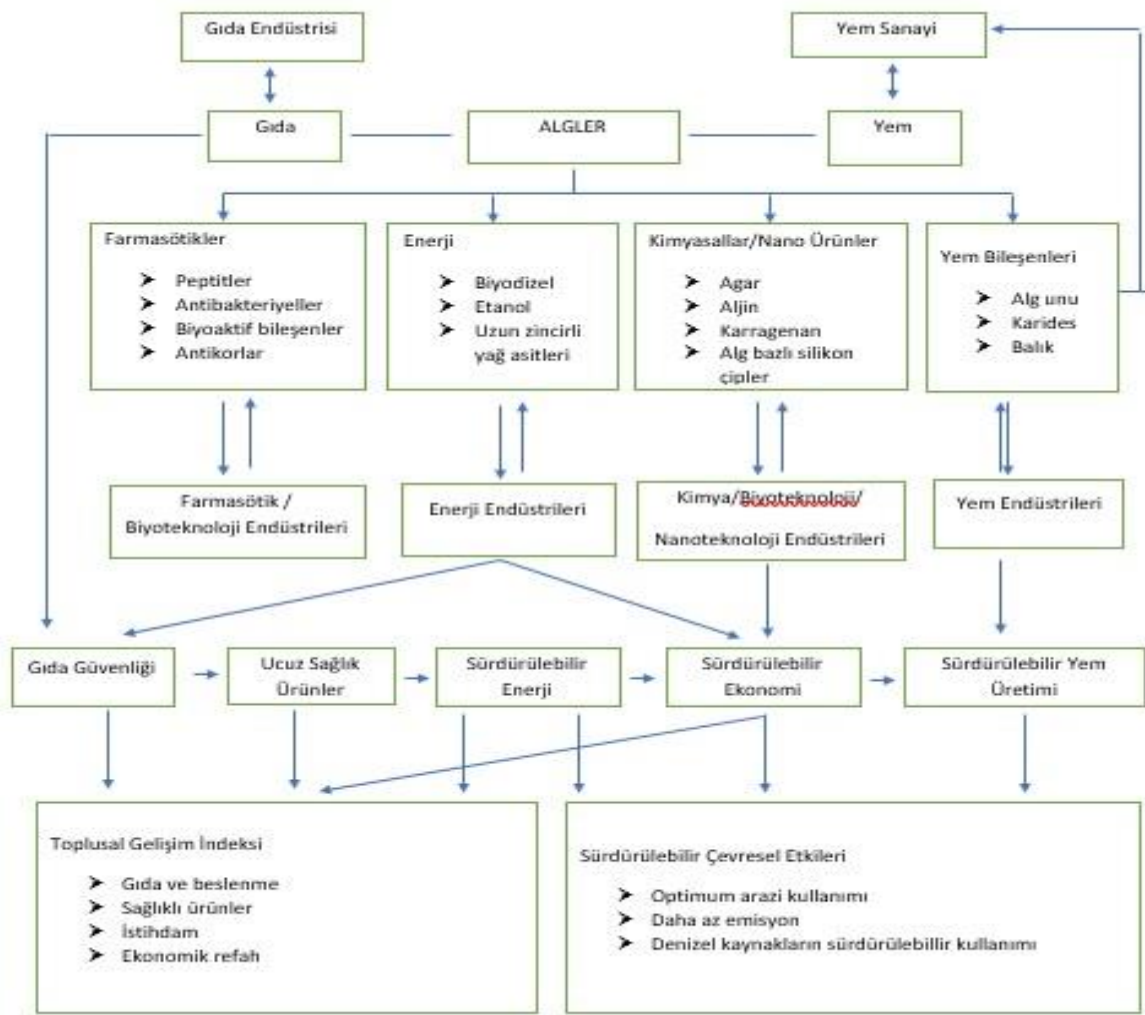


Resim 2.1. Yeşil alt türlerinden biri olan *Chaetomorpha Linum* (<https://www.sciencephoto.com/media/722489/view/green-hairweed-chaetomorpha-linum>) Son erişim tarihi: 07.06.2021

2.5. Alglerin Kullanıldığı Sektörler

Toplam 221 alg türü ticari anlamda 35 ülkede enerji, biyoteknoloji, gıda, sanayi, kimya, eczacılık, tıp gibi birçok alanda farklı amaçlarla kullanılmaktadır (Özdemir ve Erkmen, 2013).

“Alglerin besinsel analizleri incelediğinde karbonhidrat, protein, lipid, yağ asitleri, gliserol, doğal pigmentler (beta-karoten, astaksantin, ksantofil, fikobilin) ve canlılar için gerekli olan amino asitlerce çok zengin oldukları, ayrıca mineral, vitamin, polisakkaritler ve polifenoller gibi antibakteriyel, antifungal ve antiviral özelliğe sahip biyoaktif maddeler içerdikleri tespit edilmiştir.” (Özdemir ve Erkmen, 2013).



Şekil 2.1. Alglerin kullanıldığı sektörler ve yaygın etkileri (Özdemir ve Erkmen, 2013).

2.6. Biyokütle

Biyokütle, yenilenemeyen kaynakların yerini alan farklı yakıtlar ve kimyasallar sağlar. Biyoyağlar, linyoselüloz malzemelerin hızlı pirolizi yoluyla üretilebilen ucuz ham yağlardır. Hızlı piroliz üniteleri ticari ölçekte yağ üretebilmesine rağmen, piroliz endüstrisi, biyoyağ pazarının çekilmemesi nedeniyle ticari etki bırakmamaktadır. Biyoyağlar %15–30 su, %8–26 hafif oksijen, %2–7 monofenoller ve %15–25 çözünmeyen su oligomerlerinden oluşur. En çok bildirilen yükseltme yöntemleri hidrodeoksijenasyon, katalitik piroliz, buhar reformu, moleküler damıtma, esterleştirme, süper kritik sıvı, esterleştirme ve emülsifikasyondur (Uddin ve diğerleri, 2021).

2.6.1. Biyokütle olarak alg

Alglerin biyoyakıt olarak kullanılmasının nedenleri:

- Yeterli ve çoğaltılabilir bir kaynak
- Tarım arazisine ihtiyaç olunmaması
- Atık sularda dahi yetişebilmesi
- Yağ oranının yüksek olması
- Düşük lignin içeriği
- Daha az enerji girişi ve azaltılmış gıda-yakıt rekabeti
- Biyoyakıt dönüşüm presesinin kolay olması

Mikroalglerle ilgili birçok çalışmanın yanı sıra makroalgler yaygın olarak değerlendirilmemekte ve tartışılmamaktadır (Sudhakar ve diğerleri, 2018).

2.7. BİYOKÜTKE TÜRLERİ

2.7.1. Birinci nesil biyoyakıtlar: Birinci nesil ya da geleneksel biyoyakıtlar gıda bitkilerinde üretilen biyoyakıtlardır. Bu yakıtlar genellikle fermantasyon, transesterifikasyon ve anaerobik sindirim gibi basit süreçler ile üretilen yakıt türleridir. 1G (Birinci nesil) biyoyakıtlar, soya fasülyesi, mısır, mısır nişastası, şeker kamışı gibi bitkilerden elde edilen biyoyakıtlardır. Bunlar sürdürülebilir olmayan, gıda fiyatları üzerinde önemli bir etkiye sebep olan bitkilerdir (Sudhakar ve diğerleri, 2018).

2.7.2. İkinci nesil biyoyakıtlar: İkinci nesil biyoyakıtlar ya da gelişmiş biyoyakıtlar geniş bir yelpazede yenmeyen bitkilerin biyokütlesi, tarımsal kalıntılar ve lignoselülozik hammaddelerdir. 2G (İkinci nesil) biyoyakıtlar gıda dışı biyokütleden üretildiği için mükemmel bir fırsatı temsil eden selülozik biyokütlelerdir. 1G (Birinci nesil) biyoyakıtlar “yakıtı karşı gıda” dezavantajına sahiptir (Sudhakar ve diğerleri, 2018).

2.7.3. Üçüncü nesil biyoyakıtlar: Üçüncü nesil biyoyakıtlar düşük bütçeyle yapılan biyoyağları ifade etmektedir. Genellikle yüksek verimli mikroalg ve makroalglerin biyokütlesinden elde edilir. 3G (Üçüncü nesil) biyoyakıtlar biyoyakıt için gerekli kriterleri taşıyan en umut verici biyokütle türü gibi görünmektedir. CO₂ ve atık gibi çevre sorunlarının olmaması, yetiştiği sulak yerlerde su içerisindeki zararlı içerikleri bünyesine alarak suyu arıtması sürdürülebilirlik açısından büyük önem arz etmektedir (Sudhakar ve diğerleri, 2018).

2.7.4. Dördüncü nesil biyoyakıtlar: Dördüncü nesil biyoyakıtlar diğer adıyla yeni nesil biyoyakıtlar, karbon sekestrasyonu ile birlikte ultra temiz karbon negatif biyoyakıtlar üretmek için bir adım daha ileri gidiyor. 4G (Dördüncü nesil) biyoyakıtların hem hammadde hem de proses teknolojisi düzeyinde karbon negatif olması beklenmektedir. Çizelge 2.2. farklı nesil biyoyakıtların yararlarını ve dezavantajlarını vurgulamaktadır (Sudhakar ve diğerleri, 2018).

Çizelge 2.2. Biyoyakıt nesillerinin artıları ve eksileri (Sudhakar ve diğerleri, 2018).

NESİL	KAYNAKLAR	ARTILARI	EKSİLERİ
BİRİNCİ NESİL BİOYAKITLAR	Mısır, Kamış, Mısır, Soya, Ayçiçeği, Palm, Kolza yağı. Etanol. Biyodizel	Basit ve yerleşik teknoloji. Ölçeklenebilir ve maliyet açısından rekabetçi süreç.	Gıda ve yakıt sorunları. Ova kullanım verimliliği. Düşük verim ve ekilebilir arazinin sınırlı mevcudiyeti. Net enerji negatif.
İKİNCİ NESİL BİOYAKITLAR	Jatropha, Neem, Castor, Lignoselüloz, Switchgrass gibi gıda dışı enerji bitkileri. Saman ve atık kaynakları.	Gıda dışı biyoyakıt ve marjinal arazide büyür. Çevresel sürdürülebilirlik. Daha az tartışmalı. Daha az sera gazı emisyonu. Yüksek biyokütle verimi.	Endüstriyel ölçek bir sorundur. Yüksek sermaye maliyeti. Kullanım için yaygın olarak mevcut değildir.

Çizelge 2.2.(Devam) Biyoyakıt nesillerinin artıları ve eksileri (Sudhakar ve diğerleri, 2018).

ÜÇÜNCÜ NESİL BİOYAKITLAR	Biyo-alkol için enerji bitkileri. Alglerden hidrojen. Makro ve mikro alglerden elde edilen yağ.	Daha az enerji girişi. Yaygın kullanılabilirlik. Karbon nötr.	Düşük enerji çıkışı. Pilot ölçek henüz ticarileştirilmedi.
DÖRDÜNCÜ NESİL BİOYAKITLAR	Güneş yakıtları. Yapay fotosentez. Genetiği değiştirilmiş algler.	Karbon negatif olması hedeflendi.	Laboratuvar ölçeği/kavramsal aşama.

2.8. Biyoyakıt

Gezegimizdeki bitkilerin sürekli büyümesi, insanların birincil enerji gereksinimlerini birçok kez ön plana çıkarmaktadır. Elbette büyüyen biyokütlenin sadece bir kısmı ekolojik, teknik ve ekonomik nedenlerle enerji kullanımını için sağlanabilir. Biyokütle kaynakları, tarım ve ormancılıktan ayrıca tarım ve odun endüstrilerinden elde edilenleri içermektedir. Ayrıca inşaat ve yıkımdan kaynaklanan atık kaynakları ile belediye atıklarını da içerir (Rutz ve Janssen, 2007).

Günümüzde ulaşım sektöründeki uygulamalar, depolanması kolay sıvı yakıtların kullanımına dayanmaktadır. Gazlı yakıtlar sıvı yakıtlarla karşılaştırıldığında, gazlı yakıtların nakliye amacıyla kullanımını daha zordur. Demiryolu trenleri için geçmişte katı yakıtlar kullanılmış olsa da uzun zamandan beri ulaşım amaçlı olarak kullanılmamaktadır. Bununla birlikte, madde aşamasından ayrı olarak, genellikle iki temelde farklı yakıt türü vardır: fosil kaynaklardan yapılan yakıtlar ve yenilenebilir kaynaklardan yapılan biyoyakıtlar (Rutz ve Janssen, 2007).

Birçok biyoyakıt, fosil yakıtlara kıyasla büyük faydalar sağlar. Ancak fosil yakıtlara göre ne birincil fosil enerji tüketimi ne de sera gazı emisyonları açısından çok avantajlı değillerdir.

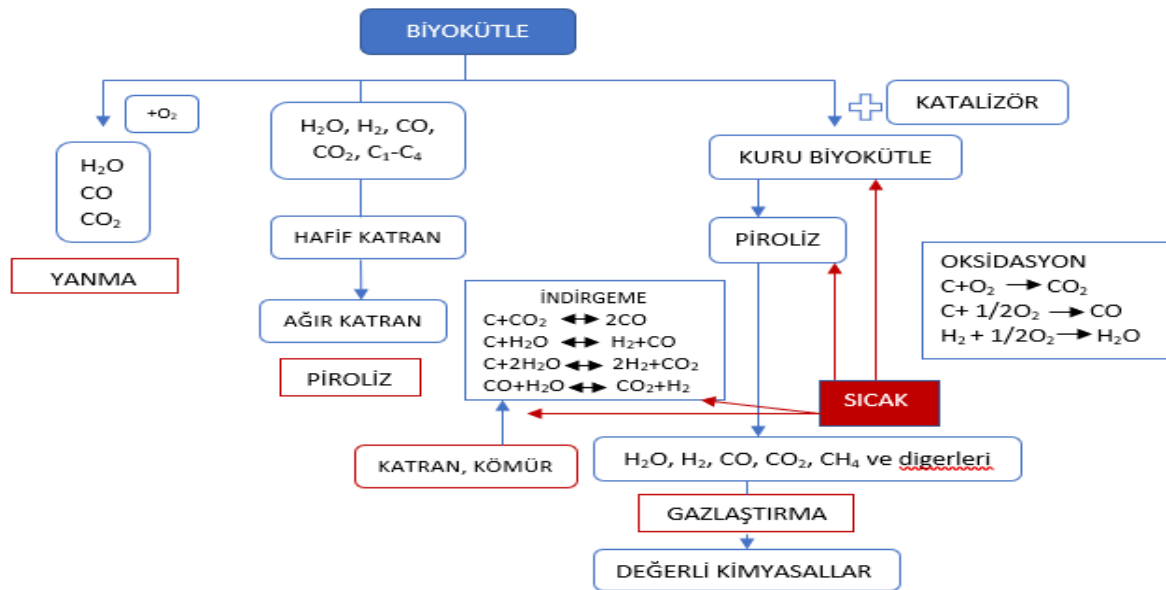
En kötü durumda, enerji tüketimini ve fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonları bile aşabilir. Fosil yakıtlara kıyasla biyoyakıt kullanımından elde edilen faydaları değerlendirmek için yaşam döngülerinin belirlenmesi gerekir. Bu yaşam döngüleri, hammadde türüne, yer seçimine, yan ürünlerin üretimine, proses teknolojisine ve yakıtın nasıl kullanıldığına bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Bu çeşitlilik içinde, biyoyakıt işlemede yaşam döngülerinin temel bileşenleri her zaman aynıdır (Rutz ve Janssen, 2007).

2.9. Termokimyasal Dönüşümler

Mevcut termokimyasal dönüşüm teknolojileri (yanma, piroliz ve gazlaştırma) arasında yanma teknolojisi, ısı ve elektrik enerjisi üreten tek teknolojidir. Biyokütle yanması, ekonomik olarak uygun olan ısı üretimi için yüksek bir verime sahiptir. Bununla birlikte, karmaşık yanma süreci ardışık katı-katı ve katı-gaz reaksiyonlarını içeriyordu.

Biyokütle yakmanın ana adımlarını kurutma, gazlaştırma, kömür yakma ve gaz oksidasyonu takip eder (Ren ve diğerleri, 2020).

Farklı termokimyasal dönüşüm prosesleri arasında yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma, hidrojenasyon ve piroliz yer alır. Piroliz hala gelişme aşamasındadır, ancak biyokütleyi oksijen yokluğunda termal ayrışması ile biyokütleyi doğrudan katı, sıvı ve gaz halindeki ürünlere dönüştürebildiği için özel ilgi görmüştür. Piroliz, büyük miktarlarda mevcut biyokütle yan ürünleri ile tarıma dayalı ekonomiler için özellikle önemli olan verimli kullanım sunar (Mondal ve diğerleri, 2021).



Resim 2.2. Biyokütlenin, ara ürünlerin ve nihai ürünlerin üç ana termokimyasal dönüşümü (Ren ve diğerleri, 2020).

2.9.1. Biyokütle pirolizi

Biyokütlenin yakıtta dönüştürülmesi için mevcut çeşitli yollardan piroliz, biyokütleyi tarım ve ormancılık kalıntıları dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan sıvı, katı ve gaz yakıtlara dönüştürebilir (Beattie ve diğerleri, 1983). Piroliz sıvısı (PL) hem içten hem de dıştan yanmalı motorlarda, özellikle sıkıştırılmalı ateşlemeli (CI) tipi içten yanmalı (IC) motorlarda potansiyel kullanıma sahiptir. Katı kömür, kömür santrallerinde ısıtma veya birlikte yakma için ve ayrıca atmosferik karbonun tutulmasını sağlayan toprak gübresi ve şartlandırıcı olarak kullanışlıdır (Naik ve diğerleri, 2010).

Char, gazlaştırma teknikleri yoluyla sentez gazı üretmek için de kullanılabilir. Piroliz gazı (PG), gazla çalışan kazanlarda, gaz türbinlerinde, kıvılcım ateşlemeli (SI) motorlarda veya çift yakıtlı motorlarda kullanılabilir. Son raporlar, biyokütle pirolizinden sürdürülebilir IC motor yakıtları üretme fırsatlarını vurguladı (Naik ve diğerleri, 2010).

IC motorları için tasarlanan fosil yakıtların, biyokütle pirolizinden elde edilen yakıtlar gibi yenilenebilir alternatiflerle ikame edilmesiyle sera gazı (GHG) emisyonlarında çok büyük bir azalma mümkündür. Benzinli dizele alternatif olarak biyoyakıt üretimine büyük önem verilmiştir (Pienkos ve Darzins, 2009).

Biyokütle pirolizinin, düşük sıcaklıklarda oksijen yokluğunda biyokütlenin ısıtılmasıyla sıvı, katı ve gaz halindeki fraksiyonlara dönüştürülebileceği konusunda fikir birliği vardır. Bununla birlikte, biyoyağlar, daha ileri endüstriyel uygulamalarını engelleyen karmaşık organik oksijen türlerinden oluşur. Biyokütle hızlı piroliz için uygulandıysa, piroliz ürünü esas olarak %80'e varan bir verimlilikle biyoyağ üretmek için kullanılabilir. Üretilen biyoyağ, motorların ve türbinlerin çalışmasında kullanılabilir ve rafineriler için hammadde olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, piroliz ürünlerinin zayıf termal stabilitesi ve aşındırıcılığı gibi, dönüştürme işlemi ve sonraki kullanım sırasında bazı problemlerin üstesinden gelinmelidir. Bazı durumlarda, yağın hidrojenasyonu ve katalitik kırılması, biyoyağın kalitesini yükseltmek için oksijen içeriğini azaltmak için alkaliyi ortadan kaldırır. Son zamanlarda, biyokütle katalitik piroliz için katalizör tasarlamak ve ardından biyoyağları, hafif aromatikleri, olefinleri ve gazları yükseltmek ve üretmek için büyük teknik fırsatlar dönüştürüldü. Biyokütle pirolizi kesinlikle yeterince incelenmemiştir ve emekleme döneminde dir.

Piroliz için daha fazla uygulama ve geliştirme, yeni katalizör tasarımına, katı karışımların seçimine ve ilgili yaklaşımların diğer araştırmalarına odaklanılmalıdır (Ren ve diğerleri, 2020).

Biyokütlenin harici bir ısıtma kaynağıyla ısıtılması, açık arayla en çok çalışılan teknoloji olmuştur. Pirolizin avantajı, son ürünlerin veriminin işlem koşullarına bağlı olarak değiştirilebilmesidir; piroliz sıcaklığı ve ısıtma hızının en çok etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Wu ve diğerleri, 2014).

2.9.2. Biyokütle gazlaştırma

800-1000 °C' lik yüksek sıcaklık aralığında gazlaştırma işleminde hava / oksijen kullanıldığında kısmi oksidasyon yoluyla biyokütlenin yanıcı gazlara (CO, CO₂, CH₄ ve H₂) termokimyasal dönüşümü için etkili bir yöntemdir. Ayrıca biyokütle, buhar varlığında da gazlaştırılabilir ve yüksek H₂ / CO oranına sahip gaz üretebilir ayrıca endotermik reaksiyonların oluşması (buhar, gazlaştırma) nedeniyle önemli ısıtma değeri sağlayabilir. Biyokütle gazlaştırma, birbiriyle yakından bağlantılı birçok reaksiyon içeren karmaşık bir termokimyasal süreçtir. Resim 2.2.' de gösterdiği gibi, nemin buhara dönüştürüldüğü 150 °C civarında ısıtılarak biyokütlenin kurutulmasıyla başlar. İkinci olarak, kurutulmuş biyokütle örneklerindeki biyokütle uçucuları buharlaştırılacak ve Hava / O₂ atmosferleri altında H₂ bakımından zengin gazlı ürünler ve su üretilenektir. Üçüncüsü, diğer hidrokarbonlar sıvı katranlara dönüştürülür ve ardından gazlaştırıcıların içinde yoğunlaşır. Piroliz gazlarından CO ve CO₂ üretilir, katranlar ve kömür gazlaştırma maddesiyle reaksiyona girebilir ve H₂ oksitlenip daha sonra su üretilir (Ren ve diğerleri, 2020).

2.10. Piroliz

Piroliz; Yunanca bir kelime olup ısı anlamına gelen “pyro” ile parçalanmak anlamına gelen “lyse” kelimelerin birleşiminden oluşmaktadır. Organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak katı, sıvı, gaz olarak parçalanması anlamına gelir. Piroliz sıcaklığı ortalama 500-1000°C arasındadır (Tiftik, 2006).

Katı ürünler: Kömür, indirgenmiş katı kalıntıları

Sıvı ürünler: Su, sıvı hidrokarbonlar

Gaz: H₂O, CO₂, CO, CH₄, H₂S, NH₄, C₂H₆, C₃H₈

Piroliz enerji üretimi için etkili ve sürdürülebilir bir teknolojidir (Zhang ve diğerleri, 2020).

Hızla artan bir nüfusun artan enerji talebi, insanoğlunun biyokütlenin bir enerji kaynağı olarak kullanımına olan ilgisini yeniden canlandırdı. Biyoyakıtlara olan bu yeniden canlanan ilginin arkasındaki ana faktörler, hızla tükenen fosil yakıt rezervuarları ve iklim değişikliğiyle ilgili endişelerdir. Biyokütlenin temiz yanan yakıtla dönüştürülmesi için doğru teknoloji seçimi, bir enerji kaynağı olarak biyokütlenin sürekli kullanımı için çok önemlidir (Mondal ve diğerleri, 2021).

Biyokütleden çeşitli enerji ürünlerini çıkarmak için yanma, hidrojenasyon, sıvılaştırma, gazlaştırma ve piroliz gibi çeşitli termo-kimyasal dönüşüm süreçleri kullanılmıştır (Mondal ve diğerleri, 2021). Piroliz, kentsel atıkların biyoyakıt gibi enerji ürünlerine dönüştürülmesi için kullanılan potansiyel bir teknolojidir (Mahari ve diğerleri, 2021). Piroliz; lastik, plastik, kömür ve biyokütle vb. atık türlerini yüksek enerjisel verimle birlikte beslenmesini sağlayan çok yönlü bir sistemdir (Hita ve diğerleri, 2016).

Piroliz işlemi yaygın olarak tartışılan bir konudur. Piroliz sonucu karbonsiyahi, pirolitik yağ ve gaz ürün ortaya çıkar. Karbonsiyahi geliştirilmiş karbon formuyla katalizör olarak ya da lastik üretiminde kullanılabilir. Gaz ise çevrimin elektrik enerjisi için kullanılabilir bunların yanı sıra pirolitik yağ çıkan ürünler arasında verimi en yüksek olan üründür (Lewandowski, 2019).

Biyokütlenin yakıtla dönüştürülmesi için mevcut çeşitli yollardan biri olan piroliz, biyokütleyi tarım ve ormancılık kalıntıları dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan sıvı, katı ve gaz yakıtlara dönüştürebilir (Beattie ve diğerleri, 1983).

Piroliz işlemi üç alt sınıfa ayrılabilir: geleneksel piroliz, hızlı piroliz ve flaş (kül) pirolizi. Yarı selülozlar önce 470 ila 530 °K sıcaklıklarda parçalanır, selüloz 510 ila 620 °K sıcaklık aralığında ve lignin 550 ila 770 °K sıcaklıklarda pirolize olan son bileşendir. Amaç sıvı verimini en üst düzeye çıkarmaksa biyokütle pirolizinden kaynaklanan ürünler, düşük sıcaklık, yüksek ısıtma hızı, kısa gaz kalma süresi gerekli olacaktır. Yüksek kömür üretimi için, düşük sıcaklıkta, düşük ısıtma oranlı bir proses seçilmelidir. Amaç, pirolizden kaynaklanan yakıt gazı verimini maksimize etmek olsaydı, yüksek sıcaklık, düşük ısıtma hızı, uzun gaz kalma süresi tercih edilmelidir (Demirbaş ve Arin, 2002).

Pirolizin üçe ayrılmasında biyokütlenin reaktörde kalma süresine, işlem sıcaklığına ve ısıtma hızına göre kategorize edilmiştir. Bununla birlikte, ürünlerin nispi dağılımı, piroliz tipine ve piroliz işletme parametrelerine bağlıdır (Mondal, 2021).

2.10.1. Yavaş (geleneksel) piroliz

Geleneksel piroliz, yavaş bir ısıtma hızı altında meydana gelen piroliz olarak tanımlanır. Bu durum, önemli kısımlarda katı, sıvı ve gaz halinde piroliz ürünlerinin üretimine izin verir. 395 ile 475 °K arasında meydana gelen biyokütle ayrışmasının ilk aşaması, ön piroliz olarak adlandırılabilir. Bu aşamada su giderimi, bağ kırılması, serbest radikallerin ortaya çıkması ve karbonil, karboksil ve hidroperoksit gruplarının oluşumu gibi bazı dahili yeniden düzenleme gerçekleşir (Shazadeh, 1982). Katı ayrışmanın ikinci aşaması, ana piroliz sürecine karşılık gelir. Yüksek hızda ilerleyerek piroliz ürünlerinin oluşmasına neden olur. Üçüncü aşamada, kömür çok yavaş bir hızda ayrışır ve karbonca zengin artık katı formlar (Demirbaş ve Arin, 2002)

Yavaş pirolizde, katı içeriğin (biocahr) oluşumunun öne çıkması nedeniyle buhar kalış süresi çok yüksektir (5 ila 30 Dakika). Yavaş piroliz genellikle düşük sıcaklıklarda ve düşük ısıtma oranlarında biyokömür üretimi için kullanılır. Bununla birlikte, yavaş piroliz bazı teknolojik sınırlamalara sahiptir ve bu da onu kaliteli biyo-yağ üretimi için uygun olma ihtimalini düşük kılmaktadır (Mondal, 2021).

2.10.2. Hızlı piroliz

Hızlı piroliz, besleme stoğunun havasız ortamda hızla ısıtıldığı, buharlaştığı ve konvansiyonel akaryakıtın yaklaşık yarısı kadar bir ısıtma değerine sahip koyu kahverengi bir hareketli sıvıya yoğunlaştığı yüksek sıcaklıklı bir işlemdir. Odun kömürü yapmak için kullanılan geleneksel piroliz işlemleriyle ilişkili olsa da hızlı piroliz, yüksek miktarda sıvı vermek için dikkatlice kontrol edilebilen daha gelişmiş bir işlemdir. Hızlı bir piroliz işleminin temel özellikleri şunlardır:

- İnce öğütülmüş biokütle beslemesi gerektiren çok yüksek ısıtma ve ısı aktarım hızları
- 500°C civarında dikkatlice kontrol edilen sıcaklık
- Biyoyağ ürününü vermek için piroliz buharlarının hızlı soğutulması. Ana ürün olan bio-yağ, proses içinde kullanılan yan ürün kömürü ve gaz ile birlikte kuru yemde ağırlıkça %80'e varan verimlerde elde edilir, böylece atık akışı olmaz. (Bridgwater ve Peacocke, 2000).

Hızlı piroliz işleminde, biyokütle besleme stoğu, hava / oksijen yokluğunda hızla yüksek bir sıcaklığa ısıtılır. Literatürde piroliz işleminin %15–25 katı (biyokömür) ve %10–20 gazlı ürünler (pirolitik gaz) içeren %60–75 sıvı ürünler (biyo-yağ) üretebileceği belirtilmektedir. Sıvı ürün üretimi genellikle biyokütleden düşük bir sıcaklıkta, yüksek bir ısıtma oranı ve kısa kalma süresi koşulları ile yapılır. Hızlı piroliz işleminin temel özellikleri, yüksek ısı transferi ve ısıtma hızı, çok kısa buhar kalma süresi, yüksek biyo-yağ verimi için buharların ve aerosolün hızlı soğutulması ve reaksiyon sıcaklığının hassas kontrolüdür (Mondal, 2021).

Hızlı piroliz elde etmenin 3 ana yöntemi vardır:

- Biyokütlenin ısıtılmış bir yüzeye bastırıldığı ve bu sırada biyokütlenin ısıtılmış yüzeyde eridiği ve arkasında buharlaşan yağ filmi bıraktığı hızla hareket ettiği ablatif piroliz.
- Isıyı bir ısı kaynağından biyokütleyle bir dönüştürme ve iletim karışımı ile aktaran akışkan yatak ve dolaşan akışkan yatak pirolizi.
- Yavaş ısıtma oranlarına sahip olan ancak piroliz ürünlerini ön sıvı ürünündeki kadar hızlı uzaklaştıran vakumlu piroliz (Bridgwater ve diğerleri, 1999).

2.10.3. Kül (flash) piroliz

Biyokütlenin pirolizinin; sıcaklık, ısıtma hızı ve kalma süresi gibi fiziksel koşullarının, ürün alanları ve bileşimi üzerinde derin bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. 650 ° C den az sıcaklıklarda ve hızlı su verme ile 10^4 K s⁻¹'e kadar yüksek ısıtma hızları, sıvı ürünlerin oluşumunu destekler, kömür ve gaz oluşumunu en aza indirir. Bu işlem koşullarına genellikle "flaş piroliz" adı verilir. 650 ° C den az sıcaklıklara kadar yüksek ısıtma hızları, sıvılar pahasına gazlı ürünlerin oluşumunu destekleme eğilimindedir. Düşük maksimum sıcaklıklarla birlikte yavaş ısıtma hızları, kömür verimini en üst düzeye çıkarır (Horne ve Williams, 1996).

Flaş piroliz, inert bir atmosferde hızlı buharlaşma, biyokütle partiküllerinin yüksek ısıtma hızı, 450 ile 1000 ° C arasındaki yüksek reaksiyon sıcaklıkları ve çok kısa gaz kalma süresi (1 saniyeden az) ile karakterize edilir. Biyokütlenin flaş pirolizinde katı ve gazlı ürünlerle birlikte yaklaşık %75 biyo-yağ üretilebilir. Bununla birlikte, bu işlem, yağın zayıf ısıl kararlılığı ve aşındırıcılığı, yağdaki katılar, kömürün katalitik etkisiyle zamanla viskozitenin

artması, kömürde konsantre alkalinin yağda çözünmesi ve üretim gibi bazı teknolojik sınırlamalara sahiptir (Mondal, 2021).

Çizelge 2.3. Piroliz prosesleri için ana işletim parametreleri aralığı (Demirbaş ve Arin, 2002).

	Konvansiyonel piroliz	Hızlı piroliz	Flaş piroliz
Piroliz sıcaklığı (K)	550-950	850-1250	1050-1300
Isıtma hızı (K / s)	0,1-1	10-200	>1000
Parçacık boyutu (mm)	5-50	<1	<0,2
Katı kalma süresi	450-550	0,5-10	<0,5

2.10.4. Pirolizin avantaj ve dezavantajları

Avantajlar:

- Yenilenebilir bir enerji şeklidir;
- Fosil yakıtlara göre daha ucuzdur;
- Geleneksel yakıtta aşırı bağımlılığı en aza indirir;
- Çevresel etkiler açısından topluma faydalı farklı ürünler yaratmak için kullanılabilir;
- Fosil yakıtlara aşırı bağımlılığı en aza indirir.

Dezavantajları:

- Doğrudan otomotiv motorlarında kullanılamaz;
- Fosil yakıtlara göre verimsizdir. (Mondal, 2021).

2.10.5. Piroliz ürünlerinin potansiyel uygulamaları

Toplamda, biyokütlenin pirolizinden elde edilen üç ana ürün vardır, yani yoğunlaşmayan gazlar, kömür ve buharlar. Ortam sıcaklığında, buharlar koyu kahverengi sıvıya yoğunlaşmıştır. Mükemmel sıcaklık, maksimum sıvı üretiminin gerçekleştiği 350 ila 500 ° C'dir (Demirbaş, 2007). Chintala ve arkadaşları tarafından yürütülen deneysel araştırmalar. Termokimyasal pirolizde termokimyasal reaksiyonların yaklaşık 350 ° C'de başlayacağını ve artan sıcaklıkla reaksiyon verimliliğinin artacağını doğruladı. Scheffler çanak kullanarak maksimum 500 ° C sıcaklığa ulaştılar. Daha yüksek sıcaklıklarda sıvıda bulunan moleküller, küçük moleküller üretmek için parçalanır ve bu da gaz halindeki fraksiyonu

zenginleştirir. Biyokütle pirolizinden kaynaklanan ürünlerin verimi aşağıdaki şekilde maksimize edilebilir:

- Kömür- düşük sıcaklık, düşük ısıtma hızı işlemi;
- Sıvı ürünler- düşük sıcaklık, yüksek ısıtma hızı, kısa gaz kalma süresi süreci;
- Yakıt gazı; yüksek sıcaklık, düşük ısıtma oranı, uzun gaz formunda kalma süreci. (Chintala, ve diğerleri, 2017).
- Piroliz ürünleri, sıvı fazda büyük miktarlarda kondens suyu üreten biyokütlerdeki su içeriğine bağlıdır. Bu, suda çözünür bileşiklerin gaz ve katran fazlarından ekstraksiyonuna ve dolayısıyla gazlı ve katı ürünlerde daha büyük bir azalmaya katkıda bulunur (Al Arni ve diğerleri, 2010).
- Piroliz biyo-yağ verimi, kullanılan biyokütle tipine, reaktör tipine ve reaktör sıcaklığına bağlı olarak %21,9 ile %75 arasında değişir.
- Üç ana ürün yani yoğunlaşmayan gazlar, kömür ve biyoyağ her tür biyokütlenin pirolizinden elde edilebilir.
- Piroliz biyo-yağı, ulaşım sektöründeki enerji talebini karşılayan içten yanmalı motorlar için alternatif yakıt olarak kullanılabilir.
- Bio-char ve yoğunlaşmayan gaz da çeşitli endüstriyel ısıtma ve güç üretimi uygulamalarında yakıt adayları olarak kullanılabilir (Mondal, 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, deneylerde kullanılan alet, ekipman ve malzemelerle birlikte deneysel ve teorik çalışmalarda kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan hammadde

Bu çalışmada yapılan sıvılaştırma deneylerin Hatay'ın İskenderun ilçesinden toplanan algler (*Chaetomorpha linum*) kullanılmış olup ham örnekleri, ürünün toplandığı kanal ve kurutma aşaması Resim 3.1 'de verilmiştir.



Resim 3.1. İskenderun ilçe merkezinde bulunan kanal

3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan alet ve düzenekler

Deneylere başlamadan önce kanaldan toplanan algler temiz su ile temizlenmiştir. Daha sonra sıvılaştırma deneylerinde kullanılabilmesi için kurutma işlemi yapılmıştır. Protherm PZF 12/60/120 model üç bölge ısıtılmalı silindirik fırında karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Karbonizasyon işleminde inert atmosfer olarak azot kullanılmıştır. Karbonizasyon işlemi için silindirik fırında çelik reaktör kullanılmıştır. Ürün ve örneklerin tartımları için hassas terazi kullanılmıştır. Katı ve sıvı numunelerin kalori değerlerini ölçmek için Resim 3.6 'da gösterilen Parr marka 6775 model kalorimetre cihazı kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Örneklerin hazırlanması

Alg numunesi, Hatay'ın İskenderun İlçesi'nde bulunan kanaldan toplanarak temin edilmiştir. Daha sonra saf su ile temizleme işlemi yapıldıktan sonra ham madde oda sıcaklığında kurutmaya bırakılmıştır. Reaktörde farklı sıcaklık ve ısıtma hızlarında karbonizasyon işlemine tabi tutulan ham madde karbonizasyon işleminden sonra kül tayini deneyi için krozelere yaklaşık 1.0 gr olacak şekilde hazırlanıp farklı ısıl işlemlere tabi tutulmuştur. Katı ve sıvı ürünlerin kalori değerlerini ölçmek için ise yaklaşık 0.5 gr örnek kullanılmıştır. Karbonizasyon işlemlerinden ayrılan numuneler öğütülerek XRD, SEM, FTIR, elementel analiz ve DTA-TGA analizleri yapılmıştır.

3.2.2. Reaktör deneyleri

Protherm PZF 12/60/120 model üç bölge ısıtmalı silindirik fırında karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. PZF serisi, yatay, dikey ya da açılı gerçekleştirilmesi gereken laboratuvar işlemlerinde kullanılabilen çoklu ısı alanı seçeneği bulunan tüp fırınlardan oluşmaktadır. Eğim açısı konfigürasyonu ve homojen ısı dağılımı sunan çalışma uzunlukları bu fırınları birçok işlem için elverişli yapmaktadır. Fırınlar, kolay değiştirilebilen çalışma tüpü ve standart ekipman seçenekleri ile sunulmaktadır. Bu fırınlar farklı uzunluktaki ısı alanlarından oluşturulabilmektedir. Karbonizasyon işleminde inert atmosfer olarak azot kullanılmış olup karbonizasyon işlemi 10,30 ve 50 °C/dakika ısıtma hızında 400, 500, 600 ve 700 °C maksimum sıcaklıklarda 1 saat tutularak gerçekleştirilmiştir. Silindirik fırında karbonizasyon için çelik reaktör kullanılmış olup çıkışa kondenser yerleştirilerek kondense edilebilir sıvı alınmıştır. Katı (char) ve sıvı miktarından gaz miktarı belirlenerek karbonizasyona ait katı, sıvı ve gaz verimleri hesaplanmıştır. Resim 3.2 'de karbonizasyon işlemi için kullanılan silindirik fırın gösterilirken; Resim 3.3. 'de ise karbonizasyon işlemi sonrasında çıkan sıvı numunelerin görsellerine yer verilmiştir.



Resim 3.2. Karbonizasyon işleminin yapıldığı silindirik fırın



Resim 3.3. Karbonizasyon sırasında çıkan sıvı numuneler



Resim 3.4. Farklı ısıtma hızı ve sıcaklığa maruz bırakılmış numuneler

3.2.3. Kül tayini

Katı yakıtın yanması sonucu geride kalan maddenin ağırlığının yanma öncesi orijinal halindeki ağırlığına oranıdır. Kül oluşumu istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle düşük kül oranına sahip yakıtlar tercih edilir. Bu çalışmada yapılan kül tayini BS 1016'da verilen yöntemle yapılmıştır. Farklı sıcaklık ve ısıtma hızlarında karbonizasyon işlemi yapılan Chaetomorpha Linum (alg) numuneleri yaklaşık 1.0 gr olacak şekilde hasas terazide tartılıp, krozelere yerleştirilmiştir. Resim 3.5 'de görseli olan kül fırınında numune 650 °C ve 850 °C 'de yakılarak sabit tartıma getirilmiştir. Numunenin kül miktarı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Kullanılan kül fırının markası Protherm PLF serisidir. PLF serisi uzun yıllardır güvenilir bir şekilde profesyonel kamara fırını olarak laboratuvarlarda kullanılmaktadır. Birçok farklı seçeneği bulunan, tuğla ve fiber izolasyon elementleri kullanılarak üretilen PLF serisi, genel ısı işlemleri için kullanılacak en ideal seçenektir.

$$\%Kül = \frac{a}{m} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

a: Kül miktarı, (g)

m: Örnek ağırlığı, (g)



Resim 3.5. Kül tayinin yapıldığı fırın ve numuneler

3.2.4. Kalorifik değer

Hammadde ve ürünlerin kalorifik (ısı) değerlerinin belirlenmesi kalorimetre bombası kullanılarak deneyler yapılmıştır. Küvete yaklaşık 0,5 gr numune koyularak küvet cihaza yerleştirilip ve 10 cm uzunluğunda tel kullanılmıştır. Tel numuneye temas edecek şekilde konumlandırılmış olup kalorimetre bombası kapatılarak oksijen gazı basılıp cihaza yerleştirildi. Analizler, İnönü Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Parr marka 6775 model kalorimetre cihazı ile yapılmıştır. Cihaz kapalı ortamda ısı giriş- çıkışın olmadığı adyabatik sistem ile çalışmaktadır.

Alt ısı değer: Alt ısı değer, yakıtın en kötü koşullarda yanmasıyla elde edilebilecek en düşük ısı değeridir. Alt ısı değerinin bulunabilmesi için, su buharının kalorimetre cihazından yoğunlaşmadan çekilmesi gerekmektedir.

$$H_n = 1.8 \times H_g - 91.23 \times H \quad (3.2)$$

Burada:

H_n : Alt ısı değer (kalori/gram)

H_g : Üst ısı değer (kalori/gram)

H : Hidrojen (%)

Üst ısı değer: Üst ısı değer, bir yakıtın yakılmasıyla elde edilebilecek en yüksek ısı değeridir. Yakıtın yanması sonrasında ortaya çıkan gazların içerisindeki su buharının, soğuma esnasında tamamen yoğunlaşmasıyla saptanmaktadır.

$$H_g = \frac{\Delta t \times W - e1}{M_0} \quad (3.3)$$

Burada:

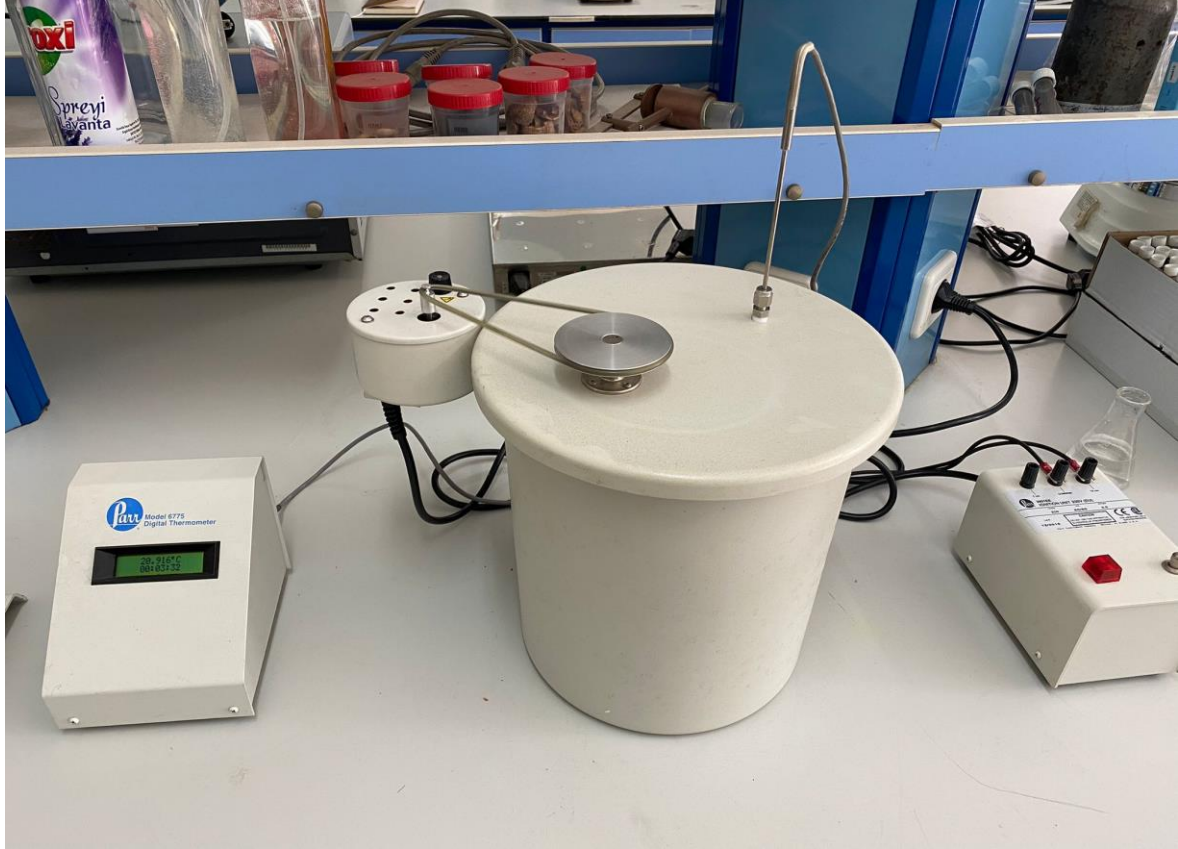
$$\Delta t = T_{max} - T_{yakma}$$

W : Suyun

$e1$: Yanan telin uzunluğu

M_0 : Hammadde kütlesi

Alt ve üst ısıl değer arasındaki fark: Yakıtın içerdiği hidrojen elementiyle ilgilidir. Yakıtın içerdiği hidrojen miktarı azaldıkça alt ve üst ısıl değer arasındaki fark azalırken, hidrojen miktarı artmasıyla bu fark artmaktadır (Balcı 2020).



Resim 3.6. Parr marka 6775 model kalorimetre cihazı

3.2.5. Elementel analiz

Elementel Analiz Cihazı, katı, sıvı veya gaz örneklerde bulunan anorganik ve organik maddelerin yapısında bulunan Karbon (C), Hidrojen (H), Azot (N) ve Kükürt (S) 'ün aynı anda tayinine yönelik bir cihazdır. Hem hammaddenin hem de farklı sıcaklık ve ısıtma hızlarında işlem görmüş numunelerin analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde (İBTAM) yapıldı. C, H, N ve S yüzdeleri toplamının 100 'den çıkarılmasıyla oksijen "O" miktarı da hesaplanmıştır.

$$\%O = 100 - (\%C + \%H + \%N + \%S) \quad (3.4)$$

Karbon elementi miktarı: Karbon oranının fazlalığı yanıcılığı arttıran faktörlerden biridir.

Kükürt elementi miktarı: Kükürt elementi yanma sonucunda bazı sera gazlarını açığa çıkardığı için yanıcı maddenin kükürt oranının düşük olması istenen bir durumdur.

Hidrojen elementi miktarı: Hidrojen elementi, ısı enerjisi arttıran bir elementtir. Ancak hidrojen, uçucu madde oranının artmasına neden olur, hidrojen elementi esas olarak oksijen, elementi ile birlikte bulunduğu su oluşumuna neden olduğu için yakıtın kalorifik değerini düşürür. Bu nedenle hidrojen elementinin yüzdesi azaldıkça, yakıt kalitesi artmaktadır. Bu nedenle, hidrojen elementinin düşük olması gerekmektedir.

Oksijen elementi miktarı: Oksijen elementi oranı arttıkça, yakıtın verimi düşmektedir.

Azot elementi miktarı: Azot elementi, sera gazı olan NO_x gazlarının yanma sonucunda açığa çıkmasına neden olur. Bu nedenle, yanıcı maddenin azot oranının düşük olması istenen bir durumdur (Caillat ve Vakkilainen 2013).

3.2.6. XRD analizi

X-ışını difraksiyonu, malzemelerin kristalografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini sağlayan analiz yöntemidir. Toz numunelere uygulanan X-ışını difraksiyonu sonucu kristal yapısının yanı sıra, tane boyutu kırılma gibi özellikler belirlenebilir. X-ışını kırınım yöntemi (XRD), her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristal faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar.

Başlangıç maddeleri ve sıvılaştırma sonucunda elde edilmiş kalıntı, asfalt ve preasfaltların kristal yapılarını tespit etmek için X-ışını toz kırınım yöntemi kullanılmıştır.

X-ışınları toz kırınım desenleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde (İBTAM) Rigaku Miniflex 600 bilgisayar kontrollü X-ışını difraktometresi ile CuK α ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$) kaynağı kullanılarak elde edilmiştir. Taramalar $10^\circ < 2\theta < 80^\circ$ aralığında 0,1 derece steple, dakikada 6 derecelik hızla kaydedilmiştir.

3.2.7. SEM analizi

SEM analizi, bir numunenin yüzey topografyasının karmaşık, yüksek büyütülmüş görüntülerini üretmek için odaklanmış bir elektron demeti kullanan güçlü bir araştırma aracıdır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 'da yüksek enerjili elektronlar numune ile etkileşerek elektron ve foton sinyalleri oluşturur.

Farklı açılarda saçılan elektronlar, dedektör (algılayıcı) tarafından toplanır ve toplanan sinyallerin mikroskop yazılımı ile işlenmesi sonucunda görüntüler elde edilir. Başlangıç maddelerinin morfolojik özellikleri ile XRD ve FTIR analizlerini desteklemek amacıyla İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde bulunan LEO marka EVO-40 cihazı kullanılmış ve değişik büyütme oranlarında SEM fotoğrafları alınmıştır.

3.2.8. FTIR analizi

Katı, sıvı ve çözelti halindeki organik bileşiklerin yapılarındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığı belirlenebilir. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), bir tür titreşim spektroskopisidir. FTIR matematiksel Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen bir kimyasal analitik yöntemdir.

3.2.9. TGA – DTA -- DSC analizi

TGA' a materyalin sıcaklık ile kütle kaybı ilişkisini saptar. Bu kayıp örneğin bozulduğunu veya buharlaştığını gösterir. Ağırlık kaybının olmadığı sıcaklık aralığını (veya aralıklarını) da gösterir. Bu da materyalin kararlı olduğu durumu ifade eder. Belli bir sıcaklıkla ısıtılan örneğin TGA ile belirlenen ağırlık kaybı bilgisi, bir bileşiğin bileşimini belirleme ve bozulma sırasındaki reaksiyonları izleme kolaylığı sağlar. Karışımdaki belirli bir bileşiğin yüzdesinin bulunmasını da sağlar. Termogravimetri, genel olarak malzemelerde sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kaybı ve/veya kazanımlarının belirlenmesinde kullanılır. Deney numunesi, sabit ısıtma hızında ısıtılır ve kütle değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülüp kaydedilir.

TG analizinde ağırlık değişimleri sıcaklığın fonksiyonu olarak (mg veya % ağırlık) kaydedilebildiği gibi, dw/dt olarak da kaydedilebilir. Bu durumda yapılan analiz DTG (diferansiyel termal gravimetre) analizidir. Diferansiyel termal analiz (DTA), hal değişimi veya kimyasal reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerji değişimlerinin belirlenmesinde yaygın olarak termal analiz yöntemlerinden bir tanesidir. DTA yöntemi, ısıtma veya soğutma sırasında, numune ve referans malzeme arasındaki sıcaklık farkı ölçümüne dayanır.

DTA ve DSC birbirine çok benzer yöntemlerdir. DSC ile DTA arasındaki fark numune ile referans arasındaki sıcaklığı aynı tutmak için numuneye ya da referansa ısı verilmesidir. Daha çok entalpi gibi enerji dönüşümlerinde DSC tercih edilir.

TGA / DTA eşzamanlı bir tekniktir. Numunenin ağırlık değişimi ve referans ile arasındaki sıcaklık farkı kontrollü bir sıcaklık programı kullanılarak ölçülür. Bir malzemenin sıcaklık artışı ile bünyesinde meydana gelen termal ve gravimetrik değişimleri belirlemekte kullanılır.

Kısacası: TG, sıcaklık değişimine bağlı olarak ağırlıkta oluşan değişiklikleri belirlemek için kullanılır. DTA, faz değişikliklerini belirlemek için kullanılır. DSC, faz değişikliklerinde kantitatif verileri kullanarak elde edilir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Karbonizasyon Deney Sonuçları

Çizelge 4.1. Karbonizasyon deneyi

Numune	% Katı	% Sıvı	% Gaz
400 °C - 10 °C / dk ısıtma hızında	73,76	4,22	22,02
500 °C - 10 °C / dk ısıtma hızında	72,03	6,35	21,62
600 °C - 10 °C / dk ısıtma hızında	67,97	2,86	29,19
700 °C - 10 °C / dk ısıtma hızında	66,02	1,05	32,93
400 °C - 30 °C / dk ısıtma hızında	73,79	4,45	21,77
500 °C - 30 °C / dk ısıtma hızında	74,32	6,12	19,56
600 °C - 30 °C / dk ısıtma hızında	72,84	1,72	25,45
700 °C - 30 °C / dk ısıtma hızında	72,57	1,13	26,30
500 °C - 50 °C / dk ısıtma hızında	73,29	1,67	25,04
600 °C - 50 °C / dk ısıtma hızında	66,12	0,51	33,37
700 °C - 50 °C / dk ısıtma hızında	73,66	1,17	25,17

Çizelge 4.1. 'deki karbonizasyon işlemi sonucu elde edilen katı (çar), sıvı ve gaz verimleri incelendiğinde katı veriminin tüm karbonizasyon koşullarında yüksek olduğu, sıvı veriminin düşük olduğu ve gaz veriminin yüksek olduğu görülmektedir. Katı veriminin yüksek olması orijinal hammaddenin kül içeriğinin yüksek olması yanında yosunun organik makromoleküler yapısının çok fazla makromoleküler birimlere sahip olmaması ile açıklanabilir. Nitekim sıvı verimin düşük olması bu görüşü desteklemektedir. Lignoselülozik yapıya sahip sert kabukların karbonizasyonunda sıvı verimin ortalama %25 olduğu düşünülürse bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Gaz verimi yosunun yapısında mevcut birimlerin küçük makromoleküler birimler halinde bulunduğunu ve/veya daha büyük makromoleküler birimlerin sıcaklık etkisiyle çok küçük birimlere dönüşerek gaz fazda yapıyı terk ettiklerini göstermektedir. Artan sıcaklık ve ısıtma hızı ile genel olarak gaz verimi artması yukarıdaki görüşü desteklemektedir.

4.2. Kül Tayini Deney Sonuçları

Çizelge 4.2. Kül tayini deneyi

Numune	650 °C sıcaklıkta % kül	850 °C sıcaklıkta % kül
400 °C (10 °C /dk. ısıtma hızında)	71,73	57,53
500 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)	75,25	56,33
600 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)	74,62	56,74
700 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)	82,09	61,44
400 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)	78,09	56,19
500 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)	80,55	56,81
600 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)	81,55	54,37
700 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)	82,86	60,95
500 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)	81,73	52,88
600 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)	78,00	53,00
700 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)	77,45	59,80
Ham madde	48,88	38,99

Çizelge 4.2.'daki tüm örneklerin kül değerleri incelendiğinde 650°C sıcaklıkta düşük 850°C sıcaklıkta düşük kül değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Farklı iki sıcaklıkta kül değeri elde edilmesi biyokütlelerin karbonizasyonu ve yakıt olarak kullanılabilirliği açısından önem taşımaktadır. Düşük sıcaklık karbonizasyon için önemli olurken yüksek sıcaklık yakma işlemi için önemlidir. Ayrıca yüksek sıcaklık tam yanmanın gerçekleştiği sıcaklık olarak da kabul edilmektedir. Hammaddeye nazaran 650°C sıcaklıktaki kül verileri %46,74-69,52 aralığında zenginleştiğini göstermektedir. 850°C sıcaklıkta ise %35,62-57,58 aralığında zenginleşme söz konusudur.

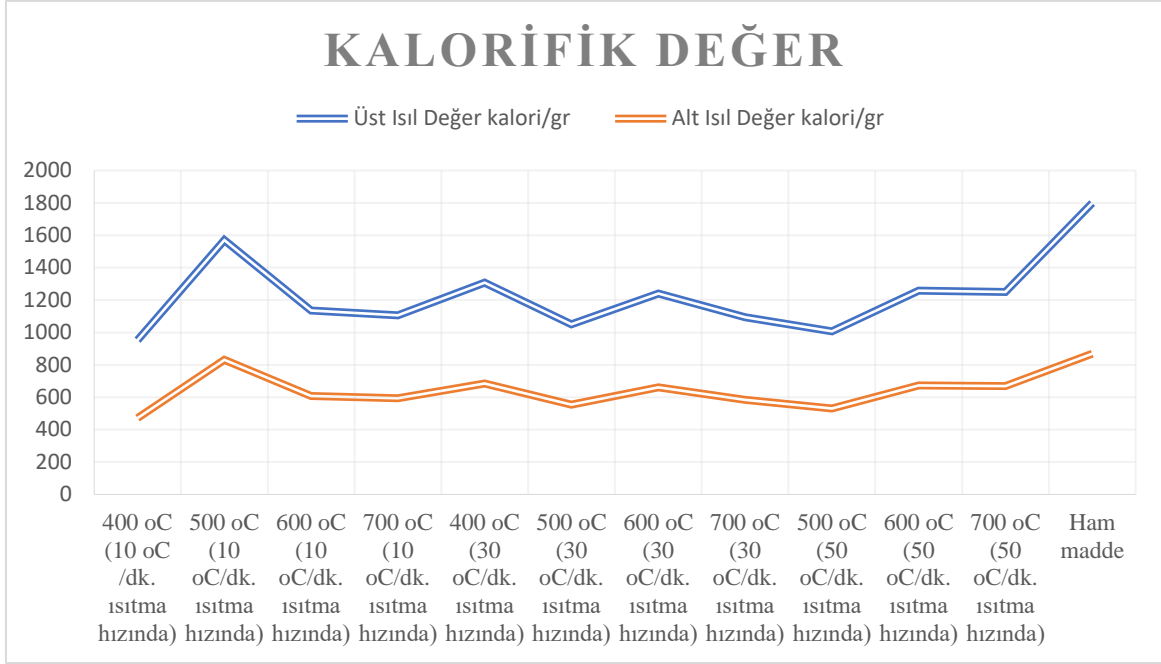
4.3. Kalorifik Değer Deney Sonuçları

Çizelge 4.3.Farklı sıcaklık ve ısıtma hızından oluşan katı formdaki numunelerin ısı değerleri.

Karbonize Katı	Üst Isıl Değer kalori/gr (kt)	Alt Isıl Değer kalori/gr (kt)	Üst Isıl Değer kalori/gr (kt)
400 °C (10 °C /dk. ısıtma hızında)	952,57	471,59	3370
500 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)	1569,77	831,35	6343
600 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)	1135,96	606,86	4476
700 °C (10 °C/dk. ısıtma hızında)	1106,63	594,42	6179
400 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)	1306,75	683,81	7296
500 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)	1049,86	555,13	5398
600 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)	1240,76	661,34	6725
700 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında)	1093,04	584,03	6377
500 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)	1007,77	529,82	5516
600 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)	1258,16	672,57	5719
700 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında)	1250,90	668,03	5547
Ham madde	1798,88	868,72	3519

kt:kuru temel

Çizelge 4.3. incelendiğinde ham örneğin üst ısıl değerlerinin linyitlerin ortalamasının altında olduğu görülmektedir. Karbonizasyon işlemi sonucu artan sıcaklık ve ısıtma hızı ile artış olduğu görülmektedir. Külsüz kuru temelde üst ısıl değerleri incelendiğinde sıcaklık arttıkça ve ısıtma hızı arttıkça üst ısıl değer düşüğü görülmektedir. Katı sıvı ve gaz verimi ile karşılaştırıldığında bu durum beklenen bir sonuçtur. Gaz verimi yüksek çıktığı için katı çar verimi azaldığından ısıl değer düşük kalmıştır.

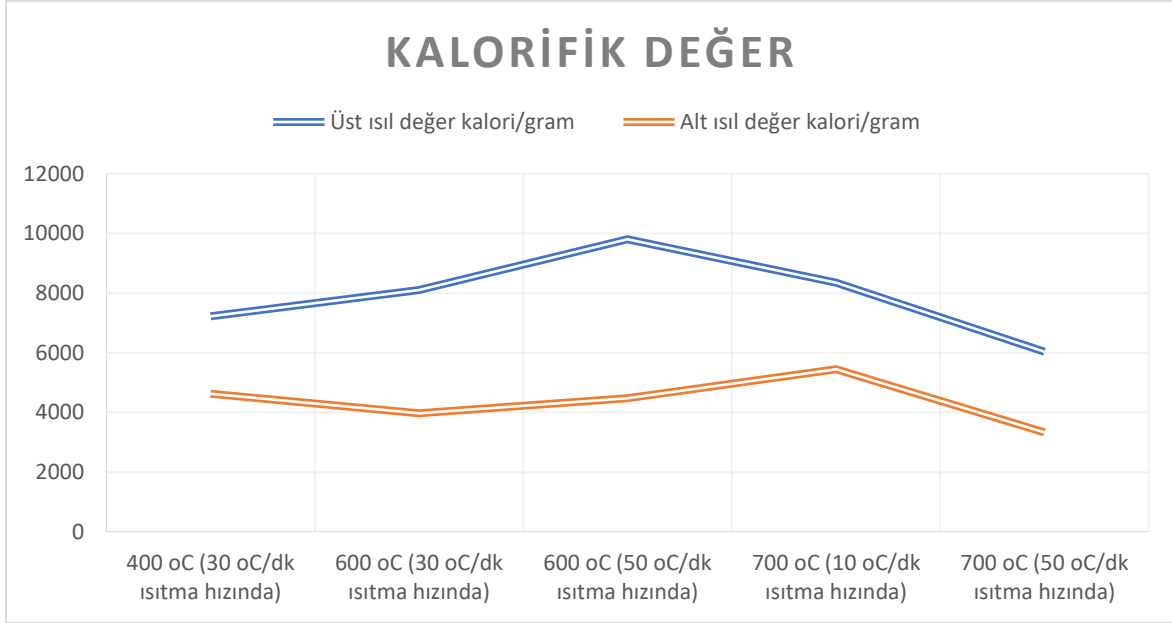


Şekil 4.1. Farklı sıcaklık ve ısıtma hızından oluşan katı formdaki numunelerin kalori değerleri

Çizelge 4.4. Farklı sıcaklık ve ısıtma hızından oluşan sıvı formdaki numunelerin ısı değerleri

Piroliz Sıvısı	Üst Isıl Değer kalori/gr	Alt Isıl Değer kalori/gr
400 °C (30 °C /dk ısıtma hızında)	7228,33	4624,89
600 °C (30 °C /dk ısıtma hızında)	8112,84	3973,57
600 °C (50 °C /dk ısıtma hızında)	9853,16	4479,15
700 °C (10 °C /dk ısıtma hızında)	8361,49	5447,57
700 °C (50 °C /dk ısıtma hızında)	6042,26	3329,89

Piroliz sıvılarına ait sonuçlar kıyaslandığında üst ısı değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Piroliz işlemi sonucu elde edilen kondense olan sıvı fraksiyon suyu uzaklaştırıldıktan sonra katranımsı bir görünüm kazanmış olup üst ısı değerinin yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.2. Farklı sıcaklık ve ısıtma hızından oluşan sıvı formdaki numunelerin kalori değerleri

4.4. Numunelerin Analiz Sonuçları

Bu çalışmada hammadde olan Chaetomorpha Linum Yosunu ve karbonizasyon ürünlerinin karakterizasyonları aşağıda verilmiştir. Hammaddenin kurutma işlemi Resim 4.1. de verilmiştir.



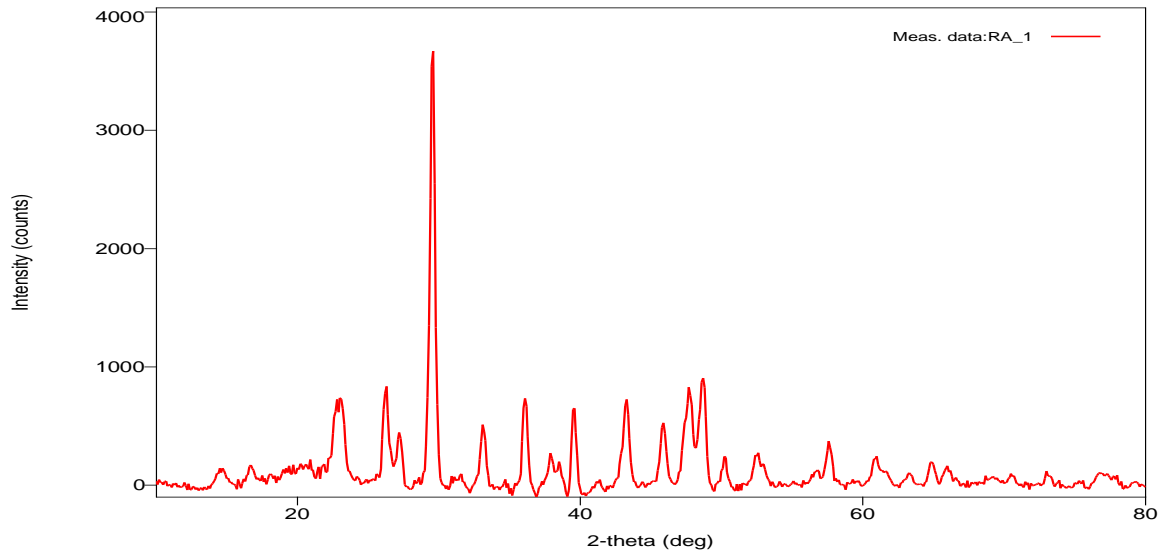
Resim 4.1. Chaetomorpha Linum yosunu (RA-1 Evresi) hammaddeye ait görsel

Hava sıcaklığında ve serme usulü ile açık atmosferde kurutulmuş olan Chaetomorpha Linum hammaddesi RA-1 numunesi olarak kodlanmıştır. Kurutma işlemi hava sıcaklığında ve gerçekleştirilmiş olup, işleme ilişkin görsele Resim 4.2.' de yer verilmektedir.



Resim 4.2. Hava sıcaklığı şartlarında serme usulü gerçekleştirilen Chaetomorpha Linum kurutma işlemi

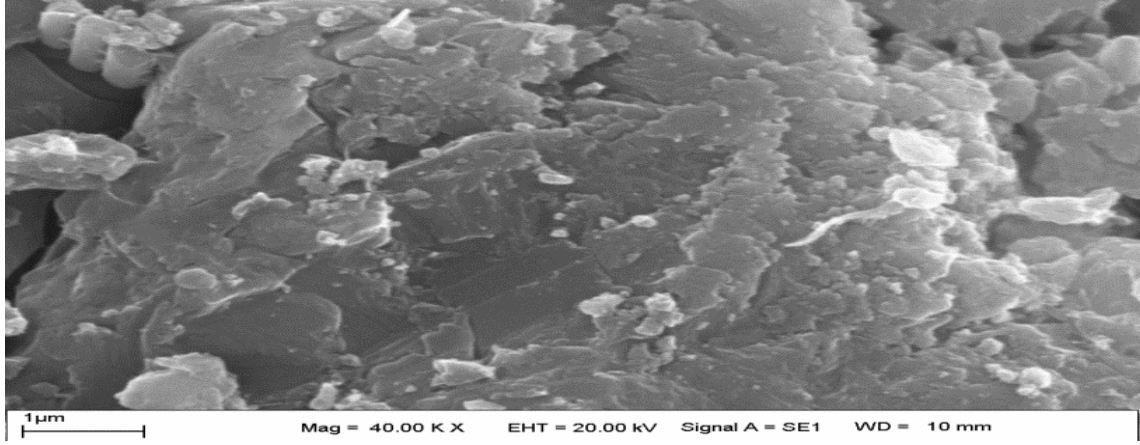
RA-1 hammaddeye ait XRD grafiği Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.3. RA-1 hammadde numunesinin XRD grafiği.

Şekil 4.3. incelendiğinde ham örneğin büyük oranda kristalin yapıya sahip olduğu görülmektedir. Hammaddenin inorganik yapılarca zengin olduğu görülmektedir. İnorganik yapı olarak kalsit büyük oranda yapıda yer almaktadır. Nitekim hammaddenin kül oranı 650°C sıcaklıkta %48,88 ‘dir.

Ham numuneye ait SEM görüntüsü Resim 4.3.’de verilmiştir.

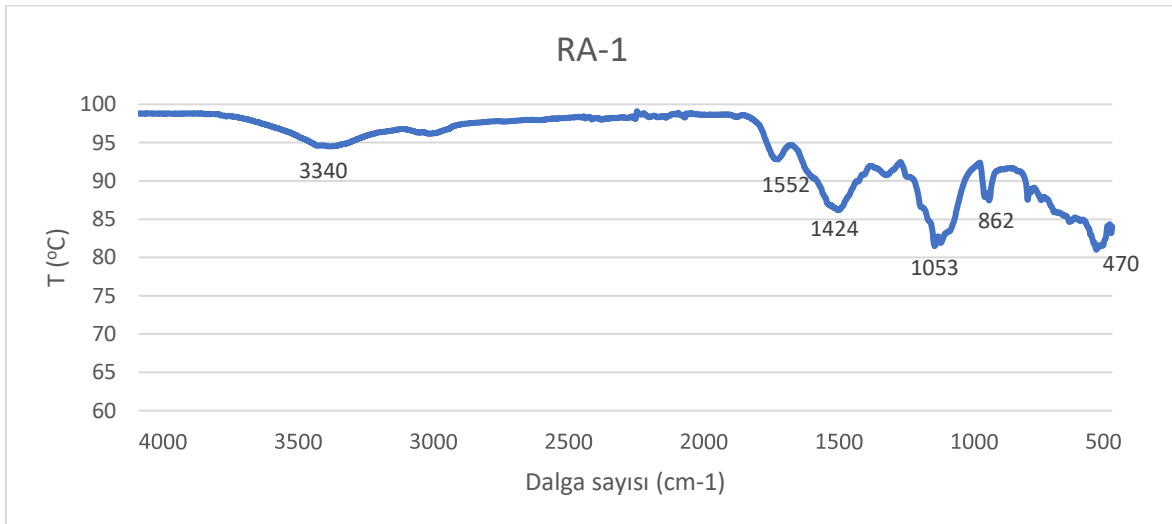


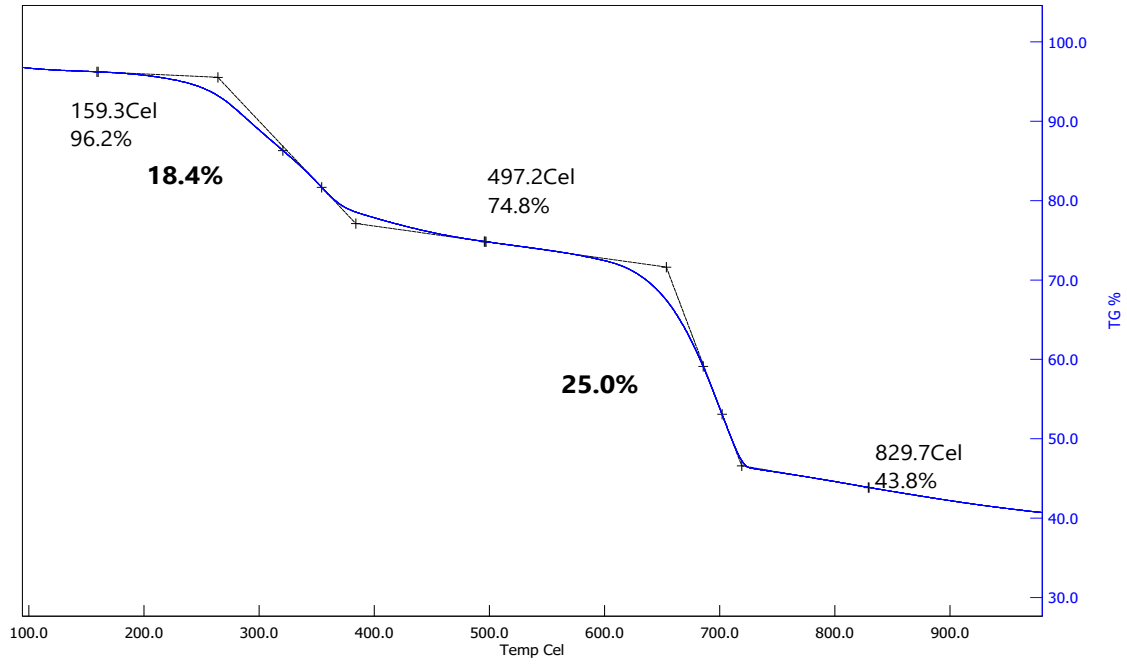
Resim 4.3. Karbonize RA-1 numunesinin SEM görüntüsü

Resim 4.3. incelendiğinde kurutulmuş ham örneğin oldukça homojen yüzey morfolojisi gösterdiği görülmektedir. Ana yapı gri görümlü tabakasal bir yapı gösterirken inorganik bileşenler yüzeyde gelişigüzel dağılım göstermektedir. Yosunun su içerisinde oluştuğu düşünüldüğünde yüzeyde bulunan suyun buharlaşması sonucu suyun içerisindeki başta kalsit olmak üzere yüzeyde tabakalar üzerinde ve arasında kristallenmiştir.

RA-1 ham maddenin FTIR analizi Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 2900 cm^{-1} civarında alifatik C-H gerilmeleri açıkça görülmektedir. 3000-3500 cm^{-1} aralığındaki geniş band selülozik yapıdaki -OH gerilmeleri yanında suya ait -OH gerilmelerine de aittir. Yapısı gereği hammadde kurutulmuş olsa da havadaki nemi hidrojen bağı ile bağlaması mümkündür. 1424 cm^{-1} 'deki pik selülozik yapıdaki -CH₂ gerilmesine aittir. 1053 cm^{-1} civarındaki geniş pik -C-O- yanında inorganik M-O-M yapılarına da aittir.

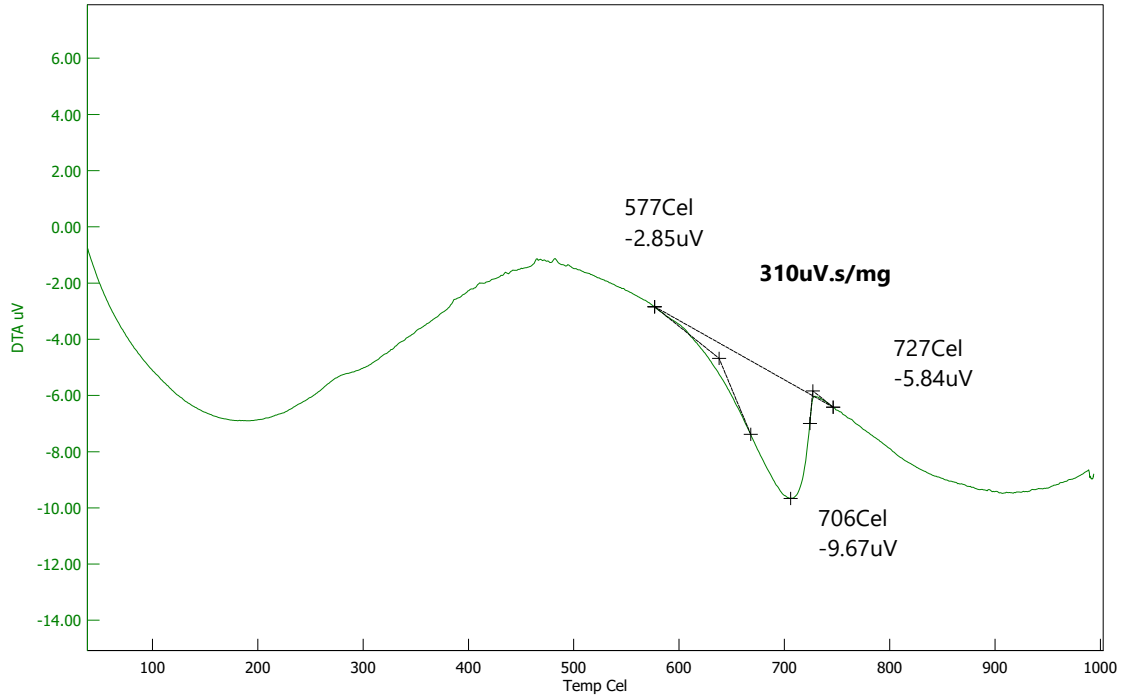
Çizelge 4.5. RA-1 Numunesine ait FTIR Analizi sonucu.



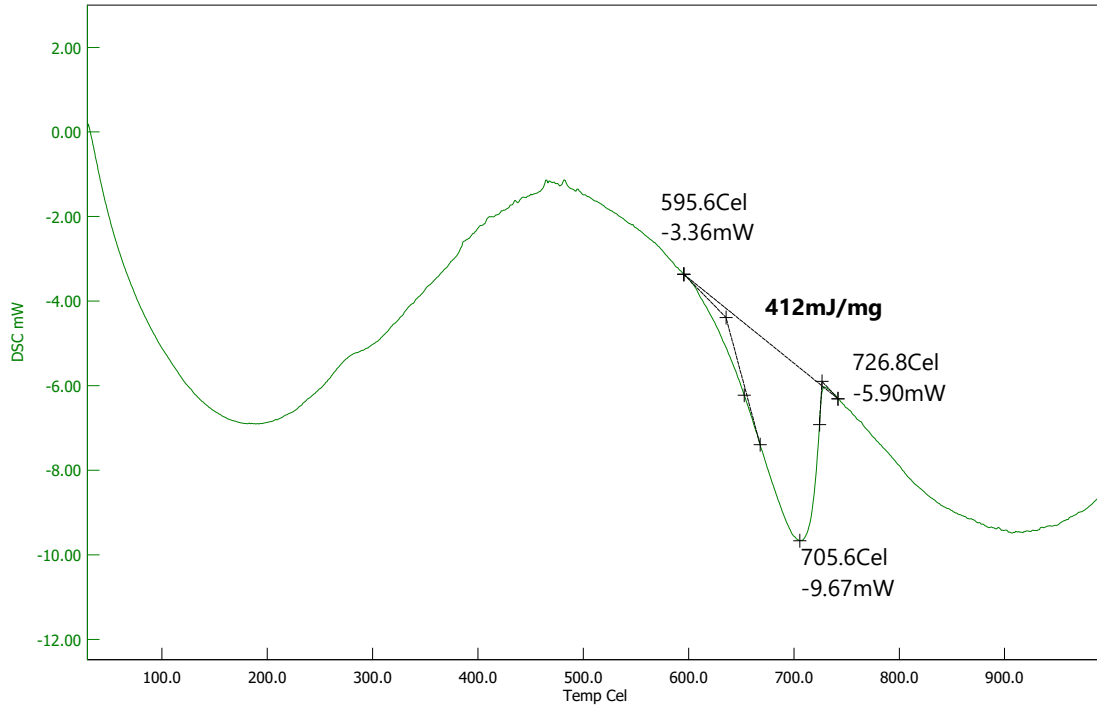


Şekil 4.4. RA-1 numunesine ait TGA sonuçları

Şekil incelendiğinde hammaddenin iki farklı kütle kaybı eğrisi gösterdiği görülmektedir. Bu durum hammadde içerisinde farklı makromoleküler grupların mevcut olduğunu göstermektedir.

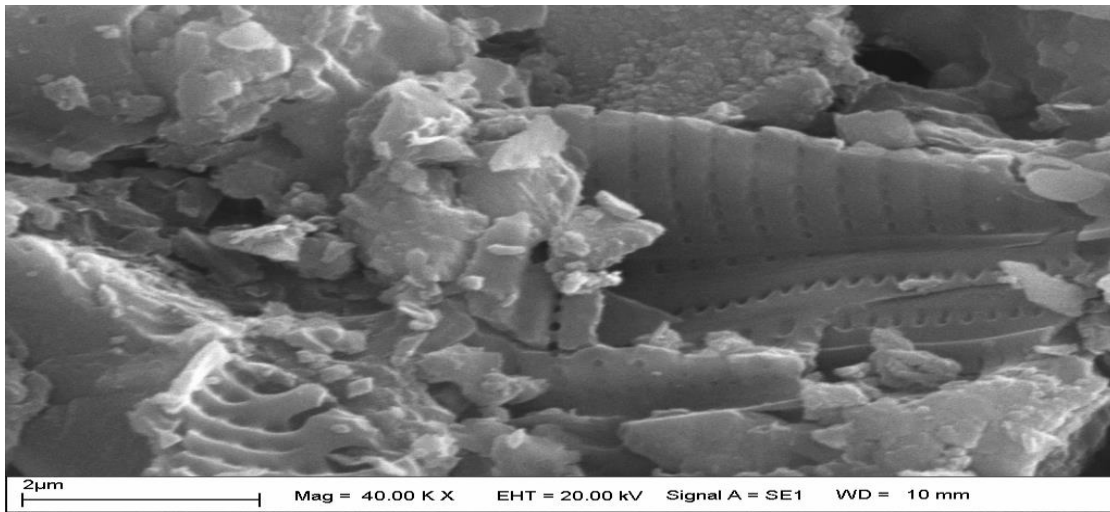


Şekil 4.5. RA-1 numunesine ait DTA sonuçları



Şekil 4.6. RA-1 numunesine ait DSC sonuçları

Ham örneğin DTA ve DSC eğrileri incelendiğinde her iki analiz sonucu birbirinin benzeri olup 180 °C civarındaki geniş endotermik pik yapıdaki suyun uzaklaşmasına aittir. Bunun devamında 500°C pik maksimumuna ait geniş band hammadde içerisindeki selülozik yapının bozunmasına aittir. Bu geniş pik yapı içerisinde farklı makromoleküler birimlerin varlığı ile açıklanabilir.

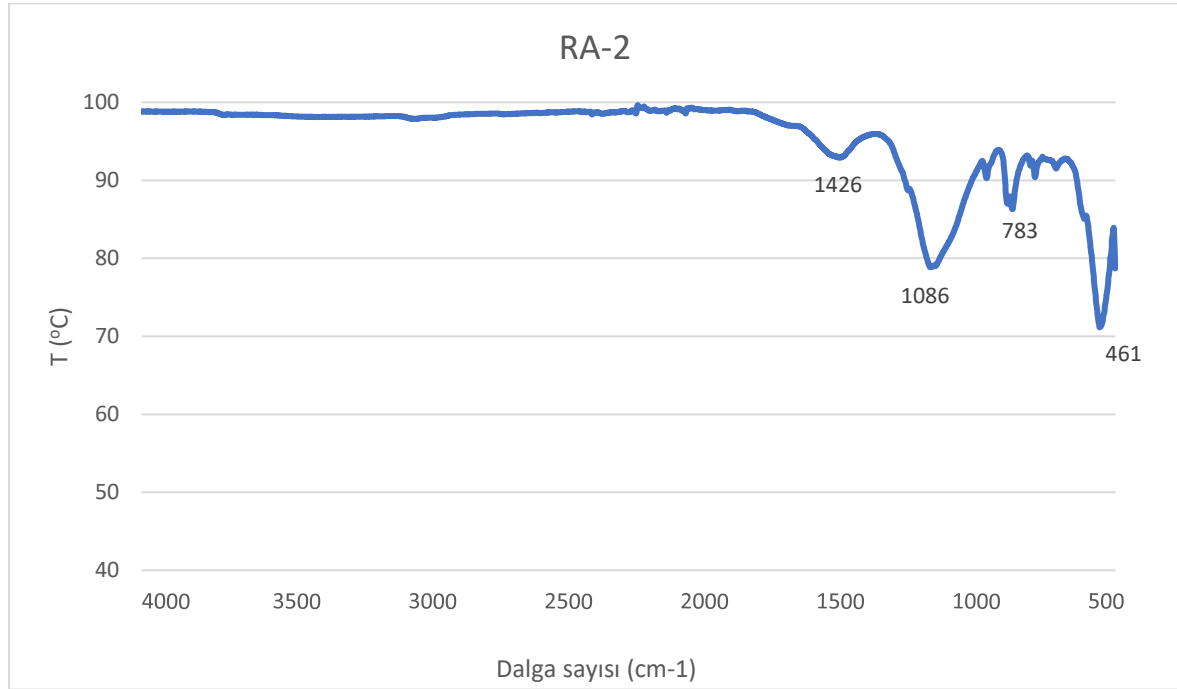


Resim 4.4. Karbonize RA-2 numunesinin SEM görüntüsü

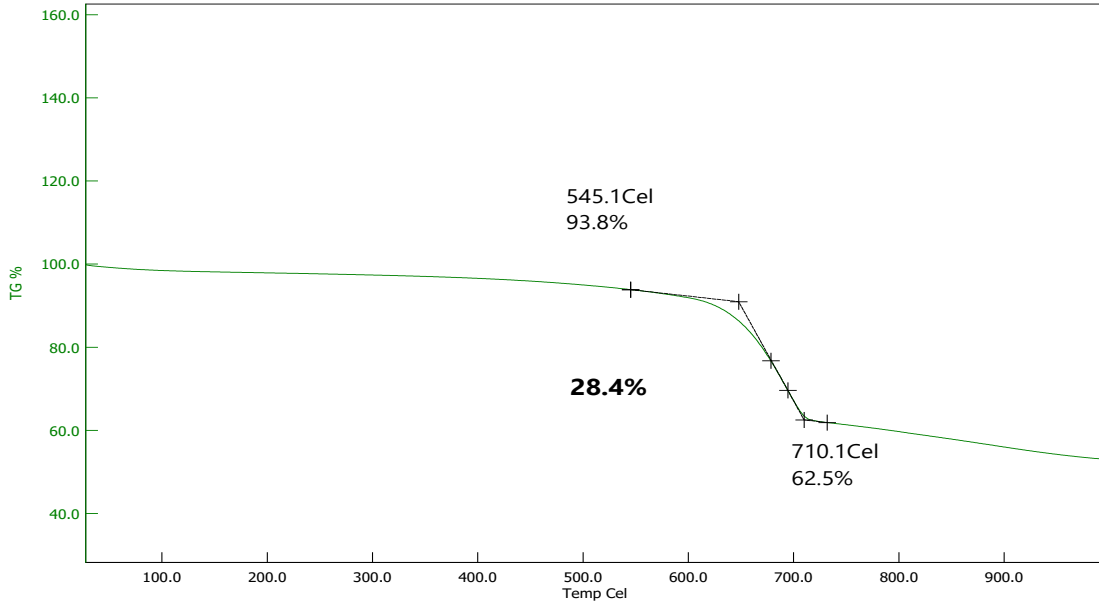
Resim 4.4. incelendiğinde ısıl işlem sonucu yapı içerisindeki küçük grupların ayrılması sonucu biyolojik iletim hatları açıkça görülmektedir. Ayrıca yapıdaki inorganik birimler farklı büyüklüklerde yer almaktadır.

RA-2 Numunesinde FTIR analizine dair çıktılara ise Çizelge 4.6.' da yer verilmiştir.

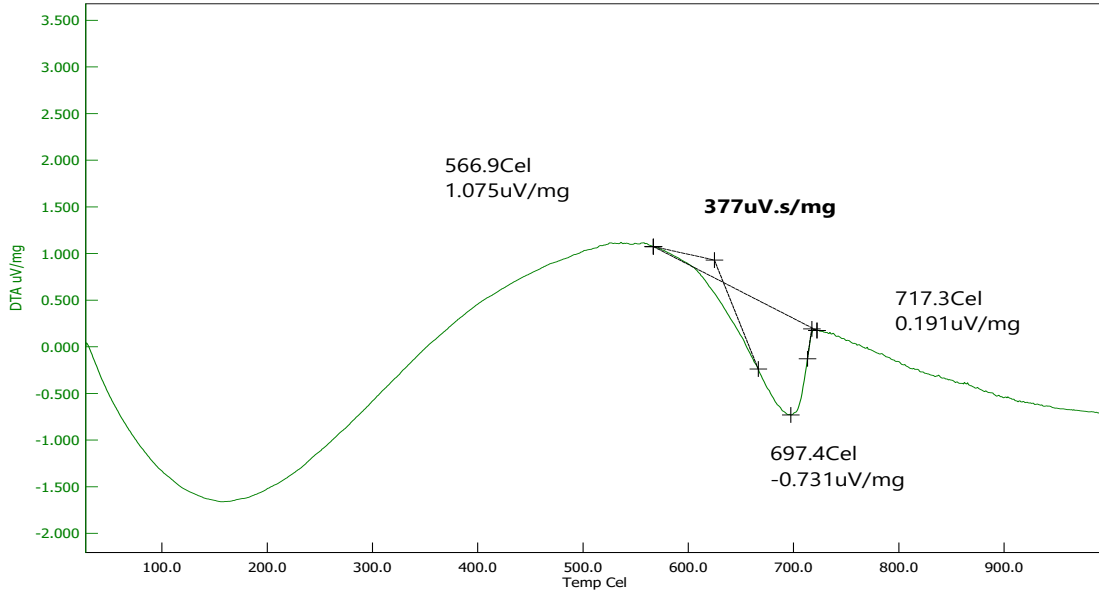
Çizelge 4.6. RA-2 Numunesine ait FTIR Analizi sonucu.



Çizelge 4.6. incelendiğinde ısıl işlem sonucu -OH gerilmelerinin kaybolduğu görülmektedir. Belirgin bir şekilde ortaya çıkan 1086 cm-1 deki yaygın pik ağırlıklı olarak M-O-M yapıları yanında 1030 cm-1 bölgesinde görülen organik C-O yapılarının da varlığını göstermektedir. Nitekim söz konusu örneğin yüksek kül oranı düşünüldüğünde bu durum beklenen bir sonuçtur.



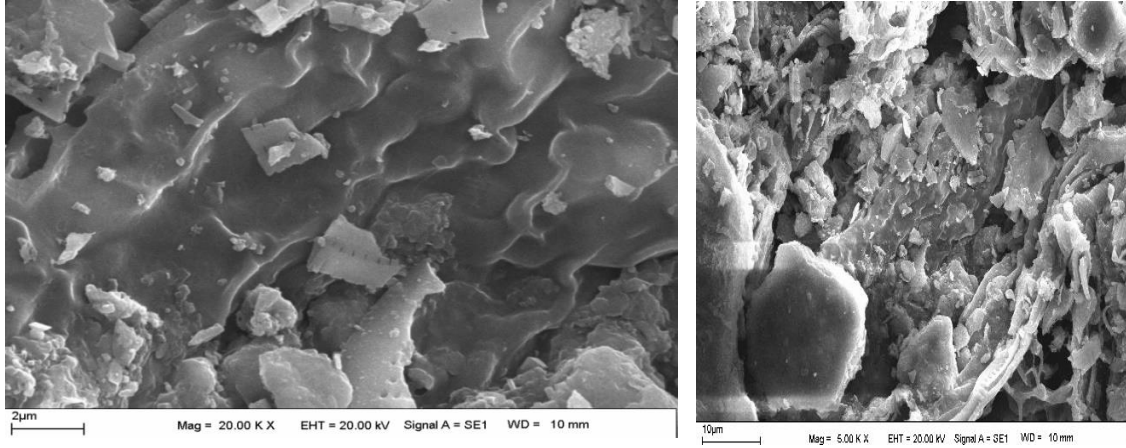
Şekil 4.7. RA-2 numunesine ait TGA sonuçları



Şekil 4.8. RA-2 numunesine ait DTA sonuçları

Şekil 4.7. ve 4.8. incelendiğinde ham numuneye göre ısıl işlem sonucu organik yapının büyük oranda sıvı ve gaz ürünlere dönüşmesi sonucu daha kararlı ve yüksek sıcaklıkta bozunabilen organik yapının kaldığını göstermektedir. TGA grafiğinden de görüldüğü gibi ısıl işlem sonucu yapıda kalan organik makromoleküler yapının yaklaşık 545°C sıcaklıkta bozulmaya başladığı ve 710°C sıcaklıkta tamamlandığı görülmektedir.

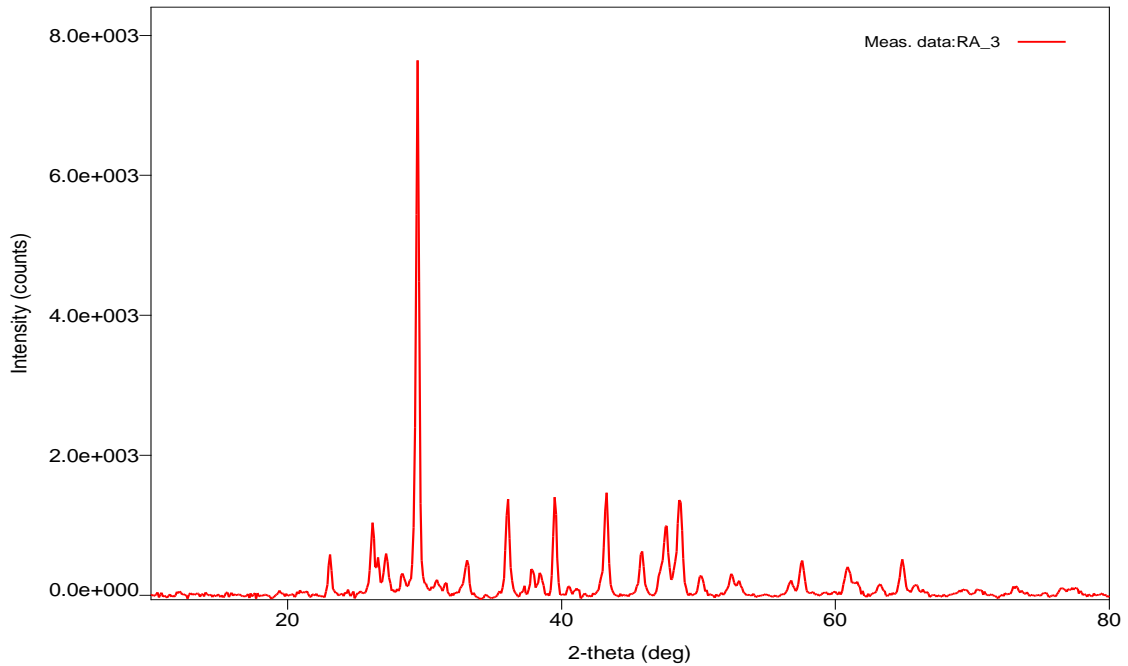
Bu durum karbonizasyon sonucu hammadde yapısında oldukça kararlı organik makromoleküler yapının oluştuğunu göstermektedir.



Resim 4.5. Karbonize RA-3 numunesinin SEM görüntüsü

Resim 4.5. RA-3 numunesinin SEM görüntüsü incelendiğinde karbonizasyonda ısıtma hızı arttığında yüzeyde oldukça homojen yapılanma olduğu görülmektedir.

Artan ısıtma hızında organik yapıdaki küçük birimlerin hızla ayrılmaktadır. Bunun sonucu yapıdaki düzenlenmede çok hızlı olmaktadır. Organik tek faz yapı dışında inorganik birimler yüzeyde farklı büyüklüklerde dağılım göstermektedirler. Yüzey morfolojisi amorf görünmekle beraber XRD sonucu söz konusu örnekteki yapıların kristalin yapıda olduğunu göstermektedir.

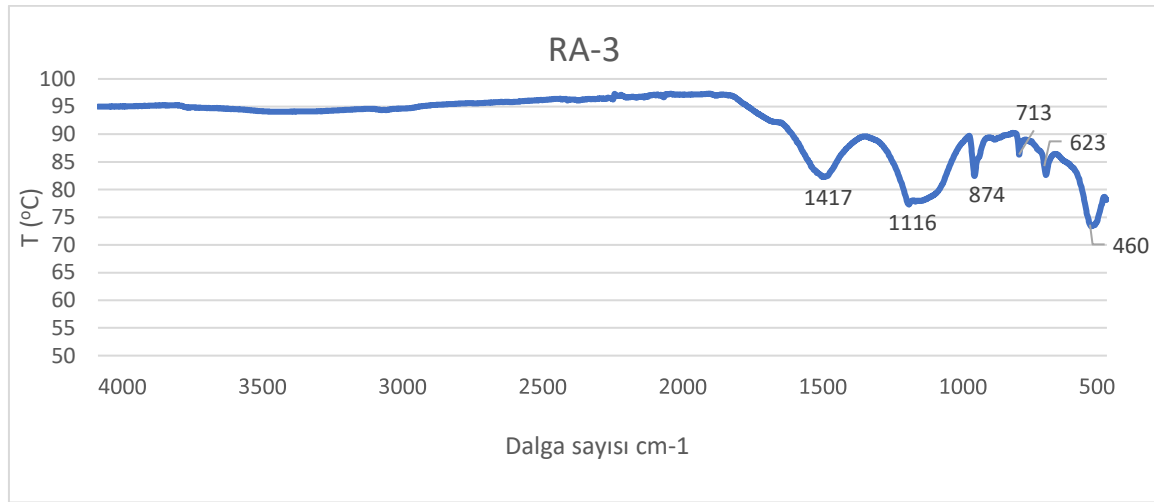


Şekil 4.9. RA-3 numunesinin XRD grafiği.

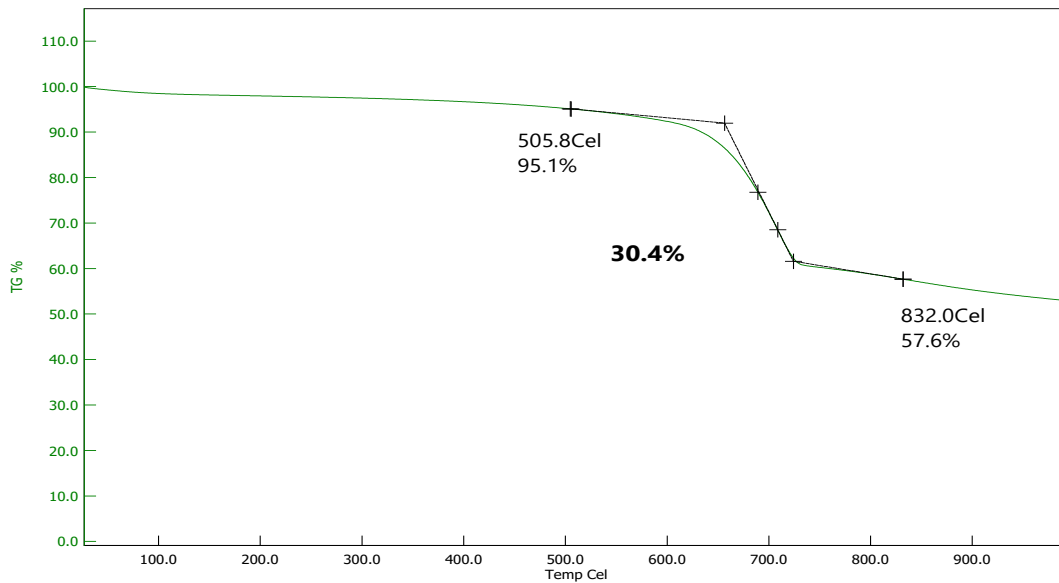
Şekil 4.9. incelendiğinde genel olarak RA-2 numunesi ile büyük oranda benzerlik göstermektedir. Kalsit mineraline ait pikler açık bir şekilde görülmektedir. 25-35 2 teta arasında organik yapıya ait çok düşük şiddette de olsa amorf yapıların varlığı görülmektedir.

Chaetomorpha linum'un RA-3 numunesine ait FTIR analizi sonuçlarına ise Çizelge 4.7.' de yer verilmektedir.

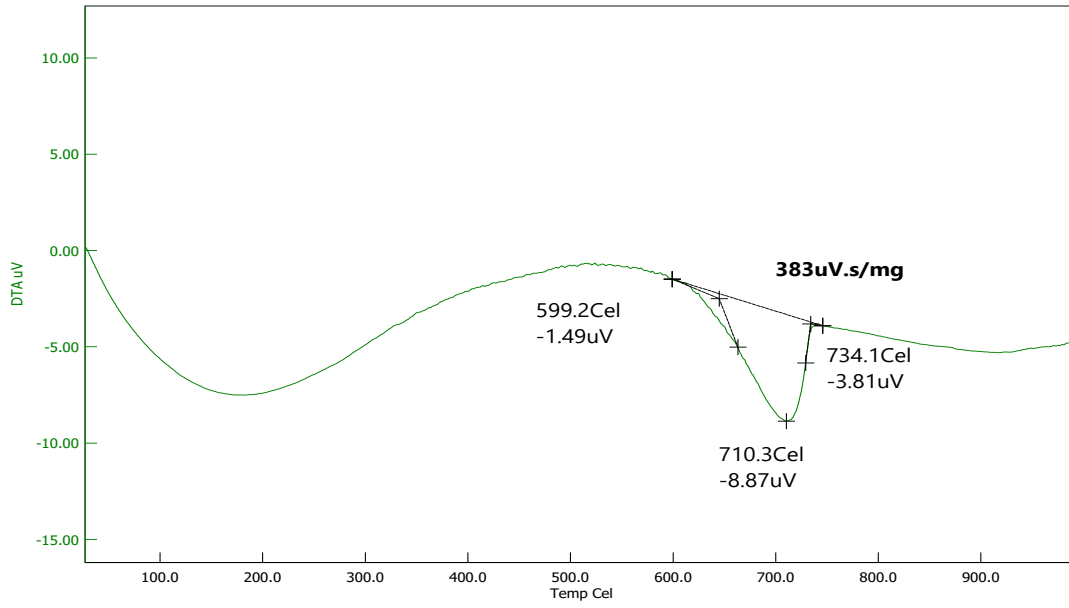
Çizelge 4.7. RA-3 numunesine ait FTIR analizi sonucu



Çizelge 4.7. incelendiğinde yüksek ısıtma hızında –OH gerilmelerinin büyük oranda kaybolduğu buna karşın artan kül miktarına bağlı olarak 900-1100 bölgesinde ki pikin daha da genişlediği ve pik minimumunun daha yüksek dalga boyuna kayması inorganik yapıların yüksek oranda yapıda yer aldığını göstermektedir.

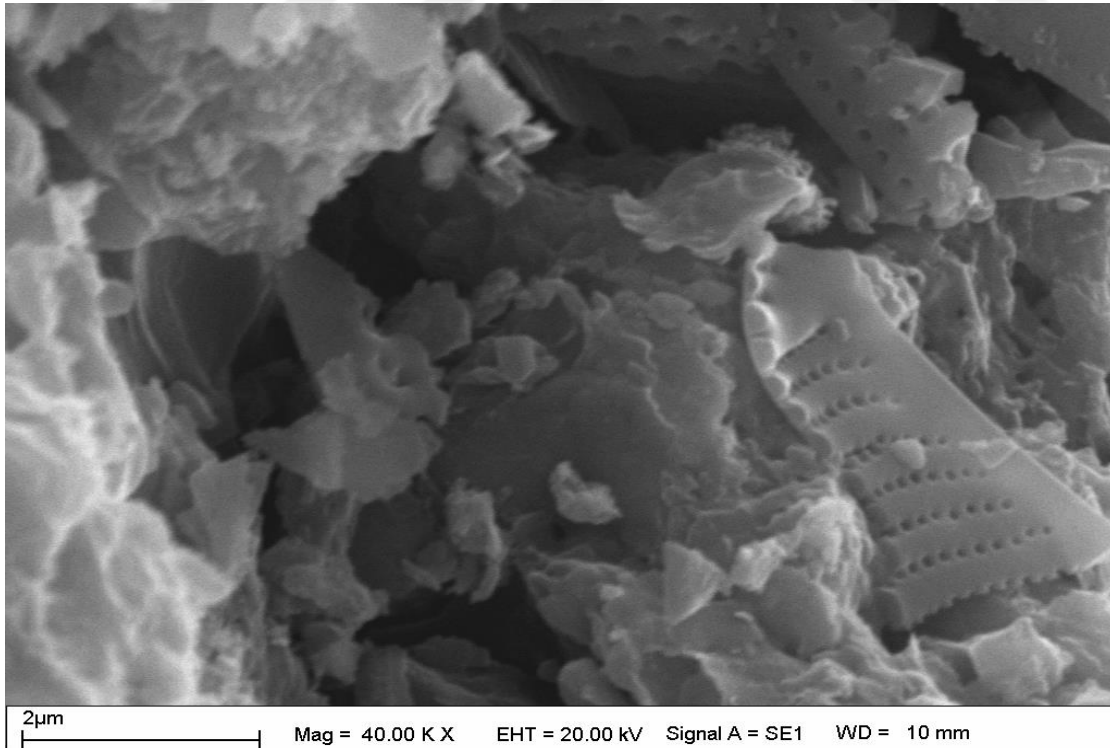


Şekil 4.10. RA-3 numunesine ait TGA sonuçları

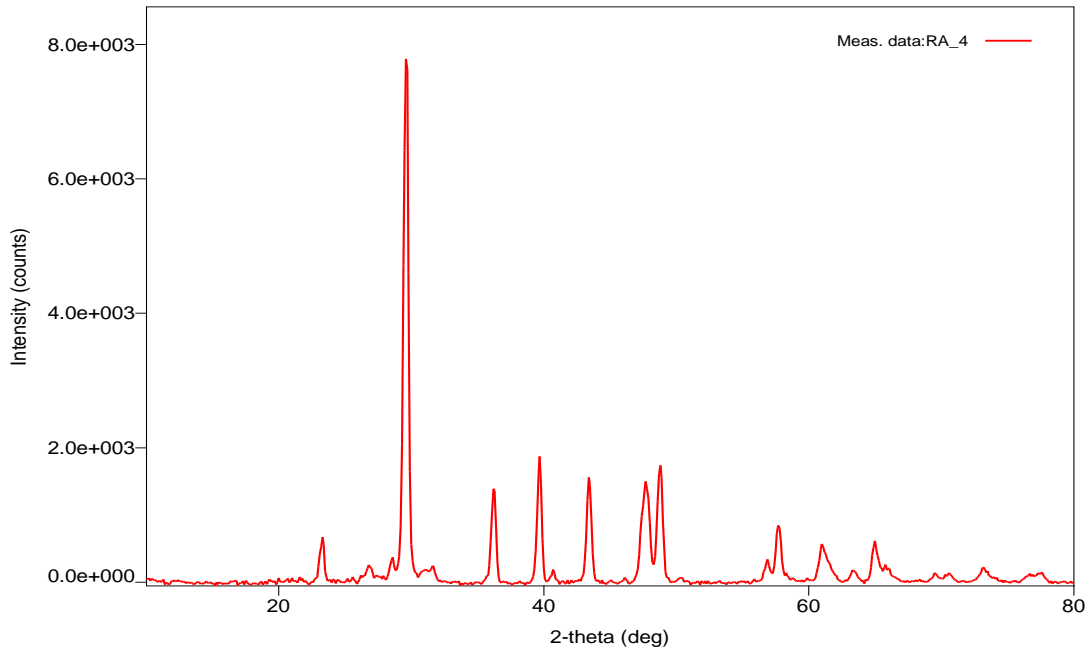


Şekil 4.11. RA-3 numunesine ait DTA sonuçları

Şekil 4.10. ve 4.11. incelendiğinde artan ısıtma hızında kütle kaybının 505-832°C sıcaklık aralığında gerçekleştiği görülmektedir. RA-2 örneği ile kıyaslandığında yüksek ısıtma hızında yapısal kararlılığın arttığı ifade edilebilir.



Resim 4.6. Karbonize RA-4 numunesinin SEM görüntüsü.



Şekil 4.12. RA-4 numunesinin XRD grafiği.

RA-4 Numune grubu, FTIR analizine Çizelge 4.8.' de yer verilmektedir.

Çizelge 4.8. RA-4 numunesine ait FTIR analizi sonucu



RA-2 ve RA-4 FTIR analizi karşılaştırıldığında görülecektir ki arada küçük bir kırılım farkı bulunmaktadır. Bu kırılım farkı için elementel analizleri karşılaştığında (Çizelge 4.9.' de bu

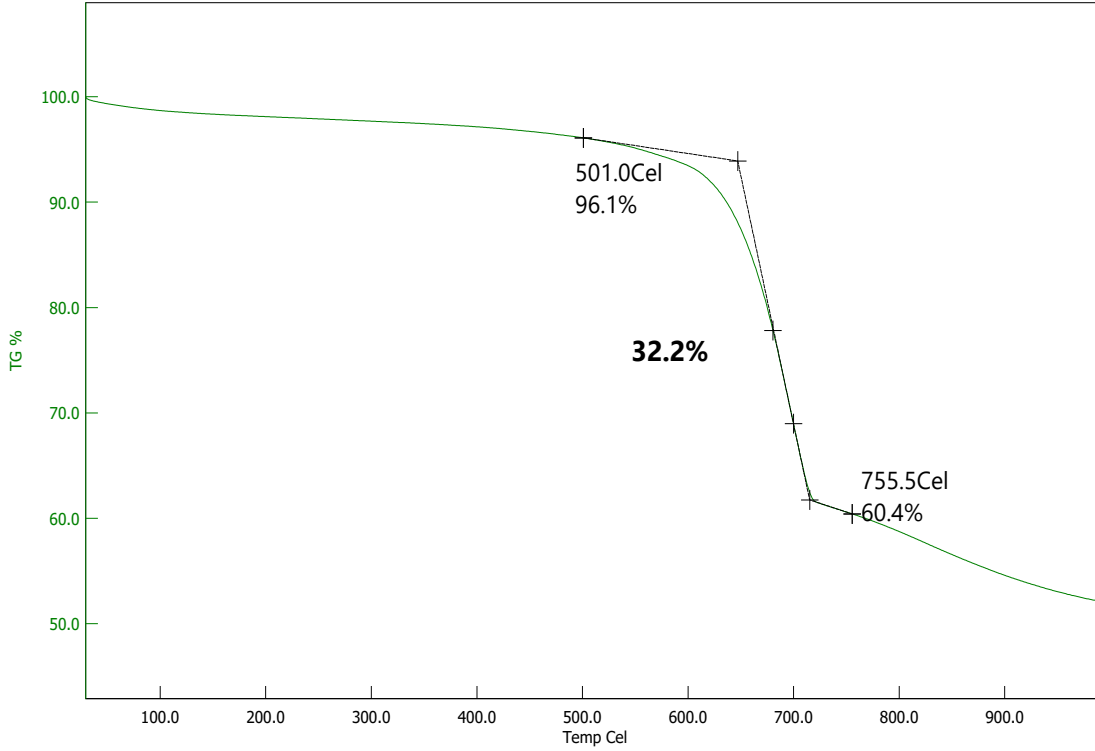
bilgiye yer verilmiştir). RA-2 numune grubunda, RA-4 numune grubuna göre ürün üzerinde Kükürt oranı daha düşükken RA-4 grubunda bu değerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kırılmalık yapısı, RA-4 grubunun maruz bırakıldığı sıcaklıkla kükürt oranını artırarak kırılmalık bir yapı alması ile sonuçlandığını göstermektedir.

Çizelge 4.9. RA-2 ve RA-4 örneklerinin elementel analizi sonuçları. (Kuru temel)

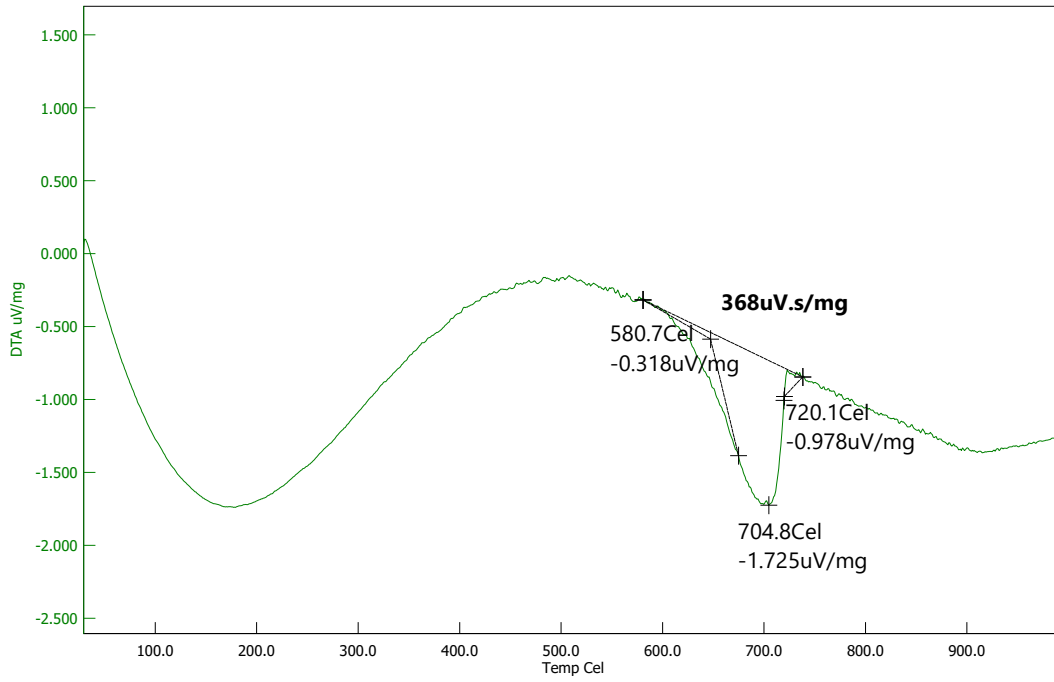
Numune Kodu	%C	%H	%N	%S	%O*
RA-2	18.72	1.137	1.214	0.648	78,281
RA-4	18.45	0.804	1.112	0.654	78,980

*: Farktan hesaplanmıştır.

SEM analizinde görüleceği üzere RA-4'te magnezyum kalsit yapısı yönünden RA-2 numunesine benzemesine rağmen FTIR analizi molekül ayrışması daha yüksek ve daha kırılmalık bir durumdadır.

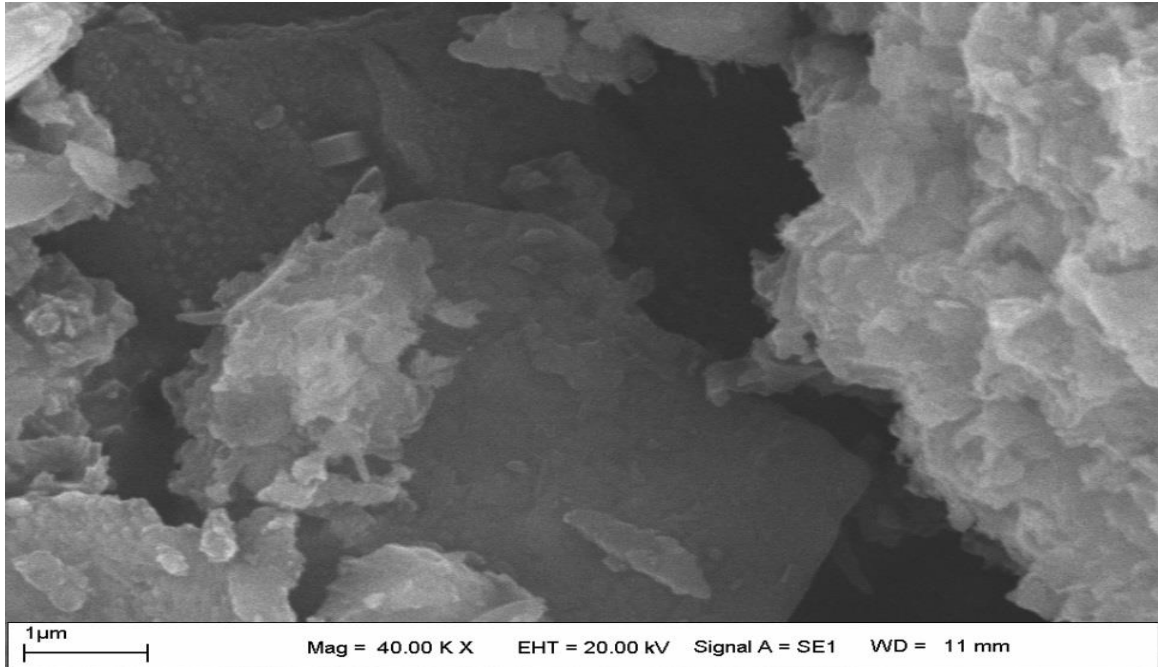


Şekil 4.13. RA-4 numunesine ait TGA sonuçları



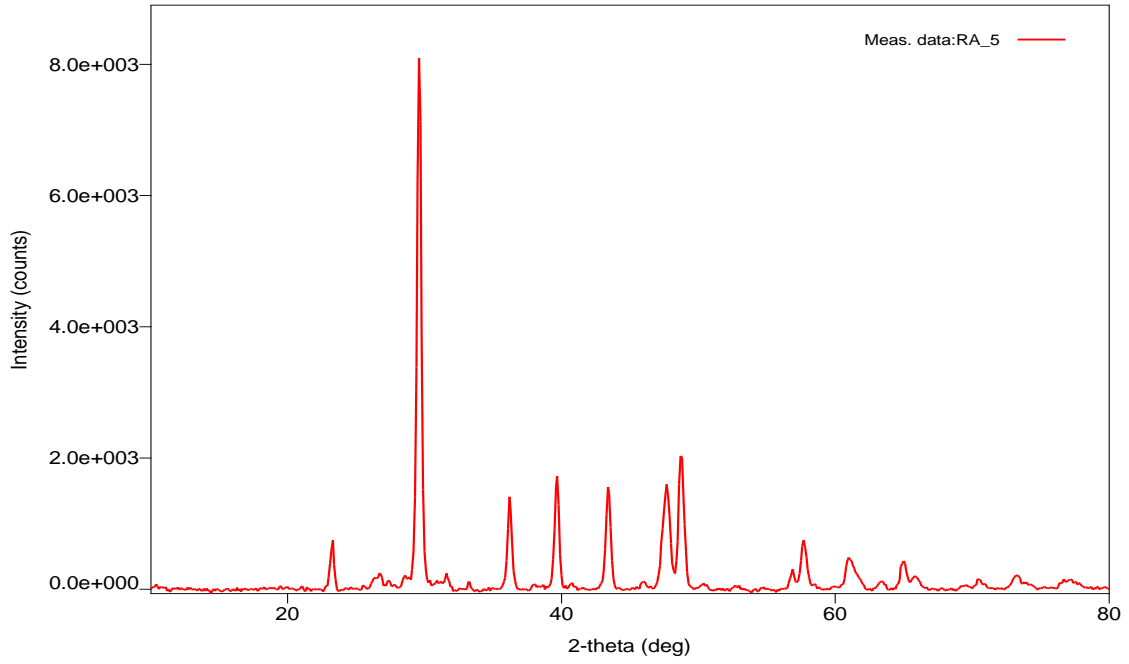
Şekil 4.14. RA-4 numunesine ait DTA sonuçları

RA-5 numunesinin analizi ise şu şekildedir:



Resim 4.7. Karbonize RA-5 numunesinin SEM görüntüsü

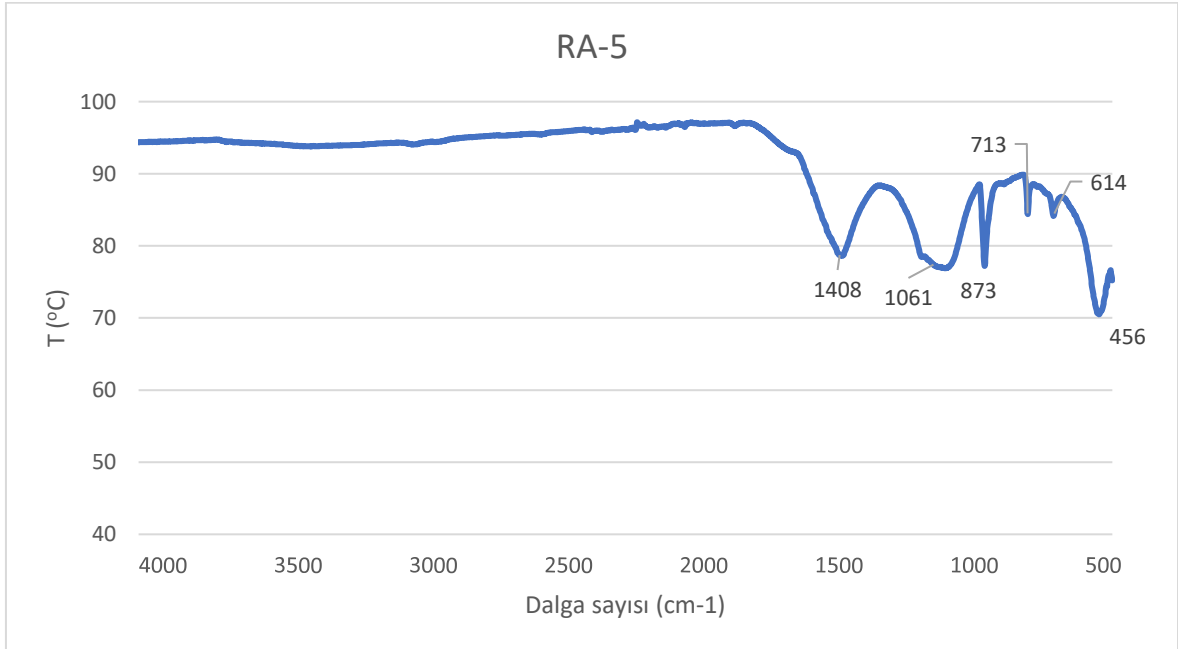
RA-5 numunesi calcite, magnesian içeren bir yapısalığa bürünmüş ve tamamen kristalize bir görüntü sunmaktadır. Şekil 4.15.' de bu kristalize yapının grafiğine yer verilmektedir.

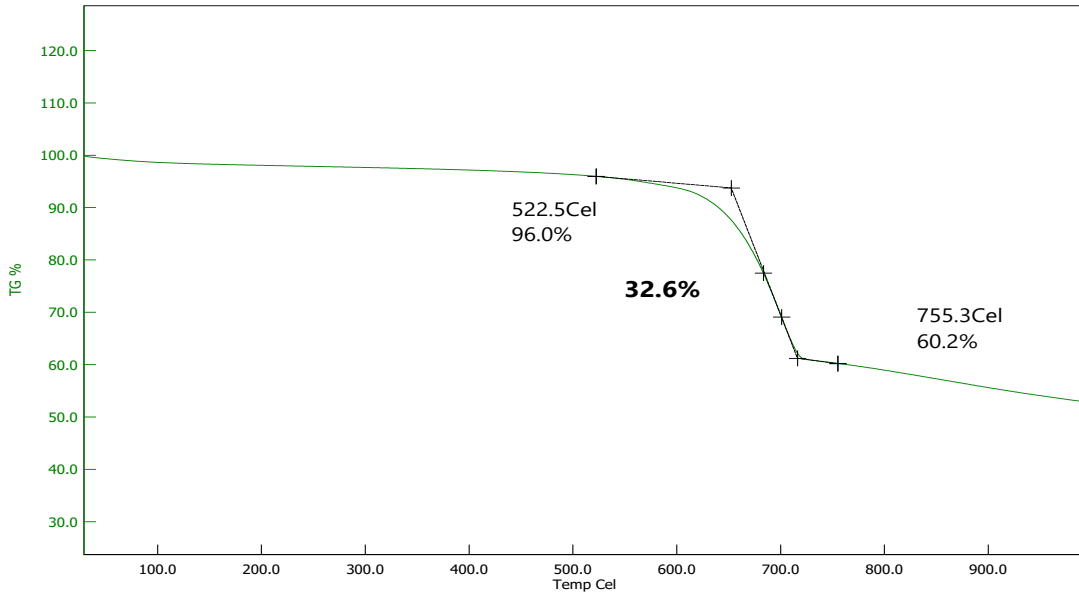


Şekil 4.15. RA-5 numunesinin XRD grafiği.

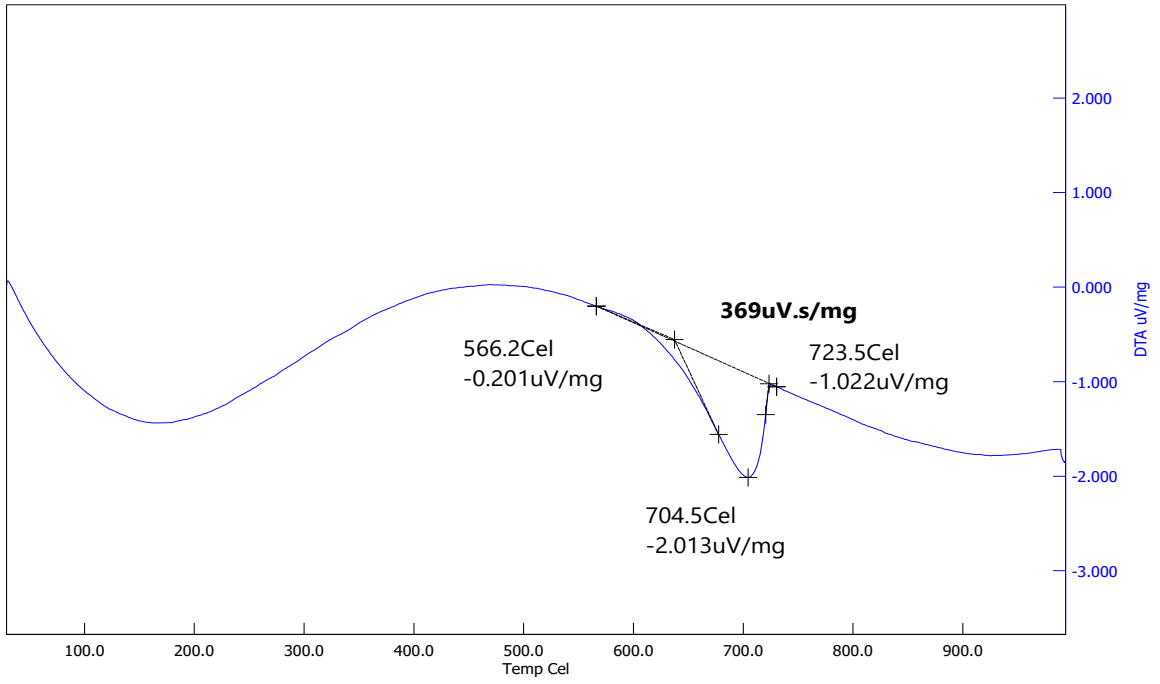
FTIR analizinden de bu kırılma yapı okunur haldedir

Çizelge 4.10. RA-5 numunesine ait FTIR analizi sonucu

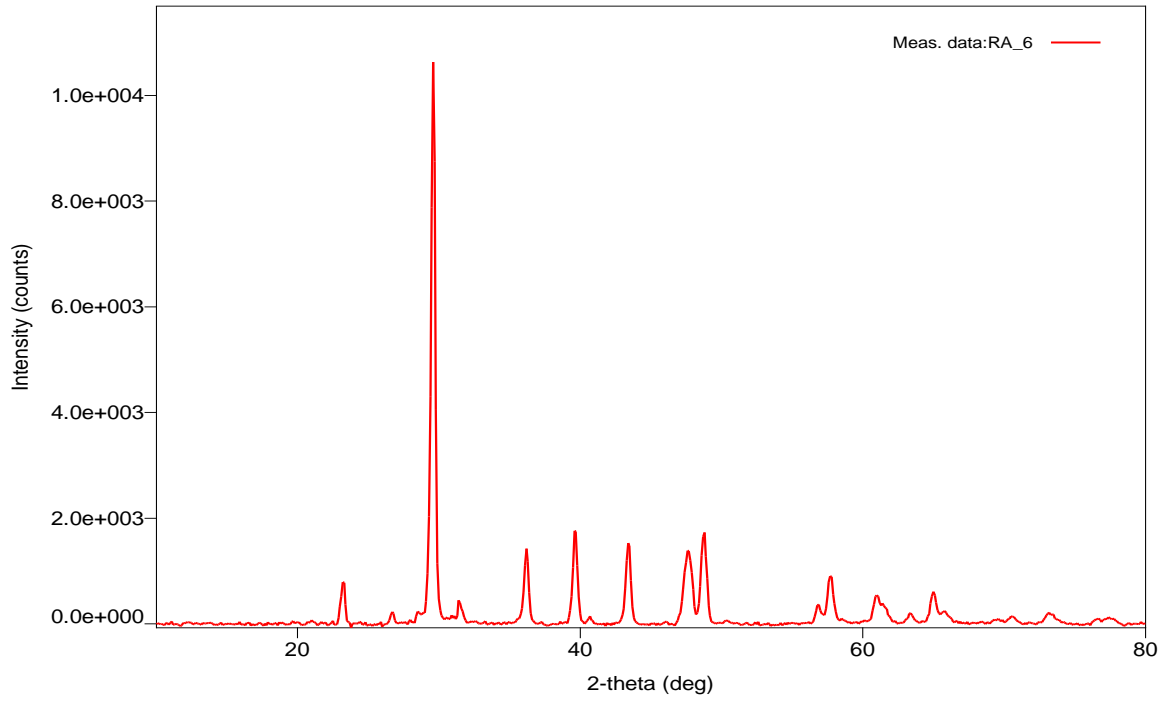




Şekil 4.16. RA-5 numunesine ait TGA sonuçları



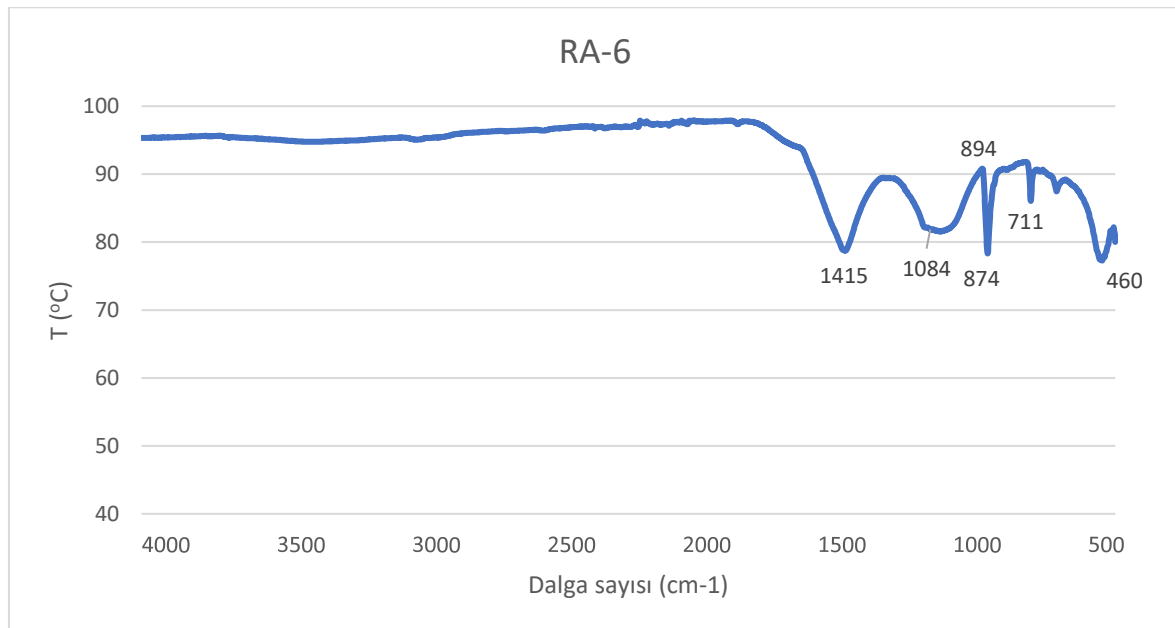
Şekil 4.17. RA-5 numunesine ait DTA sonuçları

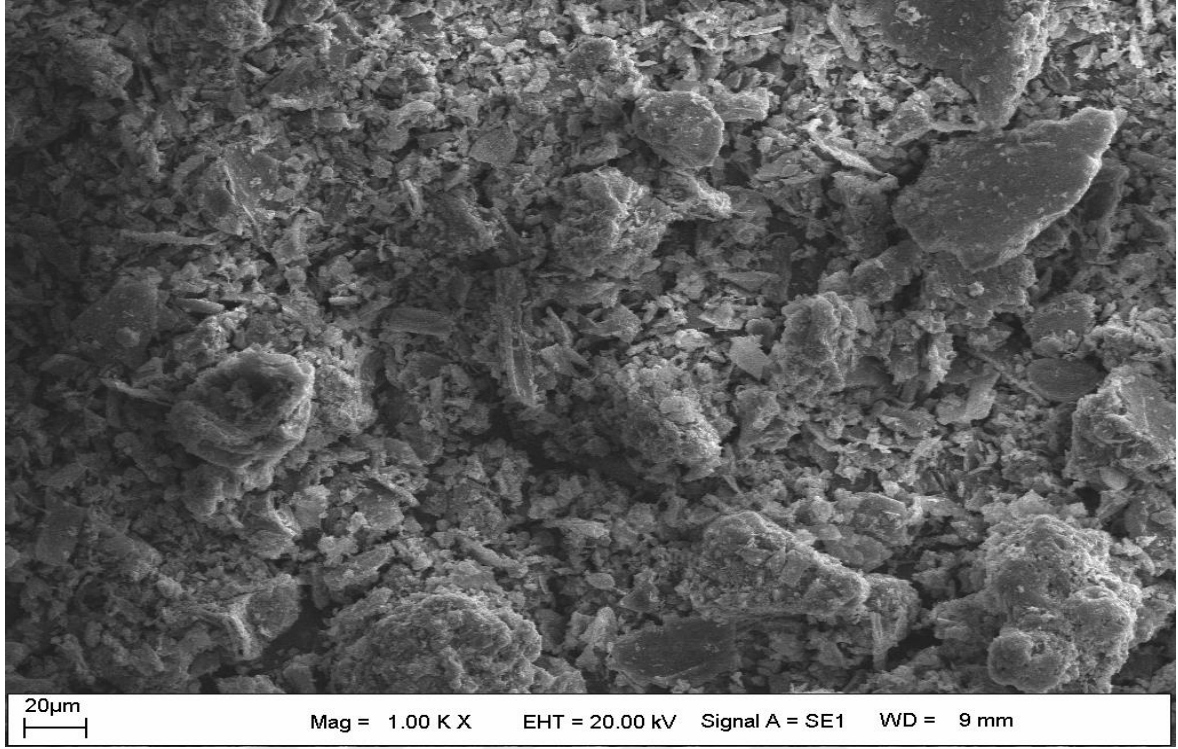


Şekil 4.18. RA-6 numunesinin XRD grafiği.

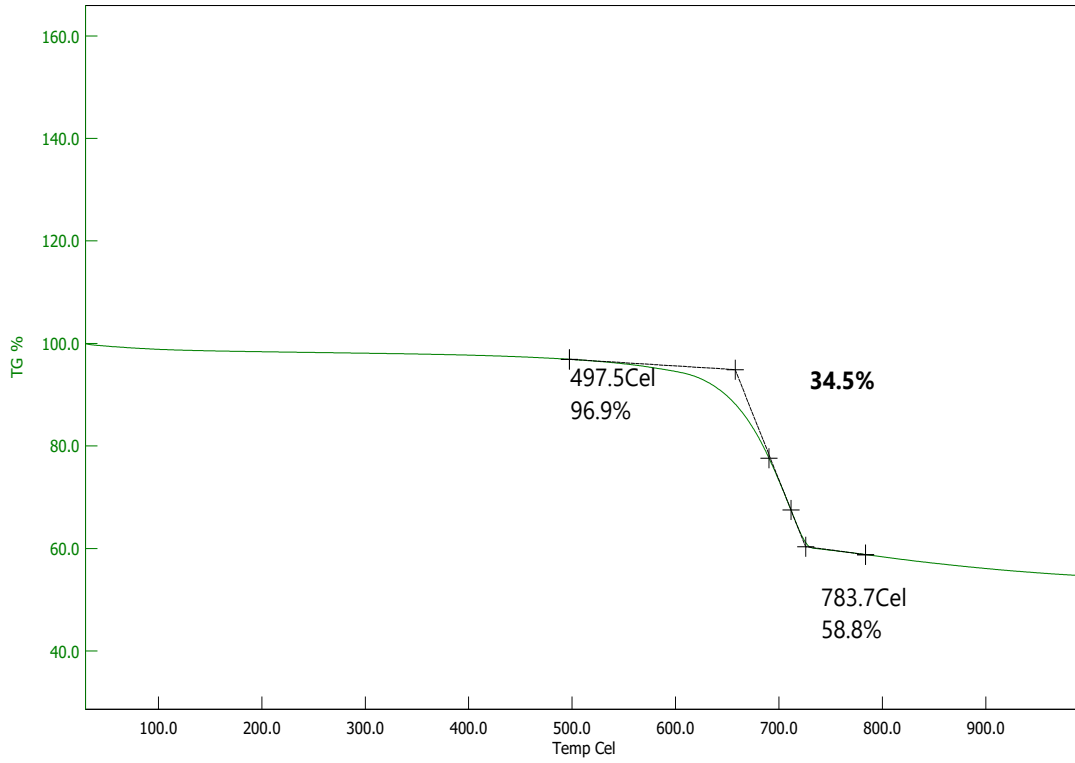
Bu yapının FTIR analizine ise Çizelge 4.11.' de yer verilmiştir.

Çizelge 4.11. RA-6 numunesine ait FTIR analizi sonucu

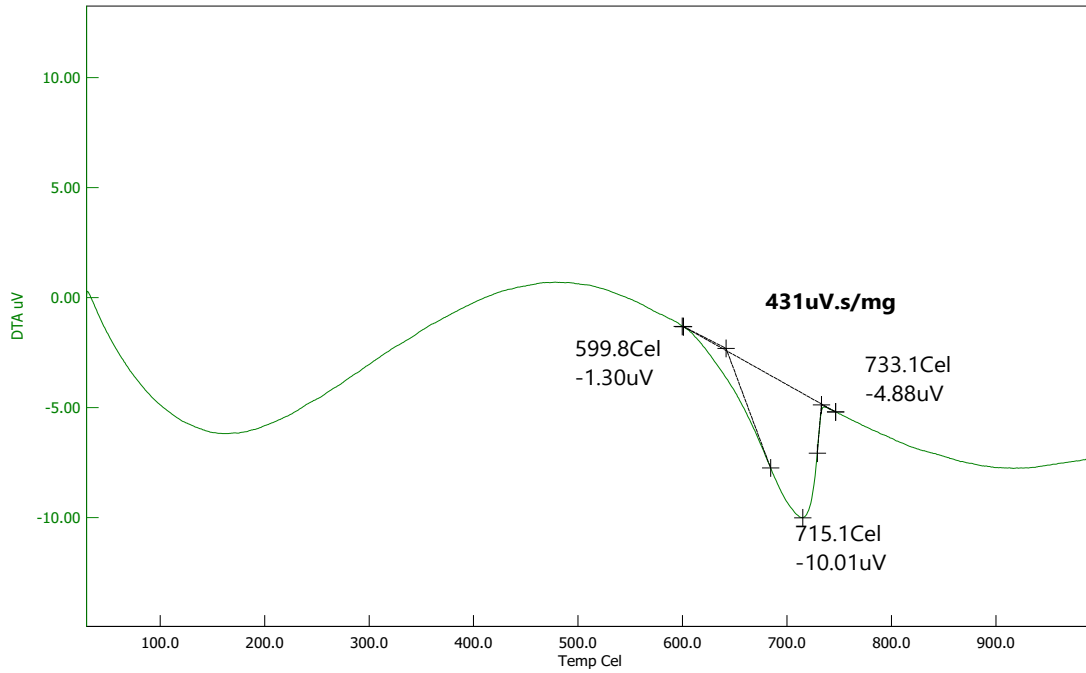




Resim 4.8. Karbonize RA-6 numunesinin SEM görüntüsü



Şekil 4.19. RA-6 numunesine ait TGA sonuçları



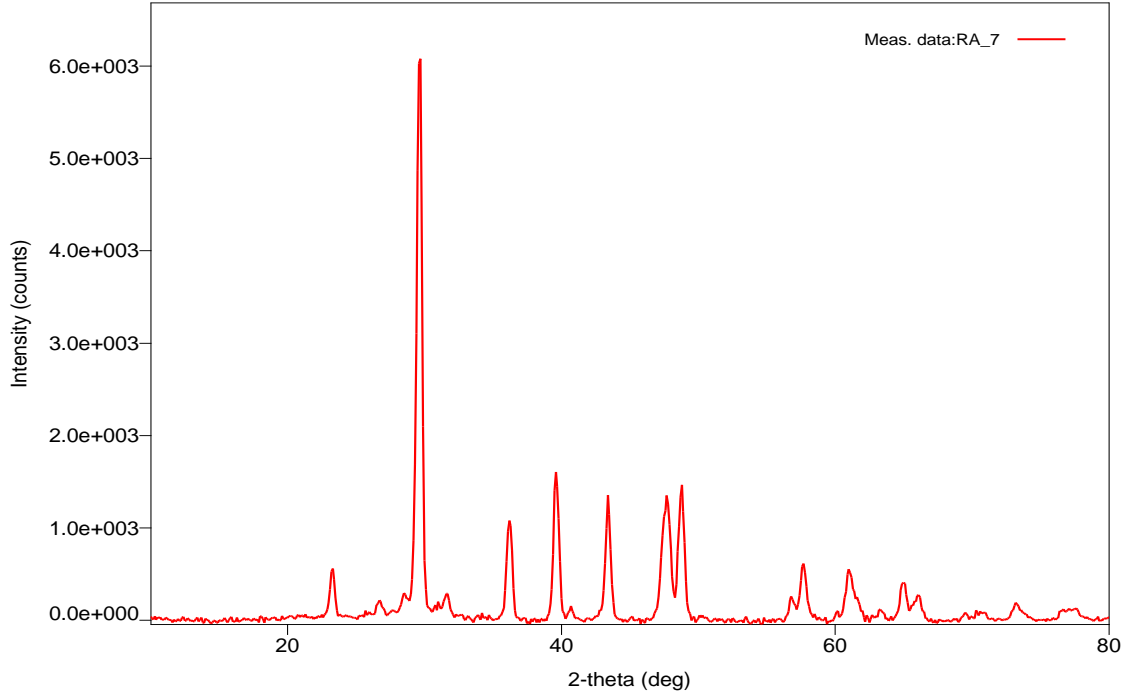
Şekil 4.20. RA-6 numunesine ait DTA sonuçları

Çizelge 4.12. Hammadde ve karbonize edilmiş numunelere ait elementel analiz sonuçları.
(Orijinal kuru temel)

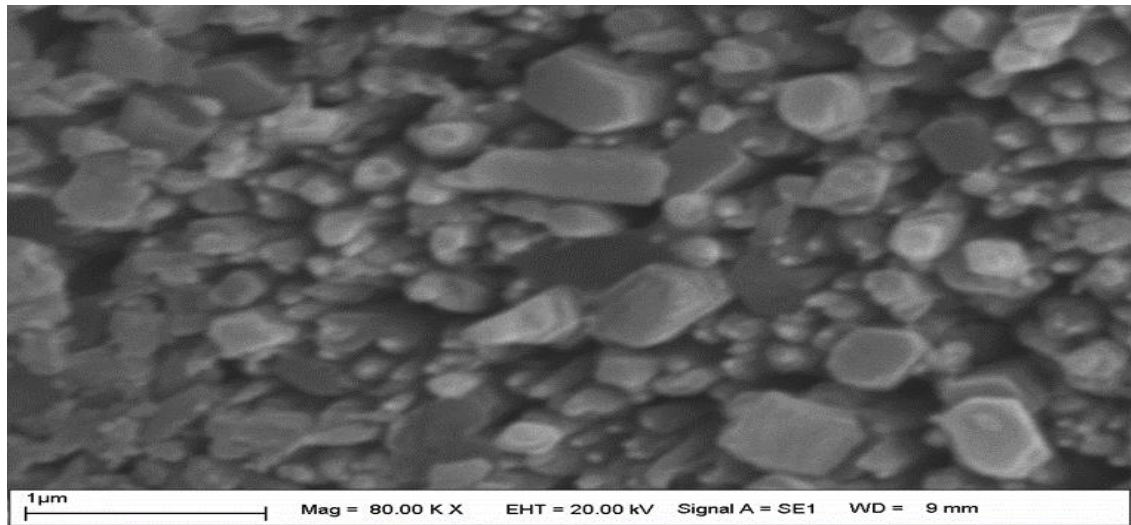
Numune Kodu	%C	%H	%N	%S	%O*
RA-1	20.94	2.578	1.753	0.617	74,112
RA-2	18.72	1.137	1.214	0.648	78,281
RA-3	18.90	0.832	1.230	0.533	78,505
RA-4	18.45	0.804	1.112	0.654	78,980
RA-5	16.86	0.555	0.905	0.419	81,261
RA-6	16.15	0.593	0.943	0.609	81,705
RA-7	16.94	0.478	0.642	0.423	81,517
RA-8	19,07	0.552	0.841	0.544	78,993
RA-9	18.47	0.521	0.769	0.395	79,845
RA-10	15.69	0.402	0.394	0.757	82,757
RA-11	16.35	0.458	0.422	0.740	82,03
RA-12	17,05	0.531	0.395	0.923	81,101

*: Farktan hesaplanmıştır.

Tüm örneklerin Çizelge 4.12.'da verilen elementel analiz sonuçları incelendiğinde artan karbonizasyon sıcaklığı ve artan ısıtma hızında C, H, S ve N oranlarının ham maddeye nazaran kısmi düşüş gösterdiği görülmektedir. Kül oranı çok yüksek olduğu için bu durum beklenen bir sonuçtur. Nitekim oksijen değerinin artması küldeki başta kalsit olmak üzere diğer inorganik yapıların ortamda zenginleşmesi ile açıklanabilir.

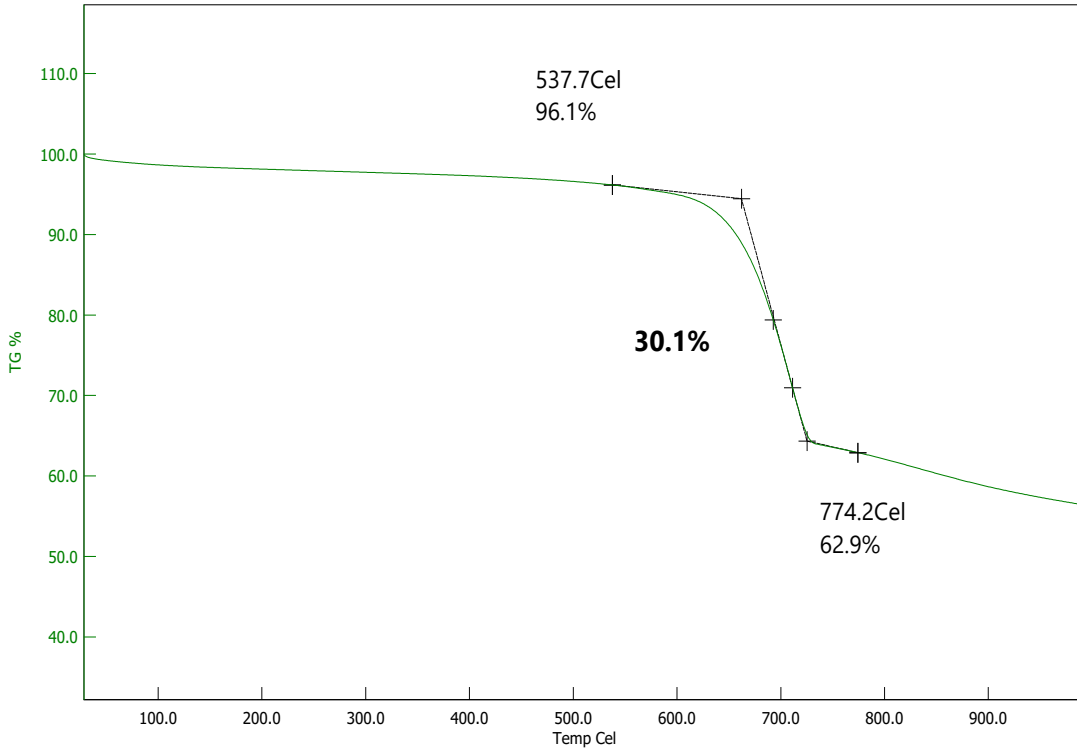
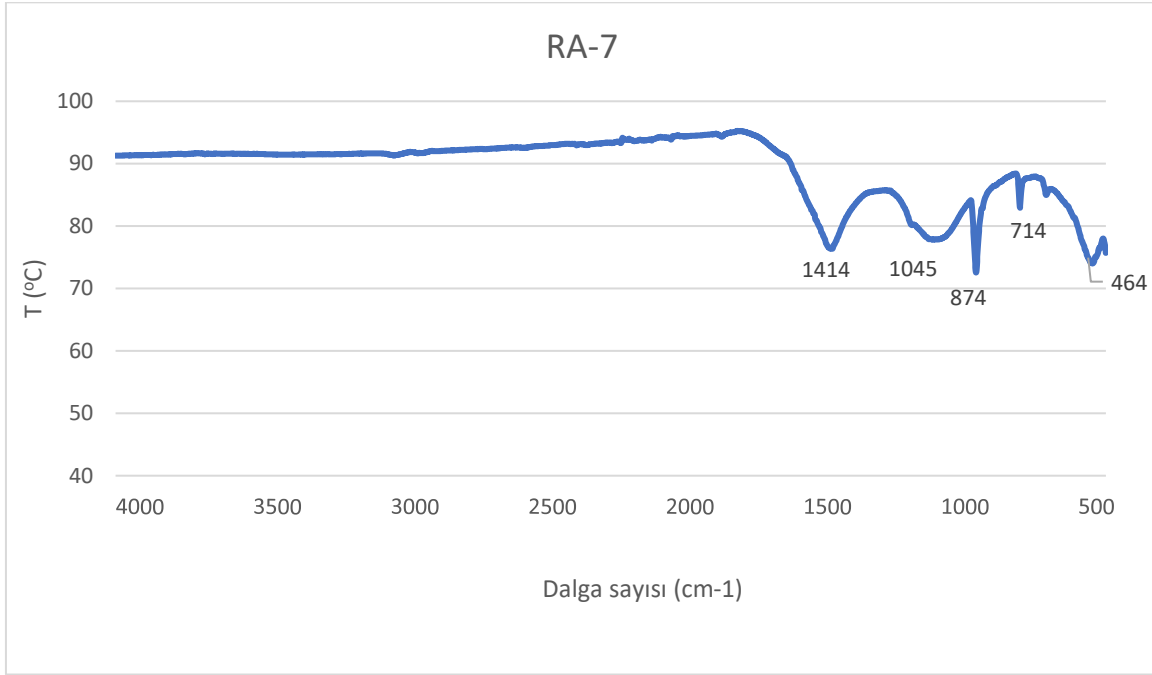


Şekil 4.21. RA-7 numunesinin XRD grafiği.

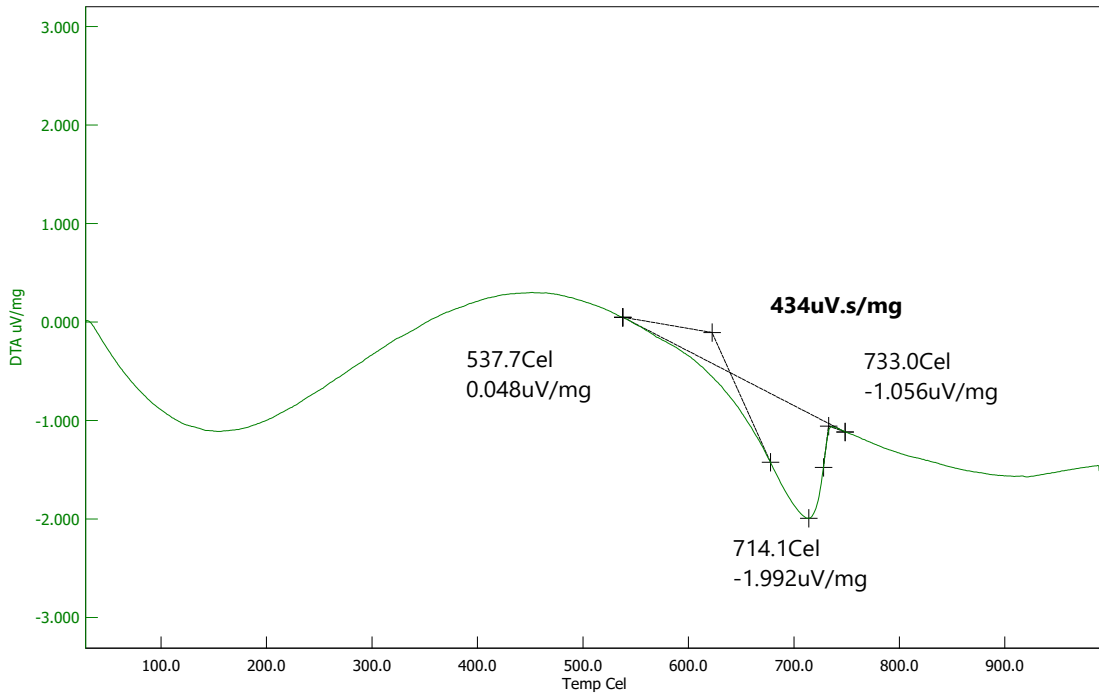


Resim 4.9. Karbonize RA-7 numunesinin SEM görüntüsü

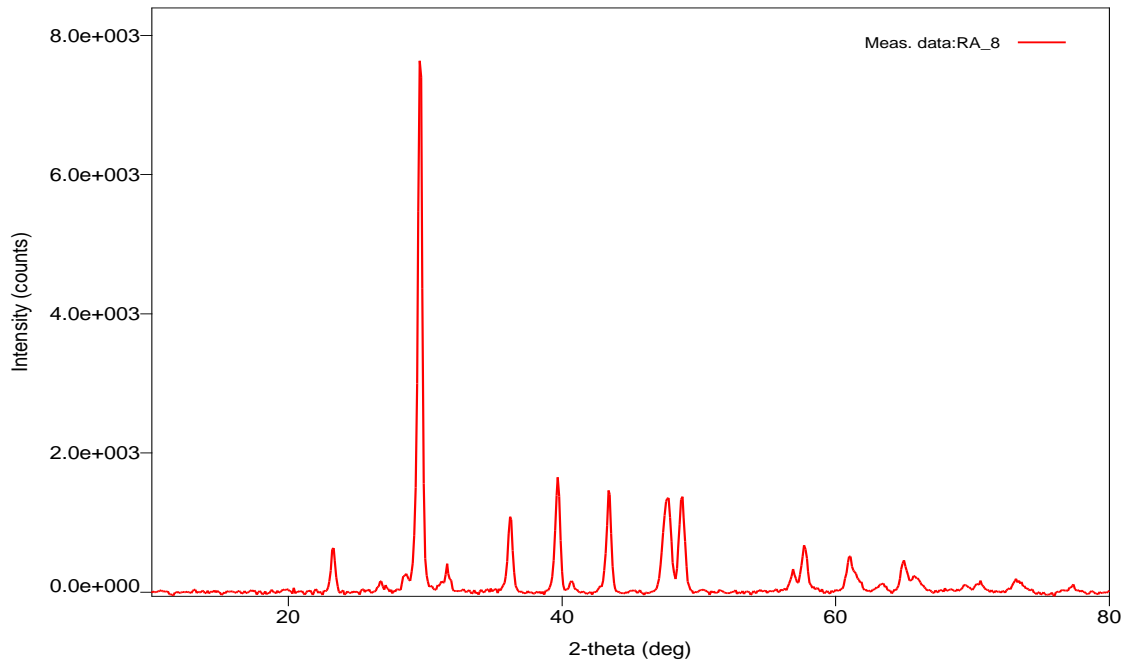
Çizelge 4.13. RA-7 Numunesine ait FTIR analizi sonucu



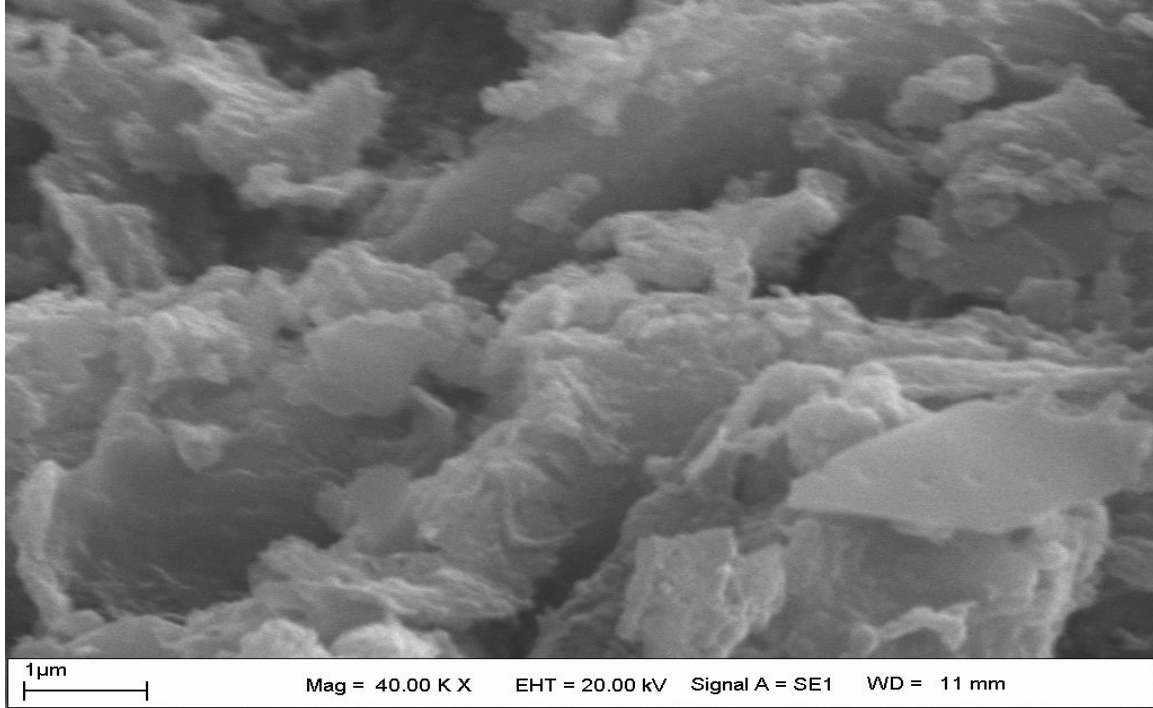
Şekil 4.22. RA-7 numunesine ait TGA sonuçları



Şekil 4.23. RA-7 numunesine ait DTA sonuçları

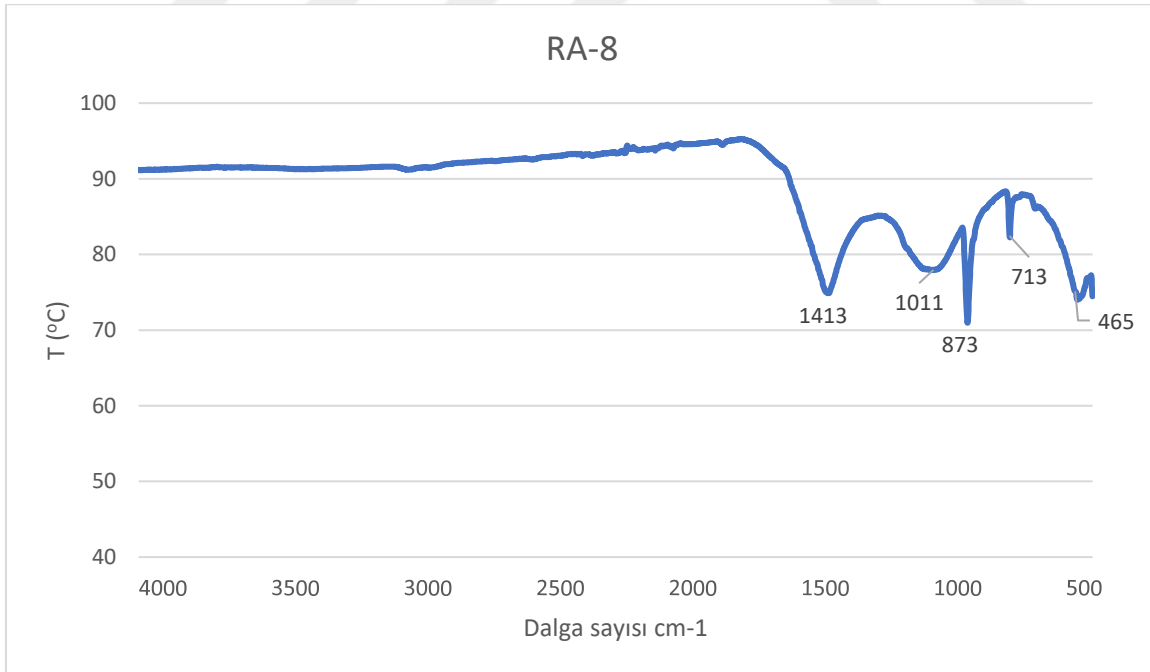


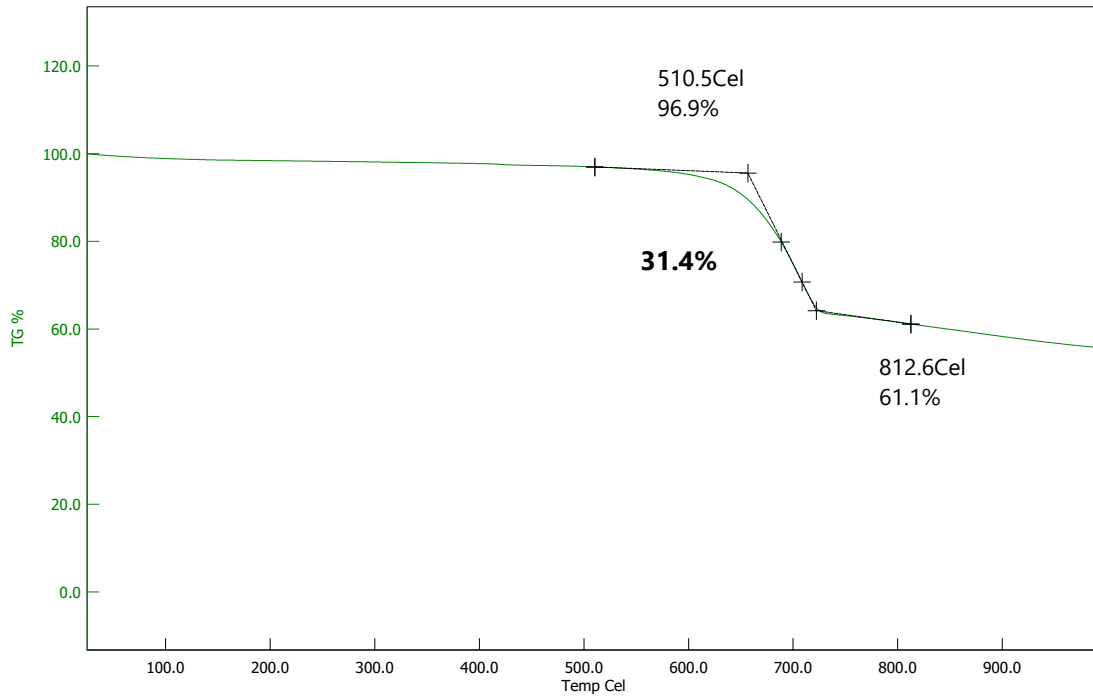
Şekil 4.24. RA-8 numunesinin XRD grafiği.



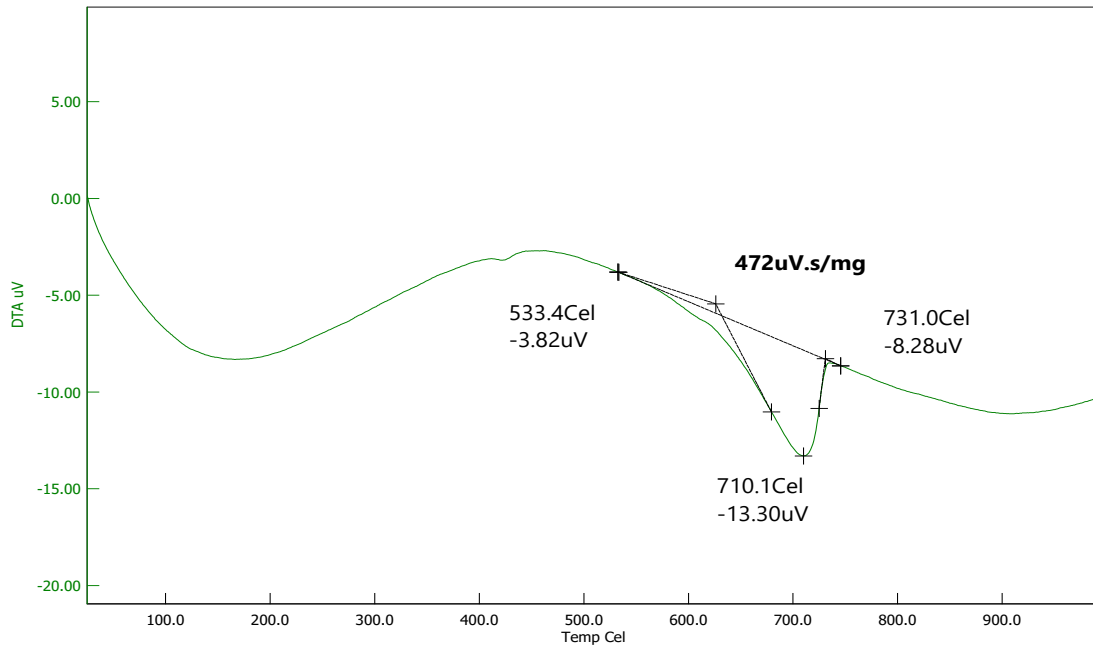
Resim 4.10. Karbonize RA-8 numunesinin SEM görüntüsü

Çizelge 4.14. RA-8 Numunesine ait FTIR analizi sonucu

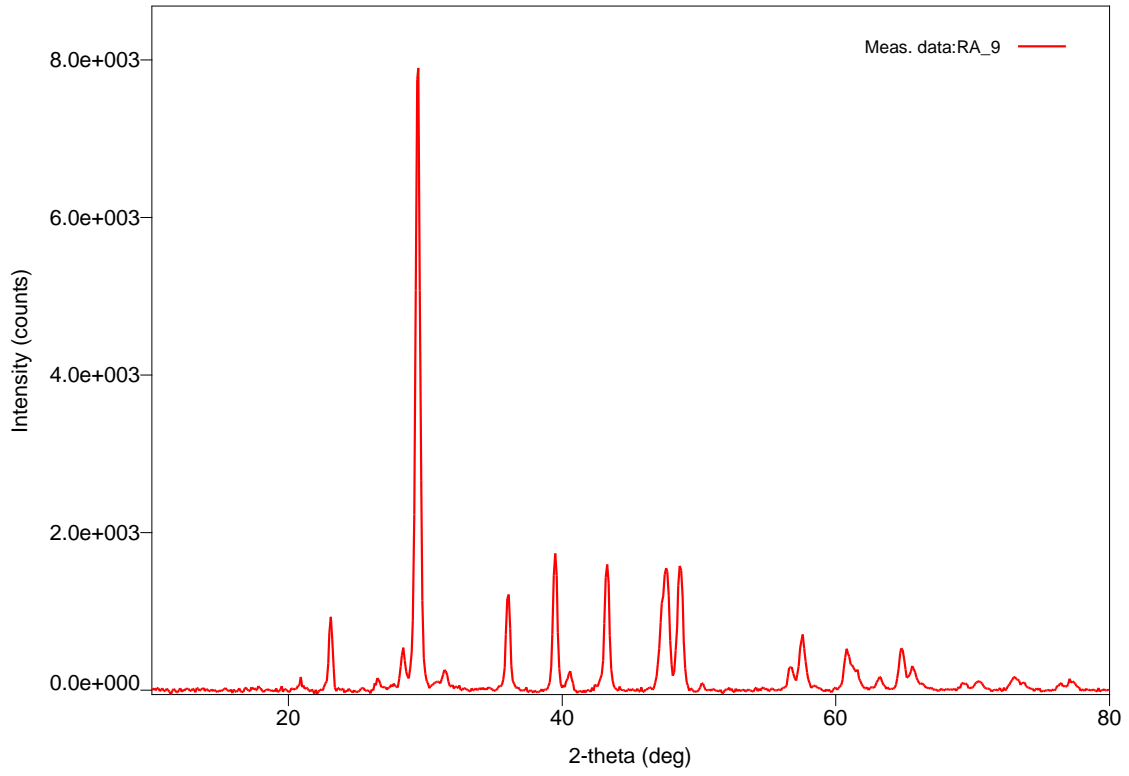




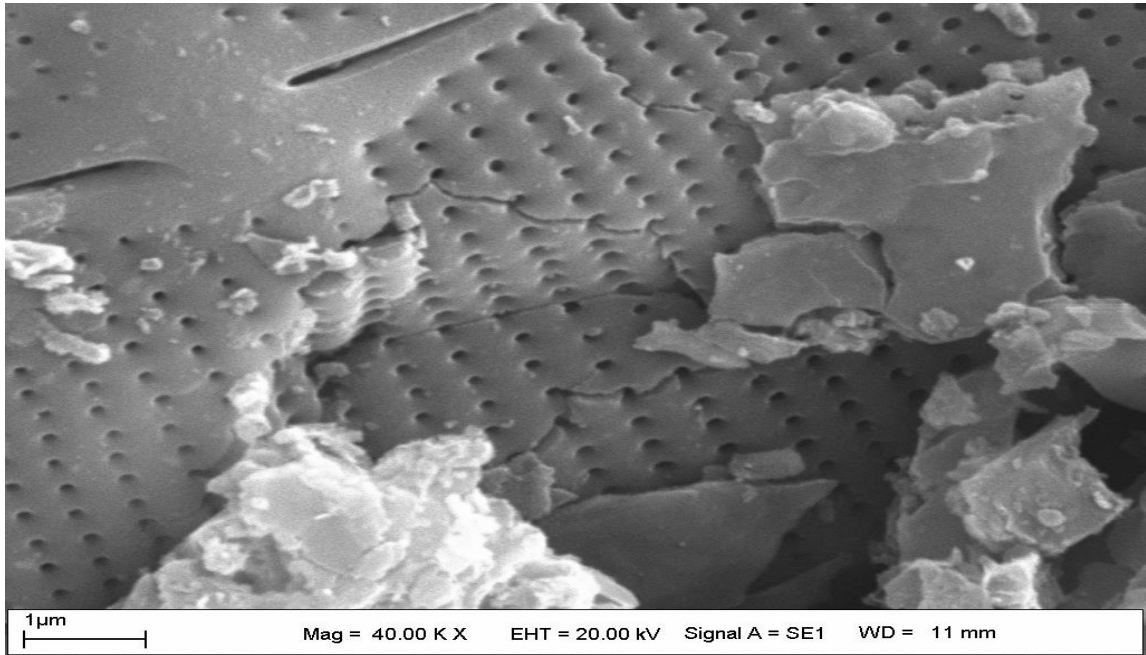
Şekil 4.25. RA-8 numunesine ait TGA sonuçları



Şekil 4.26. RA-8 numunesine ait DTA sonuçları

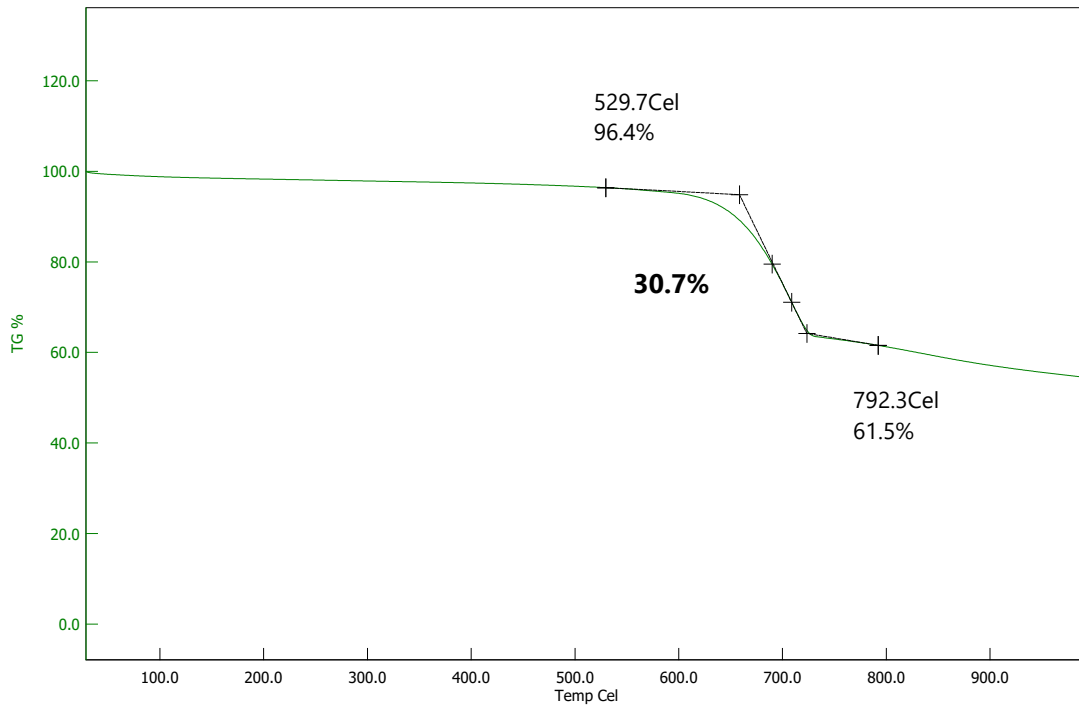
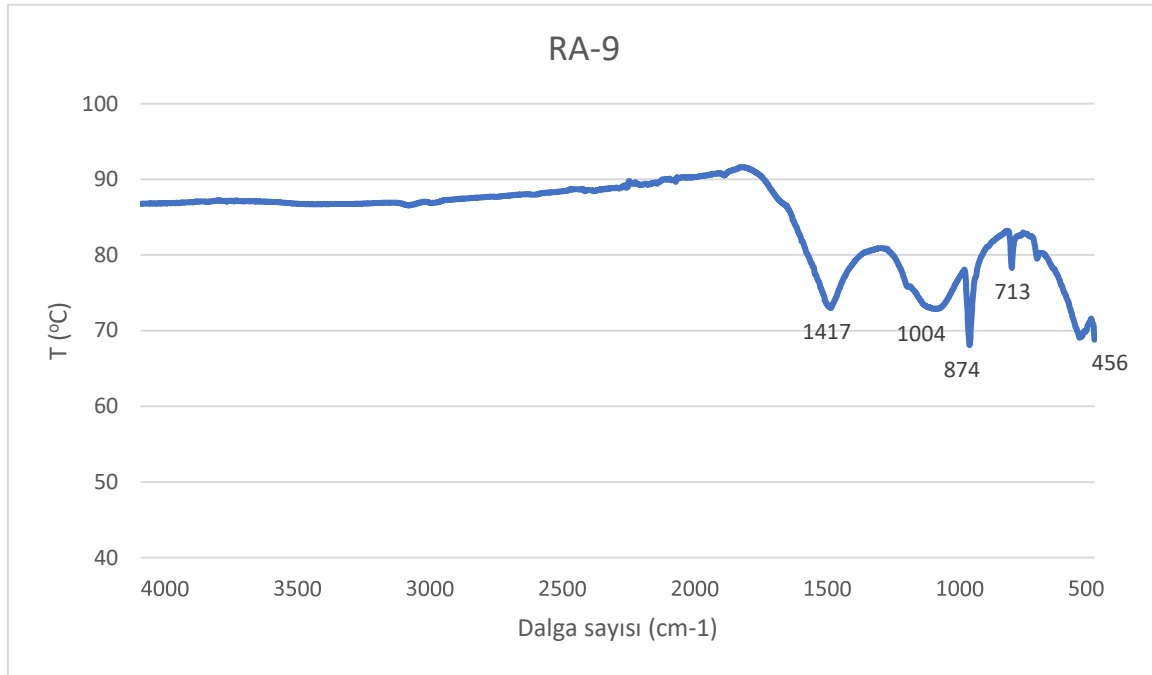


Şekil 4.27. RA-9 numunesinin XRD grafiği.

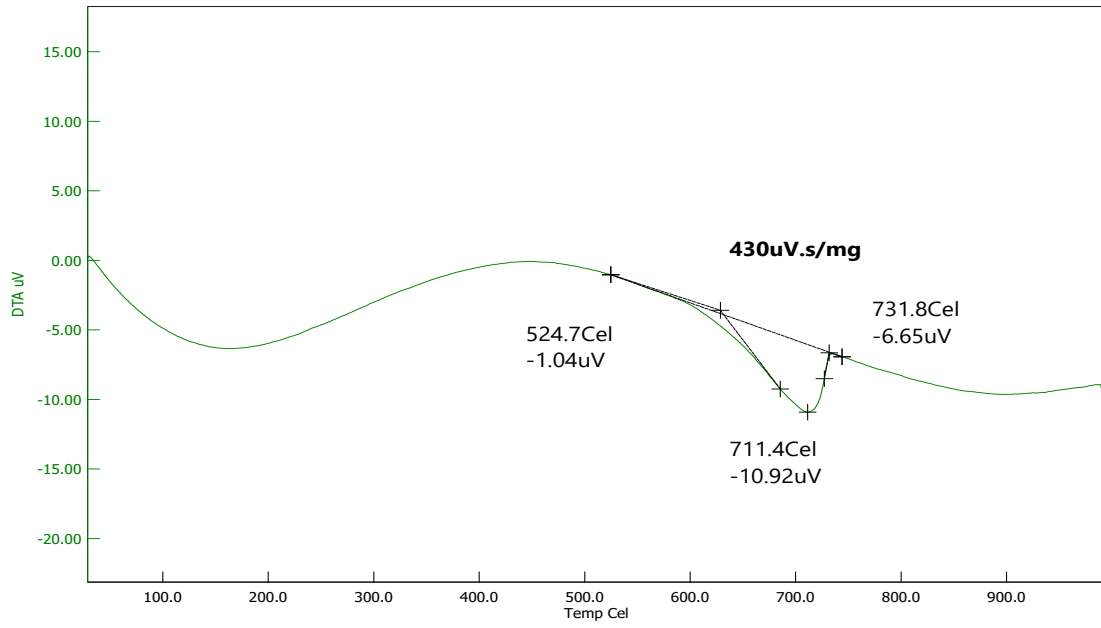


Resim 4.11. Karbonize RA-9 numunesinin SEM görüntüsü

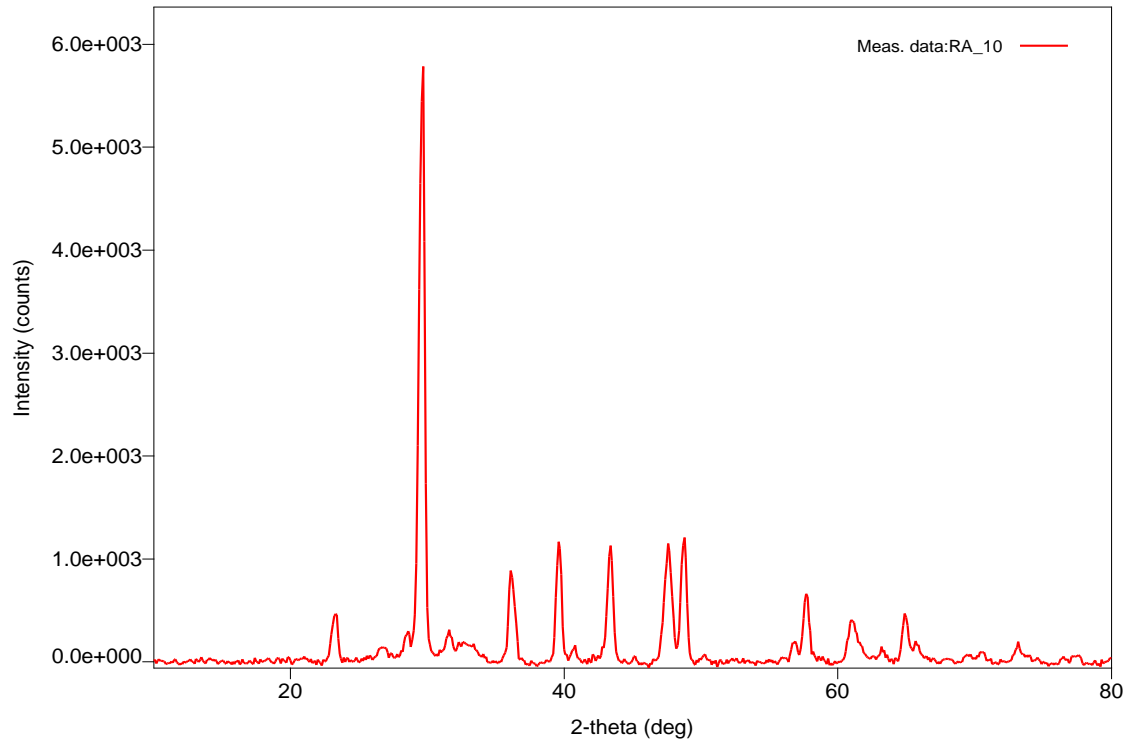
Çizelge 4.15. RA-9 Numunesine ait FTIR analizi sonucu



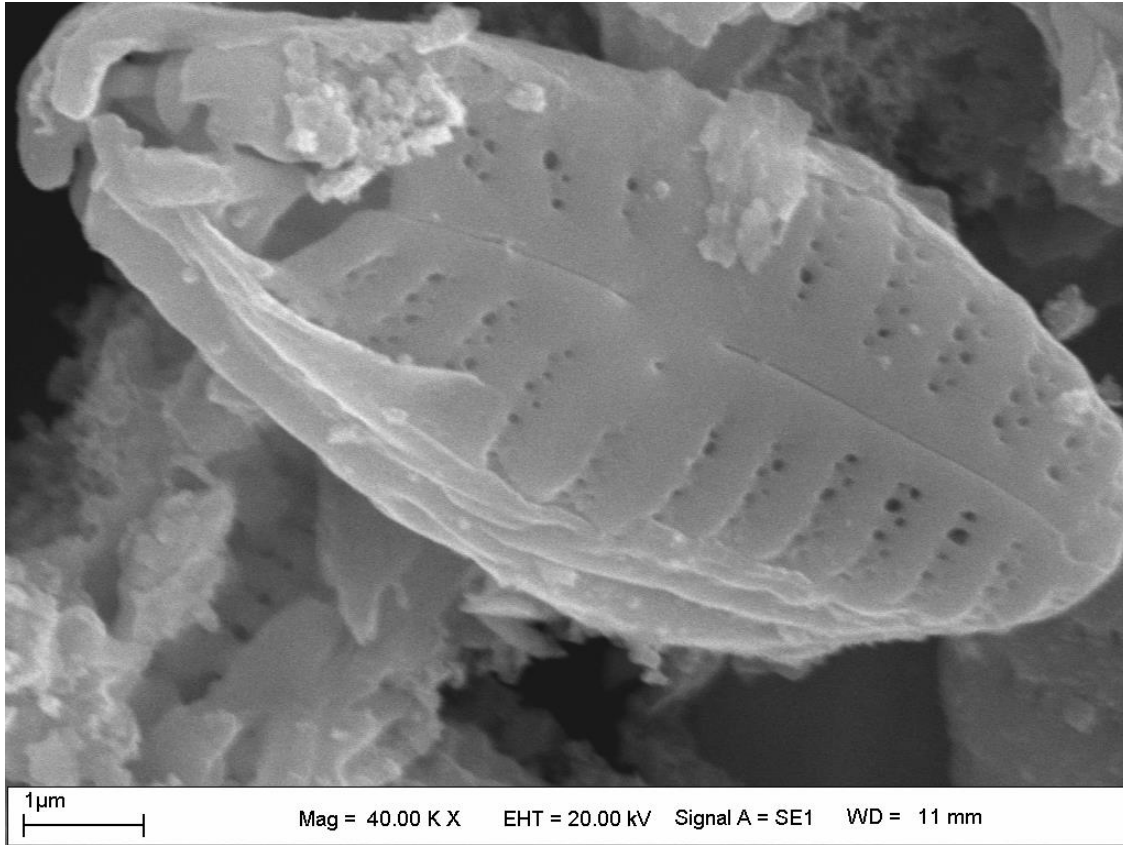
Şekil 4.28. RA-9 numunesine ait TGA sonuçları



Şekil 4.29. RA-9 numunesine ait DTA sonuçları

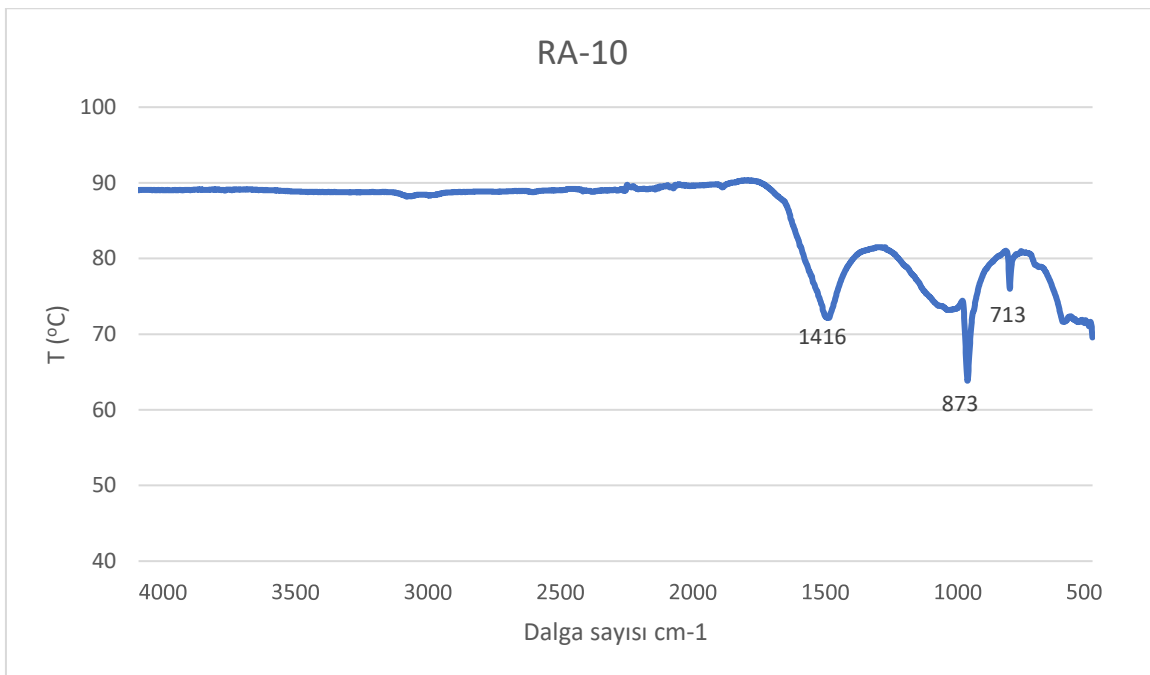


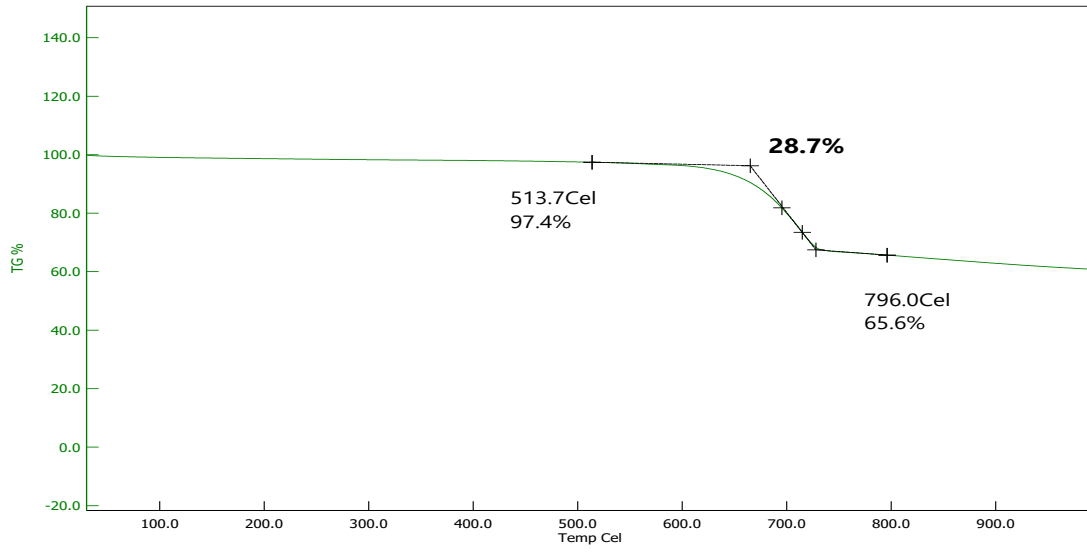
Şekil 4.30. RA-10 numunesinin XRD grafiği.



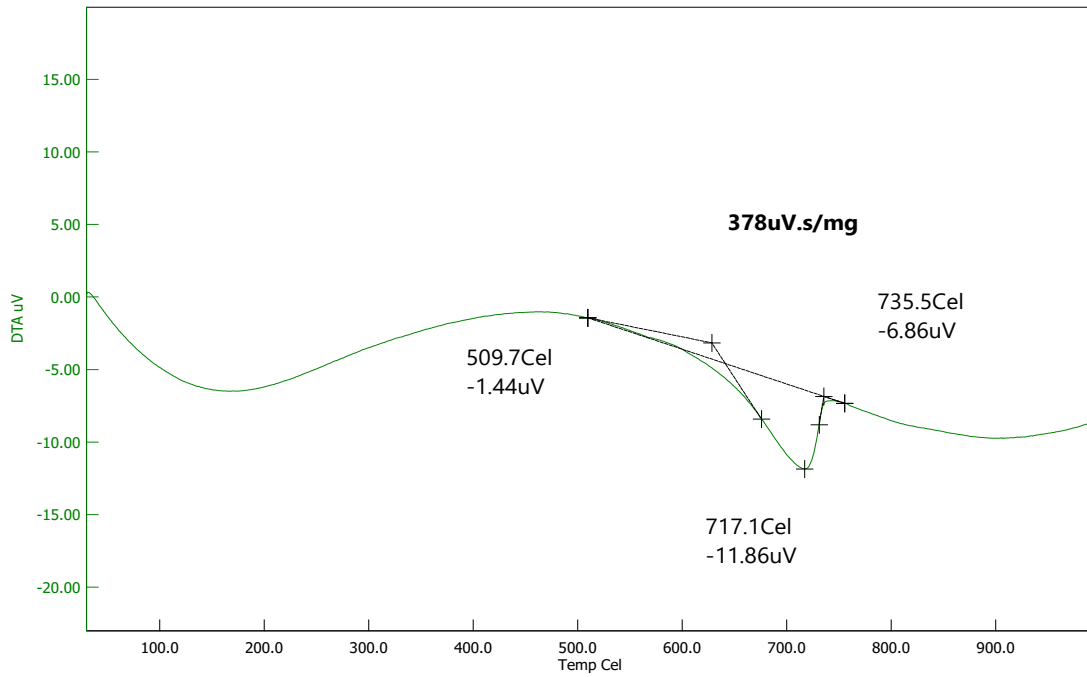
Resim 4.12. Karbonize RA-10 numunesinin SEM görüntüsü

Çizelge 4.16. RA-10 Numunesine ait FTIR analizi sonucu

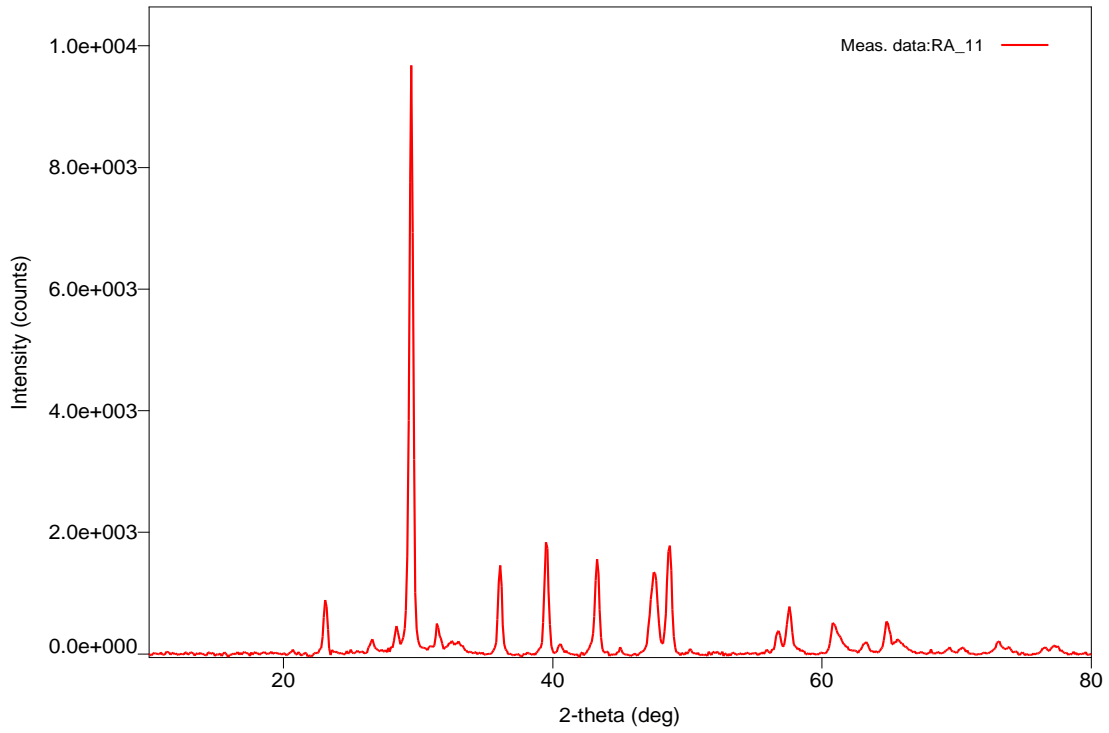




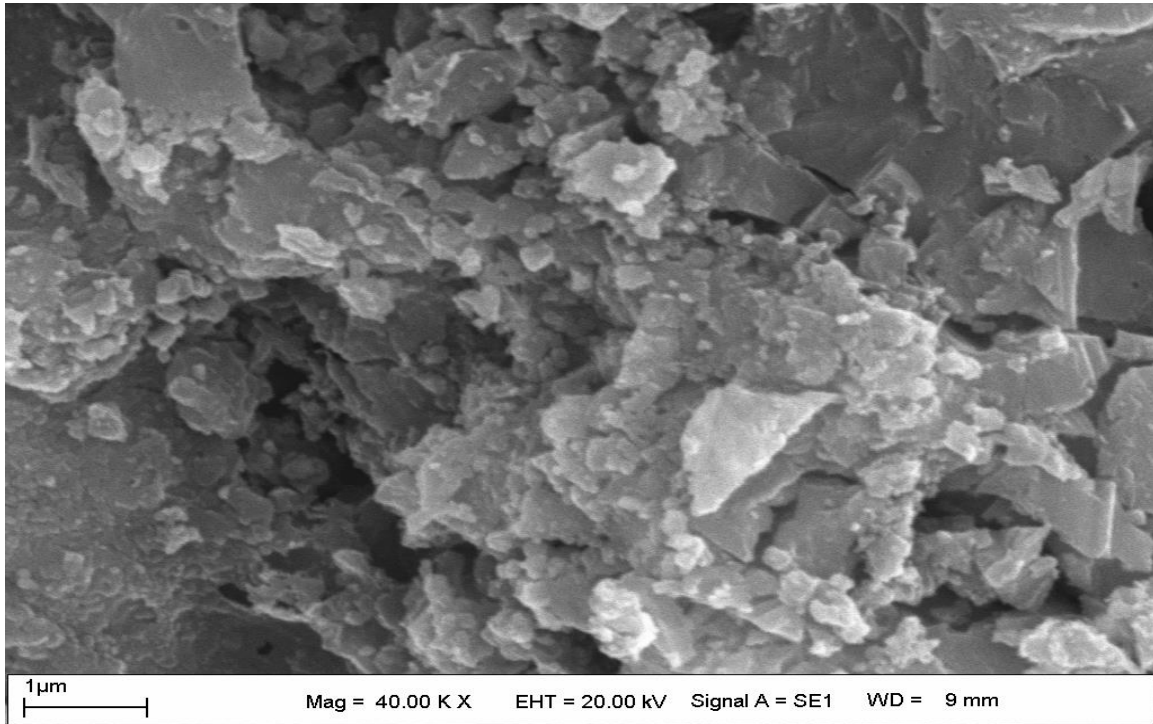
Şekil 4.31. RA-10 numunesine ait TGA sonuçları



Şekil 4.32. RA-10 numunesine ait DTA sonuçları

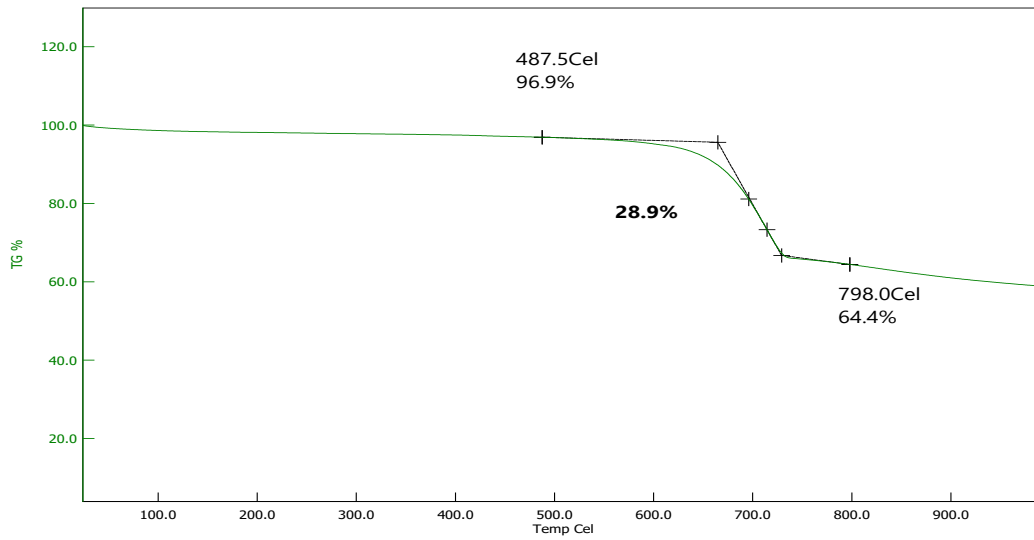
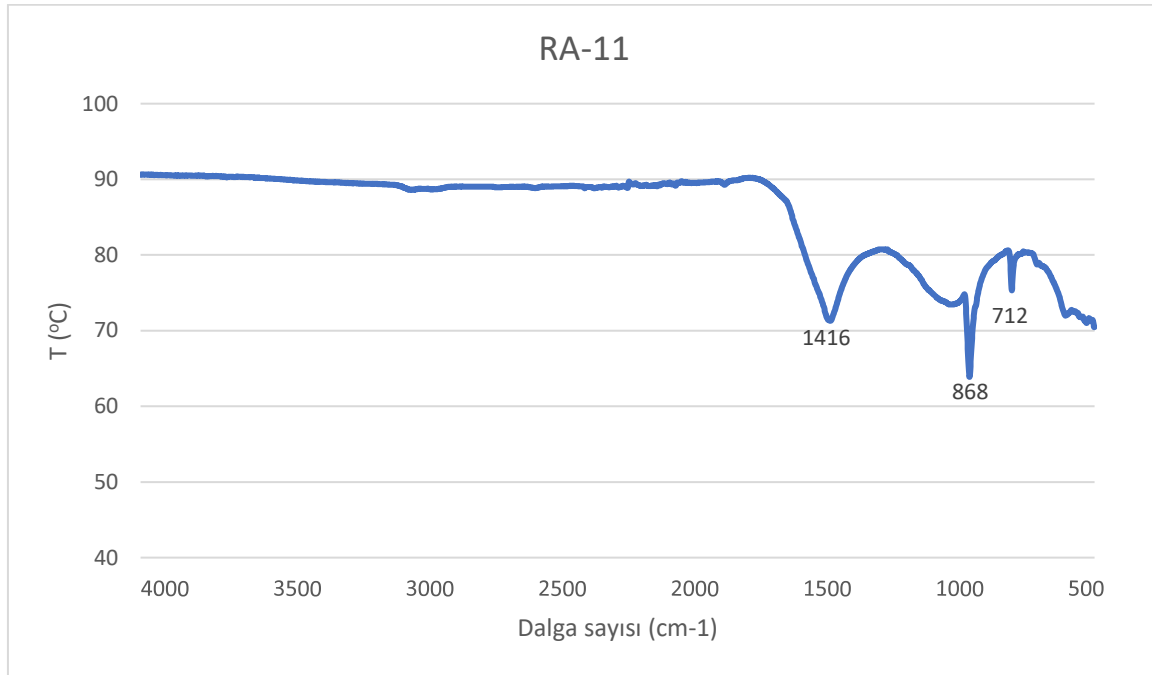


Şekil 4.33. RA-11 numunesinin XRD grafiği.

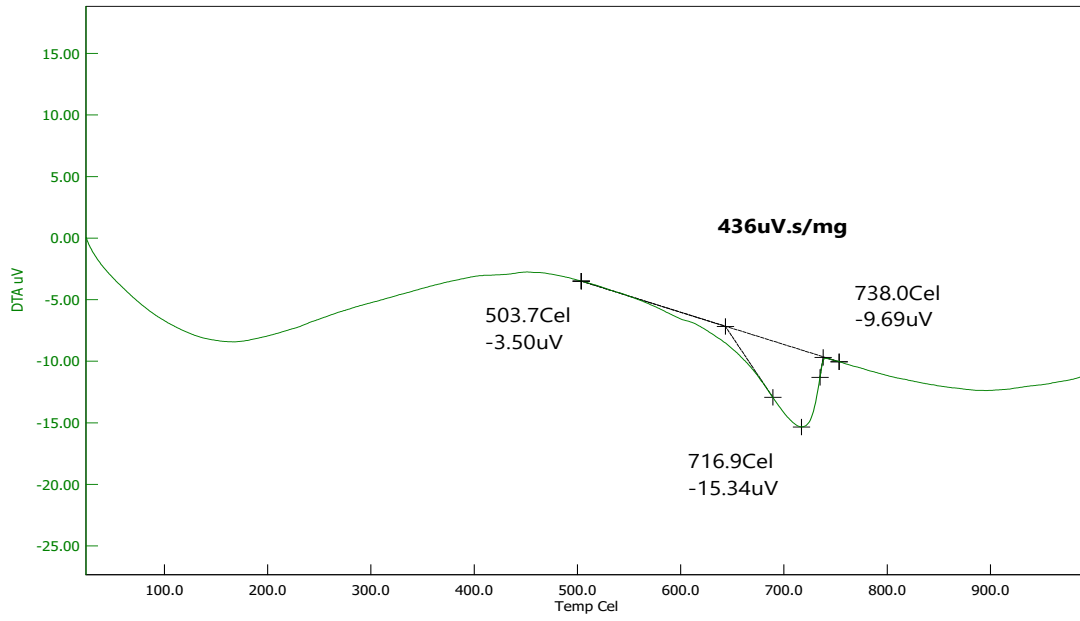


Resim 4.13. Karbonize RA-11 numunesinin SEM görüntüsü

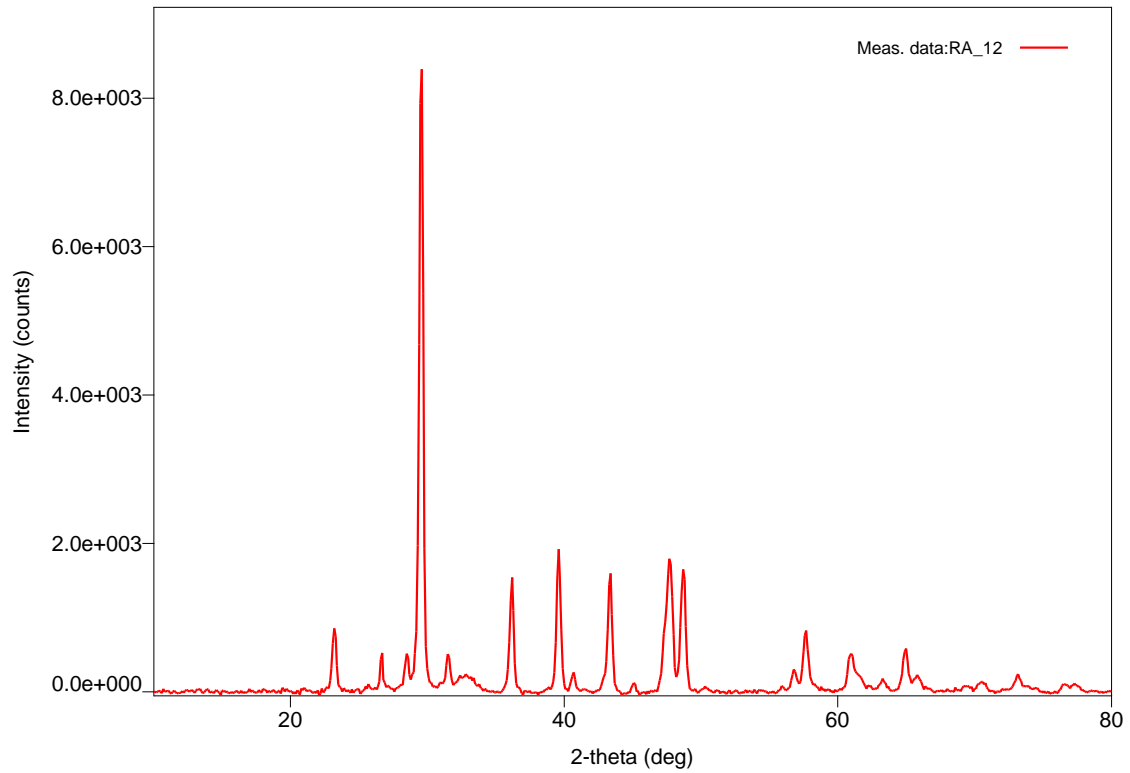
Çizelge 4.17. RA-11 Numunesine ait FTIR analizi sonucu



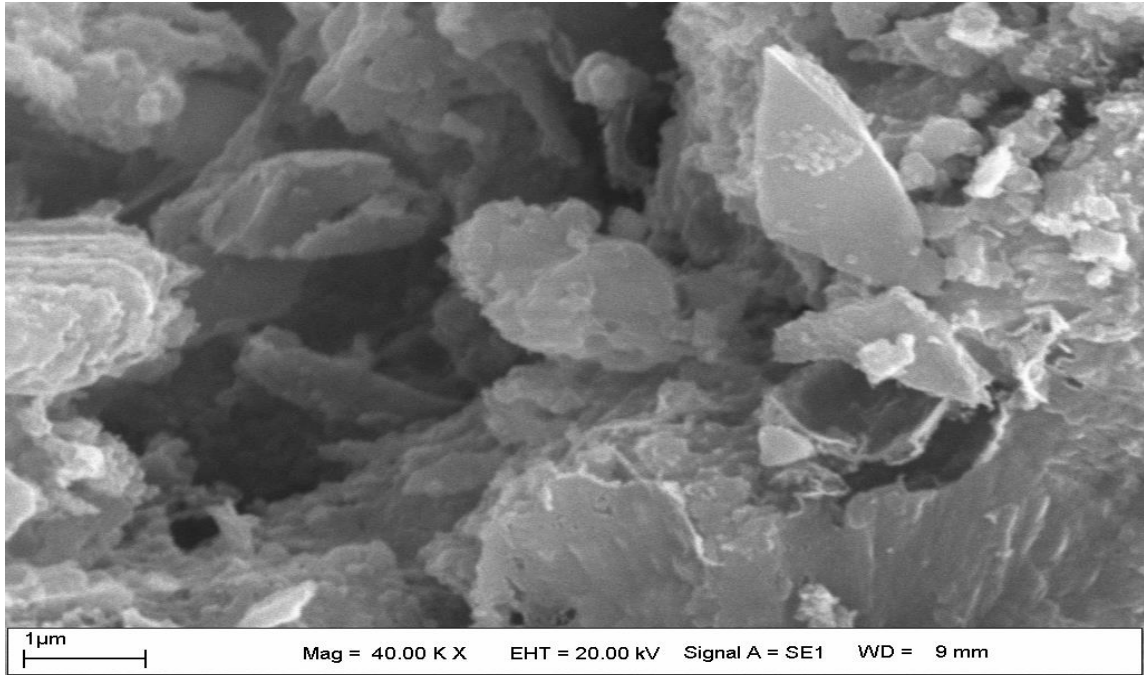
Şekil 4.34. RA-11 numunesine ait TGA sonuçları



Şekil 4.35. RA-11 numunesine ait DTA sonuçları

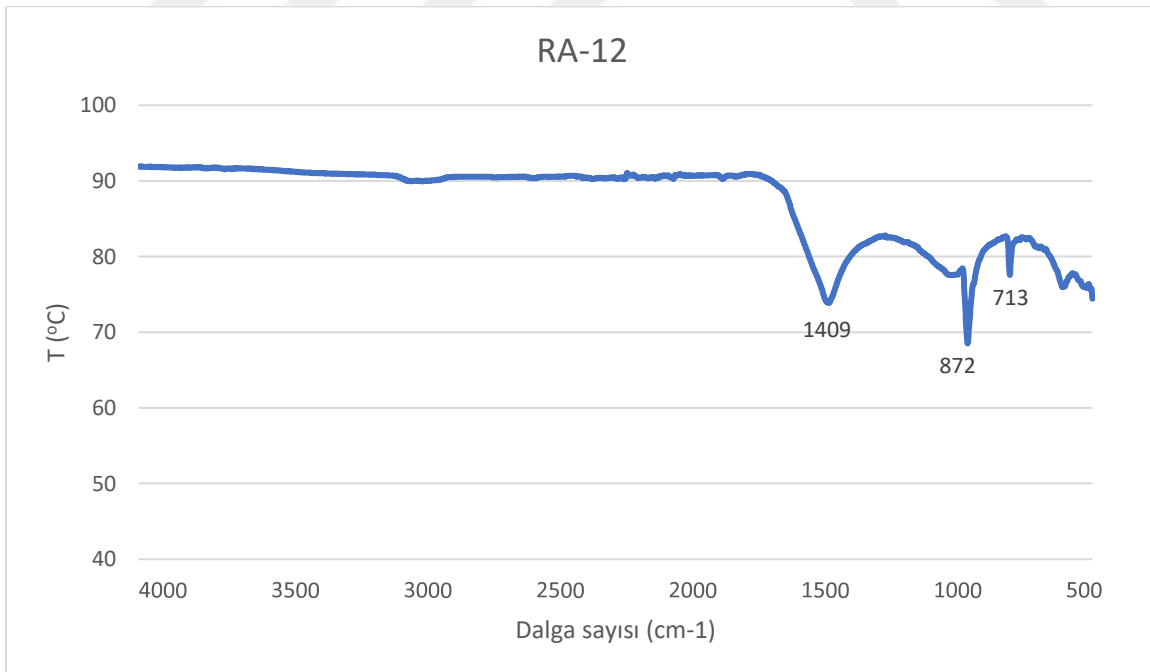


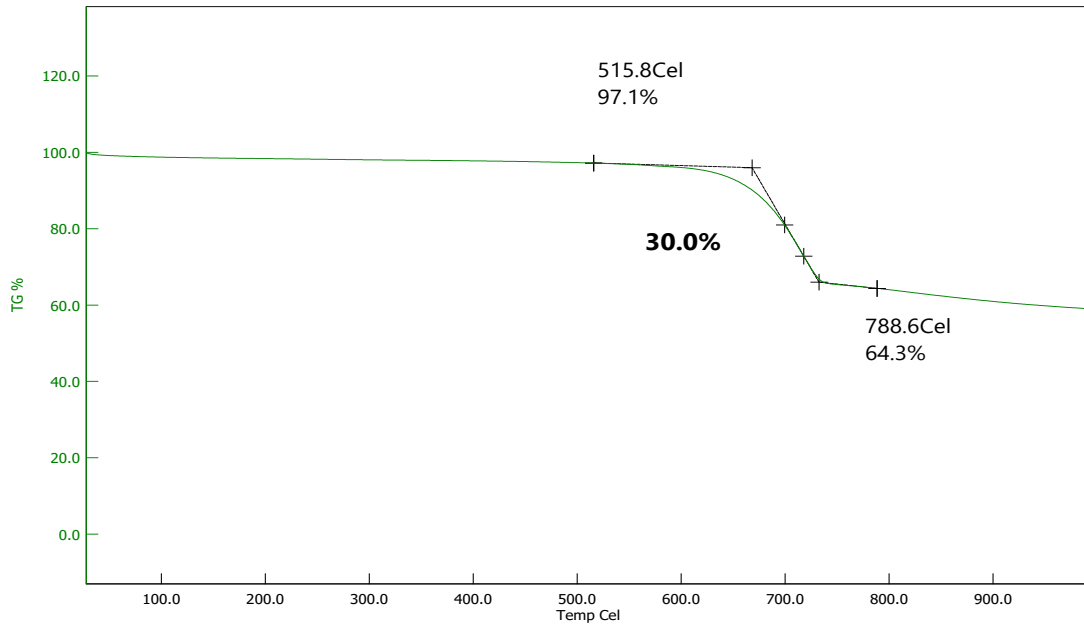
Şekil 4.36. RA-12 numunesinin XRD grafiği.



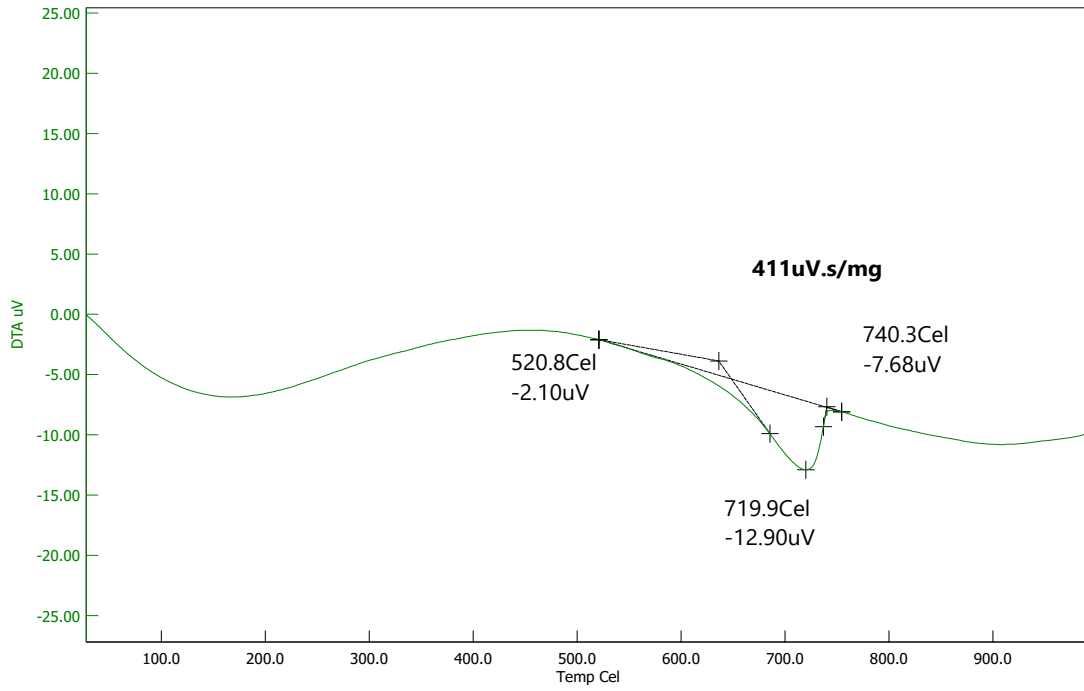
Resim 4.14. Karbonize RA-12 numunesinin SEM görüntüsü

Çizelge 4.18. RA-12 Numunesine ait FTIR analizi sonucu





Şekil 4.37. RA-12 numunesine ait TGA sonuçları



Şekil 4.38. RA-12 numunesine ait DTA sonuçları

Ham ve farklı sıcaklık ve ısıtma hızlarında yapılan karbonizasyon işlemine ait termal analiz, FTIR, XRD ve SEM analiz sonuçları değerlendirildiğinde; karbonizasyon sıcaklığı ve ısıtma hızı arttıkça TGA sonuçlarında bozunma sıcaklığının arttığı görülmektedir. Ham örnekte iki farklı kütle kaybı eğrisi görülürken tüm karbonize örneklerde tek kütle kaybı eğrisi elde edilmiştir. Artan sıcaklık ve ısıtma hızı ile TGA eğrisi kütle kaybı başlangıç ve bitiş sıcaklık değerlerinin kısmende olsa arttığı belirlenmiştir. Tüm örneklerin TGA eğrisi bozunma başlangıç sıcaklıkları 487°C – 545°C sıcaklıkta aralıklarında başlarken 710°C-832°C sıcaklık aralığında tamamlandığı görülmektedir. Karbonizasyon sonucu tüm örneklerin makromoleküler yapısının benzer karakterde olduğu ifade edilebilir. Ancak ham örneğe nazaran termal olarak daha kararlı bir yapı oluştuğu ifade edilebilir. Ancak örneğin kül içeriğinin yüksek olması TGA eğrisinin oluşumunda etkili olduğu unutulmamalıdır.

Tüm örneklerin DTA eğrileri incelendiğinde tüm örneklerin benzer bozunma gösterdikleri ifade edilebilir. Bu durum TGA için ifade edilen değerlendirmeyi doğrulamaktadır.

SEM görüntüleri incelendiğinde tüm sıcaklık ve ısıtma hızlarında yapı içerisindeki küçük makromoleküler birimlerin ayrılması sonucu homojen ve düzenli bir gözenekli yapının ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun dışında yapıda mevcut inorganik bileşenlerin farklı büyüklükte birimler halinde homojen olmayan bir dağılım sergiledikleri belirlenmiştir. Yapıdaki gözeneklerin silindirik ve oldukça düzenli olması bu kısımlarda yosun bitkisinin fotosentez birimlerinin yer aldığı ile açıklanabilir. Fotosentez birimleri bitkinin diğer birimlerine (selülozik yapılar) daha küçük birimler olduğu bilinmektedir. Bu birimler tylakoid membranlar, klorofil vb'lerdir.

FTIR sonuçları incelendiğinde tüm örnekler için spektrumlar benzerdir. Su ve selülozik yapıya ait –OH gerilmeleri büyük oranda kaybolmuştur. Alifatik –CH gerilmesine ait 2900 cm⁻¹ civarındaki pik şiddeti de oldukça azalmıştır. Ancak kül oranının artmasına bağlı olarak 900-1100 cm⁻¹ bölgesindeki yayvan ve geniş pik sıcaklık artışı ve kül içeriğinin artmasına bağlı olarak daha yüksek dalga boyuna kaymıştır. 1430 cm⁻¹ civarındaki pik kalsite ait C-O gerilmesine aittir. XRD sonuçları incelendiğinde tüm örnekler için benzer sonuçlar söz konusudur. Ancak kül oranına bağlı olarak pik şiddetlerinde yükselme söz konusudur. Ana mineral olarak kalsit söz konusu olup organik materyalin amorf bir yapı sergilediği ifade edilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayileşmedeki gelişim ve Dünya nüfusunun artmasıyla beraber enerji talebindeki artışı devam ettirmektedir. Artan enerji talebini karşılamak için birçok araştırmacı alternatif kaynaklara yönelmiştir. Dünya nüfusunun artması ve sanayileşmedeki gelişmeyle beraber enerji talebinde artış gözlemlenmiştir. Artan enerji talebini karşılamak için biyokütle araştırmalarına yönelim artmasından dolayı bu tez çalışması yapılmıştır.

Bu tez kapsamında geleceğin biyoyakıt türlerinden biri olabilecek yosunun potansiyelinin belirlenmesi için biyokütle olarak Hatay'ın İskenderun ilçesinde bulunan kanaldan toplanan Chatermorphia Linum türü seçilmiştir. Chatermorphia Linum hakkında yapılan araştırmalar sonucu biyoyakıt olarak kullanılabilirliği açısından yeterli bilginin olmadığı saptanıp bu araştırmanın konusu haline gelmiştir. Biyokütleden yakıt elde edebilmek için kullanılan en yaygın yöntem olan karbonizasyon yöntemi uygulanmıştır. Yapılan karbonizasyon işleminden sonra hammadde dışında 11 numune elde edilmiştir. Bunlar farklı sıcaklık (400 °C, 500 °C, 600 °C ve 700 °C) ve ısıtma hızlarına (10 °C/dk, 30 °C/dk, 50 °C/dk) tabi tutulan numunelerdir. Numuneler RA kodu ile kısaltılarak çalışma içerisinde belirtilmiştir. Çalışmada incelenen parametreler farklı sıcaklı ve ısıtma hızlarına sahip oldukları için her numunede farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Tez içerisinde karbonizasyon işlemi uygulandıktan sonra kısa analizlere yer verilmiştir. Bunlar kül tayini deneyi, kalorifik değer analizi ve elementel analizdir. Kısa analiz verilerine göre; karbonizasyon işlemi sonucunda 10 °C/dk. ısıtma hızında sıcaklığın artışıyla beraber genellikle sıvı oranının azaldığı gözlemlenmiştir. 30 °C/dk. ısıtma hızında ise sıvı oranlarının en iyi olduğu veriler gözlemlenmiştir. Bununla beraber 50 °C/dk. ısıtma hızından elde edilen sıvı yok denecek kadar azdır. Kül tayini deneylerinde ise; karbonizasyon deney sonucunda ortaya çıkan hammadde ile beraber toplam 12 numune üzerinden 650 °C ve 850 °C de deney yapılmıştır. Kül oranının en az olduğu veri ise 850 °C sıcaklıkta işlem gören RA-9 numunesidir (600 °C – 50 °C/dk. ısıtma hızında). Kalorifik değer deneylerinde hem katı hem sıvı numunelerin ölçümü yapılmıştır. Elementel analiz sonucunda; Karbon oranı en fazla olan veri hammaddeden sonra %19,07 ile 600 °C (30 °C/dk. ısıtma hızında) da ki değerdir. Kükürt oranında en az olan veri ise %0,395 ile 600 °C (50 °C/dk. ısıtma hızında) da ki değerdir. Hidrojen oranının en düşük olduğu değer; %0,402 ile 700 °C (10 °C/dk ısıtma hızında) de ki veridir. Oksijen oranının en fazla olduğu değer; %82,757 ile 700 °C (10 °C/dk ısıtma hızında)

da ki veridir. Azot oranının en düşük olduğu değer; %0,395 ile 700 °C (50 °C/dk ısıtma hızında) da ki veridir.

Kısa analizlerin dışında araştırma içerisinde XRD, SEM, FTIR ve DTA-TGA analizlerine de yer verilmiştir.

Tüm örneklerin TGA, DTA, XRD, FTIR ve SEM analizleri tüm karbonizasyon sıcaklıkları ve ısıtma hızlarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Buda yosun yapısının oldukça homojen ve benzer organik yapısal birimlere sahip olması ile açıklanabilir.

Isıl değer sonuçları ham örneğin kalori değerinin yüksek (1798,88 kalori/gram) olmasına karşın karbonizasyon sonucu azalış söz konusudur. Ancak piroliz sıvısının kalori değerinin yüksek olması önemlidir.

Tez kapsamında öneriler olarak;

1. Yosun doğal sulu ortamda yetişen ve kirlilik giderimin de önemli bir biyokütledir. Nem içeriğinin yüksek olmasına karşın miktarsal olarak çok fazla olduğundan enerji üretiminde tek başına ve/veya diğer atıklar ile karıştırılarak kullanılabilir.
2. Karbonizasyon sonucu kalori değeri düşük olsada inorganik yapısı nedeniyle imento endüstrisinde yakıt ve/veya hammadde olarak kullanılabilir.
3. Karbonize biyokütle olarak tarımda kullanılabilir üründür. Kalsit ve gözenekli yapısı su tasarrufu için oldukça önemlidir.
4. Tamamen yakıldığında kül hammadde olarak imento üretiminde kullanılabilir bileşimdedir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, H., and Wu, H. (2009). Biochar as a fuel: 1. Properties and grindability of biochars produced from the pyrolysis of mallee wood under slow-heating conditions. *Energy and fuels*, 23(8), 4174-4181.
- Aktar, S., ve Cebe, G. E. (2010). Alglerin genel özellikleri, kullanım alanları ve eczacılıktaki önemi.
- Al Arni, S., Bosio, B., and Arato, E. (2010). Syngas from sugarcane pyrolysis: An experimental study for fuel cell applications. *Renewable energy*, 35(1), 29-35.
- Ayanoğlu, A., and Yumrutaş, R. (2016). Production of gasoline and diesel like fuels from waste tire oil by using catalytic pyrolysis. *Energy*, 103, 456-468.
- Balcı, T. R. Likenlerin biyoyakıt olarak kullanımı.
- Beattie, W. H., Berjoan, R., and Coutures, J. P. (1983). High-temperature solar pyrolysis of coal. *Solar energy*, 31(2), 137-143.
- Bridgwater, A. V., and Peacocke, G. V. C. (2000). Fast pyrolysis processes for biomass. *Renewable and sustainable energy reviews*, 4(1), 1-73.
- Bridgwater, A. V., Meier, D., and Radlein, D. (1999). An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic geochemistry*, 30(12), 1479-1493.
- Burrows, E. M., Dixon, P. S., and Irvine, L. M. (1991). Seaweeds of the british isles: Chlorophyta. vol. 2. HM stationery office.
- Caillat, S., and Vakkilainen, E. (2013). *Biomass combustion science, technology and engineering*: 9. Large-scale biomass combustion plants: an overview.
- Chin, Y. X., Chen, X., Cao, W. X., Sharifuddin, Y., Green, B. D., Lim, P. E., and Tang, Q. J. (2020). Characterization of seaweed hypoglycemic property with integration of virtual screening for identification of bioactive compounds. *Journal of functional foods*, 64, 103656.
- Chintala, V., Kumar, S., Pandey, J. K., Sharma, A. K., and Kumar, S. (2017). Solar thermal pyrolysis of non-edible seeds to biofuels and their feasibility assessment. *Energy conversion and management*, 153, 482-492.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology advances*, 25(3), 294-306.
- Demirbas, A. (2007). Production of gasoline and diesel fuels from bio-materials. *Energy sources, part A*, 29(8), 753-760.
- Demirbas, A., and Arin, G. (2002). An overview of biomass pyrolysis. *Energy sources*, 24(5), 471-482.
- Demirbaş, A. (2000). Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. *Energy conversion and management*, 41(6), 633-646.

- Dias, R. A., Mattos, C. R., and Balestieri, J. A. (2004). Energy education: breaking up the rational energy use barriers. *Energy policy*, 32(11), 1339-1347.
- El Gamal, A. A. (2010). Biological importance of marine algae. *Saudi pharmaceutical journal*, 18(1), 1-25.
- Evrenosoğlu, M., Eliçin, K., Borowski, P., Caner, K. O. Ç., Gezici, M., ve Gürhan, R. (2013). Biyoyakıt amaçlı nanochloropsis salina mikroalg türünün bazı yetiştirme parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım makinaları bilimi dergisi*, 9(2), 99-107.
- Guiry, M. D. R. (Ed.). (2007). The freshwater and terrestrial algae. *Royal irish academy*.
- Hardy, F. G., and Guiry, M. D. (2006). A check-list and atlas of the seaweeds of Britain and Ireland.
- Hita, I., Arabiourrutia, M., Olazar, M., Bilbao, J., Arandes, J. M., and Castano, P. (2016). Opportunities and barriers for producing high quality fuels from the pyrolysis of scrap tires. *Renewable and sustainable energy reviews*, 56, 745-759.
- Hong, I. K., Jeon, H., and Lee, S. B. (2014). Comparison of red, brown and green seaweeds on enzymatic saccharification process. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 20(5), 2687-2691.
- Horne, P. A., and Williams, P. T. (1996). Influence of temperature on the products from the flash pyrolysis of biomass. *Fuel*, 75(9), 1051-1059.
- Hossain, A. K., and Davies, P. A. (2013). Pyrolysis liquids and gases as alternative fuels in internal combustion engines—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 21, 165-189.
- İnternet: Yeşil Alg Türlerinden Biri Olan Chaetomorpha Linum (2021). Erişim Adresi: (<https://www.sciencephoto.com/media/722489/view/green-hairweed-chaetomorpha-linum>) Son erişim tarihi: 07.06.2021.
- İnternet: Yıllara Göre Türkiye’deki Enerji Tüketimi (2021). Erişim Adresi: (<https://ourworldindata.org/energy-mix>) Son Erişim Tarihi: 08.07.2021.
- Khan, S., Siddique, R., Sajjad, W., Nabi, G., Hayat, K. M., Duan, P., and Yao, L. (2017). Biodiesel production from algae to overcome the energy crisis. *Hsyati journal of biosciences*, 24(4), 163-167.
- Kılınç, B., Cirik, S., Turan, G., Tekogul, H., and Koru, E. (2013). Seaweeds for food and industrial applications. In food industry. Intechopen.
- Kim, S. K. (Ed.). (2011). Handbook of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology. John Wiley and Sons.
- Lewandowski, W. M., Januszewicz, K., and Kosakowski, W. (2019). Efficiency and proportions of waste tyre pyrolysis products depending on the reactor type-A review. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 140, 25-53.

- Mahari, W. A. W., Azwar, E., Foong, S. Y., Ahmed, A., Peng, W., Tabatabaei, M., and Lam, S. S. (2021). Valorization of municipal wastes using co-pyrolysis for green energy production, energy security, and environmental sustainability: A review. *Chemical engineering journal*, 129749.
- Mondal, S., Mondal, A. K., Chintala, V., Tauseef, S. M., Kumar, S., and Pandey, J. K. (2021). Thermochemical pyrolysis of biomass using solar energy for efficient biofuel production: A review. *Biofuels*, 12(2), 125-134.
- Montes, M. J., Abanades, A., and Martinez-Val, J. M. (2009). Performance of a direct steam generation solar thermal power plant for electricity production as a function of the solar multiple. *Solar energy*, 83(5), 679-689.
- Nagarajan, S., Chou, S. K., Cao, S., Wu, C., and Zhou, Z. (2013). An updated comprehensive techno-economic analysis of algae biodiesel. *Bioresource technology*, 145, 150-156.
- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., and Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(2), 578-597.
- Newton, L. (1931). Handbook of the british seaweeds.
- Özdemir, N., ve Erkmen, J. (2013). Yenilenebilir biyoplastik üretiminde algerin kullanımı. *Karadeniz fen bilimleri dergisi*, 3(8), 89-104.
- Pienkos, P. T., and Darzins, A. L. (2009). The promise and challenges of microalgal-derived biofuels. *Biofuels, bioproducts and biorefining: Innovation for a sustainable economy*, 3(4), 431-440.
- Ramirez, C. H. V. (2017). Biogas production from seaweed biomass: a biorefinery approach (Doctoral dissertation, doctoral Thesis). Institute of technology, Sligo, Ireland).
- Ren, J., Liu, Y. L., Zhao, X. Y., and Cao, J. P. (2020). Biomass thermochemical conversion: A review on tar elimination from biomass catalytic gasification: *Journal of the energy institute*, 93(3), 1083-1098.
- Rutz, D., and Janssen, R. (2007). Biofuel technology handbook. WIP Renewable energies, 95.
- Sudhakar, K., Mamat, R., Samykano, M., Azmi, W. H., Ishak, W. F. W., and Yusaf, T. (2018). An overview of marine macroalgae as bioresource. *Renewable and sustainable energy reviews*, 91, 165-179.
- Tiftik, B. E. (2006). Çay fabrikası atığının pirolizi ve piroliz ürünlerinin incelenmesi. Yüksek lisans, Ankara üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, Ankara, 32-45.
- Uddin, I., Wang, G., Gao, D., Hussain, Z., Naz, M. Y., Hou, B., and Hayat, A. (2021). Conventional and cement-catalyzed co-pyrolysis of rice straw and waste polyethylene into liquid and gaseous fuels by using a fixed bed reactor. *Biomass conversion and biorefinery*, 1-10.

- Wu, C., Budarin, V. L., Gronnow, M. J., De Bruyn, M., Onwudili, J. A., Clark, J. H., and Williams, P. T. (2014). Conventional and microwave-assisted pyrolysis of biomass under different heating rates. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 107, 276-283.
- Zhang, Z., Ju, R., Zhou, H., and Chen, H. (2021). Migration characteristics of heavy metals during sludge pyrolysis. *Waste management*, 120, 25-32.
- Zhou, G., Qiu, X., Zhang, J., and Tao, C. (2019). Effects of seaweed fertilizer on enzyme activities, metabolic characteristics, and bacterial communities during maize straw composting. *Bioresource technology*, 286, 121375.



EKLER

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında verilmiştir.)



DİZİN

A

Abstract · VI
 Alg tanımı · 4
 Alglerin oluşumu · 4
 Alglerin sınıflandırılması · 5
 Alglerin kullanıldığı sektörler · 8
 Avantajlar · 19
 Araştırma bulguları · 30

B

Biyokütle · 9
 Biyokütle gazlaştırma · 15
 Biyokütle olarak alg · 10
 Biyokütle türleri · 10
 Biyokütle pirolizi · 14
 Biyoyakıt · 12

C

Chaetomorpha Linum ·
 iv,vi,5,7,34,35

Ç

Çizelge ·
 5,11,19,30,31,32,33,36,39,42,
 44,45,47,49,51,55,57,60,62,65,
 ,67

D

Dezavantajlar · 19
 Dizin · 77
 DTA-TGA · iv,vi,xi,22,71,

E

Elementel analiz ·
 xii,22,26,44,45,51,52,70
 EKLER · 76

F

FTIR ·
 iv,vi,x,xii,xvi,22,28,36,39,42,
 44,45,47,49,55,57,60,62,65,67,
 ,69,71

G

Giriş · 1

H

Hızlı piroliz · x,9,14,16,17,18,19

K

Kalorifik değer
 ·25,27,32,33,34,70
 Kaynaklar · 72
 Karbonizasyon ·
 21,22,23,21,30,31,32,34,40,41,
 ,52,69,70
 Kül tayini · 22,24,31,70

M

Mikroalg · 6 ·
 Makroalg · 7 ·
 Materyal · 21
 Materyal ve yöntem · 21

Ö

Özet · VI

P

Piroliz ·
 9,13,14,15,16,17,18,19,20,33,
 71,74

R

Resim ·
 8,13,21,23,24,26,34,35,36,38,
 41,43,46,50,54,57,59,62,64,67

S

SEM ·
 22,27,28,35,36,38,41,43,45,46,
 ,50,52,57,59,62,64,67,69,71
 Simgeler ve kısaltmalar · xvi
 Sonuç ve öneriler · 70

Ş

Şekil ·
 3,9,33,34,35,37,38,40,41,42,4
 3,44,45,46,47,48,49,50,51,52,
 55,56,58,59,60,61,63,64,65,66,
 ,68

T

Termokimyasal dönüşümler · 13
 Teşekkür · viii

U

Ulaşım · 12,20

Y

Yavaş piroliz · 17
 Yöntem · 22

X

XRD ·
 22,27,28,35,41,44,47,49,52,56,
 ,59,61,64,66,69



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

