T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

GAP BÖLGESİNDE YAYGIN BİYOKÜTLE KAYNAKLARINDAN BİYOPELET VE BİYOKÖMÜR ELDESİ

Kevser KUTUPLA KISE

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
1. GİRİŞ 1
1.1. GAP Bölgesindeki Biyo Kütle Kaynakları 2
1.2. Yenilebilir Enerji 3
1.2.1. Enerji kavramı 3
1.2.2. Enerji kaynakları 3
1.2.3. Enerji yoğunluğu 4
1.2.4. Enerjinin önemi ve ekonomisi 4
1.3. Enerji ve Karbon Metabolizması 5
1.4. Ülkemiz de Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Tüketimi 7
1.4.1. Güneş enerjisi 8
1.4.2. Rüzgâr enerjisi 8
1.4.3. Hidroelektrik enerji 9
1.4.4. Jeotermal enerji 10
1.4.5. Elektrik enerjisi üretim 10
1.4.6. Biyokütle enerjisi 11
1.5. Yeşil Pelet 11
1.5.1. Yeşil kömür kaynakları 14
1.5.2. Bitkisel kaynaklar 15
1.5.3. Hayvansal kaynaklar 15
1.5.4. Kentsel ve endüstriyel kaynaklar 16
1.5.5. Yeşil kömür dönüşüm prosesleri 16
1.6. Biyokütle Üzerinde Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Isıl Analiz Yöntemleri 17
1.6.1. Diferansiyel ısıl analiz (DTA) 17
1.6.2. Termogravimetri (TG) 18
1.6.3. FT-IR analizi 19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 21
3. MATERYAL ve YÖNTEM 24
3.1. Materyal 24
3.2. Yöntem 24
3.2.1. Biyopelet ve biyokömür örneklerinin hazırlanması 24
3.2.2. Düşük sıcaklık kuru piroliz (Torrefaksiyon) deneyi 25
3.2.3. Elementel analiz 28
3.2.4. Kül miktarı tayini 29
3.2.5. Kalorifik değer tayini 30
3.2.6. Termogravimetrik analiz (TGA) 31
3.2.7. Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizi 31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 32
4.1 Biyokömür Kütle ve Enerji Verimi 32
4.2 Biyokömürün ve Biyopeletinelementel Analizi 32
4.3. Termogravimetrik Analiz (TGA) 42
4.4. Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi 53
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 65
KAYNAKLAR 67
ÖZGEÇMİŞ 73

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GAP BÖLGESİNDE YAYGIN BİYOKTLE KAYNAKLARINDAN BİYOPELET VE BİYOKÖMÜR ELDESİ

Kevser KUTUPLA KISE

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ASLAN
2. Danışman: Doç. Dr. Mustafa BOYRAZLI
YIL: 2022, Sayfa: 73

Geçmiş yıllara göre enerji tüketiminin %40'a ulaştığı günümüzde, enerjinin %80'i fosile dayalı üretim tesislerinden sağlanmaktadır. Fosil kaynakların kullanımı her geçen gün iklim değişikliğine neden oluyor. Küresel iklim değişikliğinin ana sebebinin, dünyanın ısısını koruyan sera gazlarının salınımında insan faaliyetleri olduğu tespit edilmiştir. Aralık 2015'te Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı'nda 195 ülke tarafından kabul edilen Paris Anlaşması, iklim değişikliğine karşı küresel mücadelede tarihi bir dönüm noktası oldu. Bu anlaşma; İklim değişikliğini azaltmayı, sıcaklığı sabit tutmayı ve hatta düşürmeyi amaçlıyordu. Bu tez çalışmasında, karbon ayak izini azaltmak ve karbon emisyonlarını azaltmak için bazı organik atık ürünlerin pirolizi gerçekleştirilmiştir. Evlerde yakıt olarak kullanılabilecek ve metal üretim sektöründe fosil yakıtların yerine geçebilecek bir ürün elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla prina (zeytin posası), pamuk sapları, mısır sapları, hayvansal atıklar, çam talaşı, arıtma çamuru ve yer fıstığı kabuğu gibi organik atıklar kullanılarak biochar elde edilmeye çalışılmıştır. 200, 310, 340 ve 370 °C'de (bazı örnekler 800 °C'ye kadar) 30 dakika süreyle gerçekleştirilen piroliz işlemleri sonucunda elde edilen karbonize ürünlerin karbon, kükürt ve sürücü içerikleri incelenmiş ve kalorifik değerleri değerler bu gaza bağlı olarak oluşur. Ayrıca TG/DTA analizleri de yapılmakta ve hangi yükseklikten ne kadar kütlenin muhafaza edilmesi amaçlanmaktadır. TGA analizine göre tüm organik materyallerin karbonizasyonunda belirli bir verim elde edilmiş ancak en iyi sonuç pirinanın (prina) 340°C'de tutulması sonucunda yaklaşık %60 oranında kütle kaybı olmuştur, kalorifik değeri ise 6798 cal/g olarak ölçüldü.

ANAHTAR KELİMELER: Yeşil kömür, Biyokütle, Biyokömür, Piroliz, Karbonizasyon

ABSTRACT

MSc Thesis

OBTAINING BIOPELET AND BIOCHAR FROM COMMON BIOMASS SOURCES IN THE GAP REGION

Kevser KUTUPLA KISE

Harran University
Graduate School of Natural andApplied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor:Assoc. Prof. Dr. Mustafa ASLAN
2. Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa BOYRAZLI
Year: 2022, Page: 73

Today, where energy consumption has increased by 40% compared to previous years, 80% of the energy comes from fossil-based production facilities. The use of fossil resources causes climate change every day. It has been determined that the main cause of global climate change is human activities in the emission of greenhouse gases that protect the world's heat. The Paris Agreement, adopted by 195 countries at the 21st Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change in December 2015, has been a historic turning point in the global fight against climate change. This agreement; It aims to reduce climate change, keep the temperature increase constant or even reduce it. In this thesis, pyrolysis of some waste organic materials was carried out in order to reduce the carbon footprint and reduce carbon dioxide emissions. It has been tried to obtain a product that can be used both as a fuel at home and as a substitute for fossil fuels in the metal production sector. For this purpose, biochar was tried to be obtained by using organic wastes such as pomace (olive pulp), cotton stalks, corn stalks, animal wastes, pine sawdust, sewage sludge and peanut shells. The carbon, sulfur and hydrogen contents of the carbonized products obtained as a result of the pyrolysis processes carried out for 30 min at the reaction temperatures of 200, 310, 340 and 370 °C (some samples up to 800 °C) were examined and their calorific values were found depending on these components. In addition, TG/DTA analyzes were also carried out to determine how much mass loss they had at which temperature. According to TGA analyses, a certain amount of efficiency was obtained in the carbonization of all organic materials, but the best result was obtained by keeping the olive pomace (pomace) at 340°C, resulting in a mass loss of approximately 60%, while its calorific value was measured as 6798 cal/g.

KEYWORDS: Greencoal, Biomass, Biochar, Pyrolysis, Carbonization

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca değerli yorum ve önerileri ile bana yol gösteren, eğitimimden araştırma konumun belirlenmesine kadar bilgi, ilgi ve becerisini benimle paylaşan ve her türlü öneri ve yönlendirmeleri ile benden yardımını esirgemeyen tez danışmanlarım Doç. Dr. Mustafa ASLAN ve Doç. Dr. Mustafa BOYRAZLI hocalarıma. Okul hayatım boyunca bilgisiyle, hayat görüşüyle, güzel kalbiyle, merhametiyle yardımcı olan Prof. Dr. Mehmet İrfan YEŞİLNACAR hocama, tezimin son şeklini vermeme yardımcı olan Dr. Kâmil VARINCA hocama , hayatımın her anında yanımda olan, beni koşulsuz seven, maddi manevi desteğini esirgemeyen canım annem Türkan KILIÇ'a ve canım ablam Yağmur AKBAYIR'a, dünyalar tatlısı yeğenim Melis AKBAYIR'a tez sürecim boyunca bana sabırla katlanan, yardımcı olan eşim Kenan KISE'ye, deney sürecimde hep yanımda olan, yardımlarını esirgemeyen dostlarım Ahmet ŞENGÜL ve Abdulkadir ELMAS'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Odun esaslı yakıt ham maddelerinin sınıflandırılması (Röser ve ark., 2008)..... 13
Şekil 3.1. Biyokütle üzerinde gerçekleştirilen işlemlerin akım şeması 25
Şekil 3.2. Piroliz deneylerinde kullanılan potanın şematik gösterimi 26
Şekil 3.3. Potanın fırın içinde işleme başlamadan ve işlem sonrası görüntüsü 27
Şekil 3.4. Piroliz deneylerinde kullanılan Nevola Reis 160/7 kül fırını 28
Şekil 3.5. Nem tayinin yapıldığı cihaz 30
Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş Zeytin çekirdeği ve posalarının C ve H_2 içeriğindeki değişim. 36
Şekil 4.2. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş pamuk saplarının C ve H_2 içeriğindeki değişim. 37
Şekil 4.3. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş hayvansal atıkların C ve H_2 içeriğindeki değişim 38
Şekil 4.4. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş arıtma çamurunun C ve H_2 içeriğindeki değişim 39
Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş mısır saplarının C ve H_2 içeriğindeki değişim ... 39
Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş fıstık kabuklarının C ve H_2 içeriğindeki değişim. 40
Şekil 4.7. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş çam talaşlarının C ve H_2 içeriğindeki değişim... 40
Şekil 4.8. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş zeytin kabukları ve posası, fıstık kabukları, mısır sapları, çam talaşı ve pamuk sapları karışımının (arıtma çamuru hariç) C ve H_2 içeriğindeki değişim 41
Şekil 4.9. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş bütün malzemelerin karışımlarının C ve H_2 içeriğindeki değişim 42
Şekil 4.10. Zeytin posa ve çekirdeklerinin TG/DTA analizi 43
Şekil 4.11. Pamuk Saplarının TG/DTA analizi 44
Şekil 4.12. Mısır sapları TG/DTA analizi 45
Şekil 4.13. Hayvansal atıkların TG/DTA analizi 46
Şekil 4.14. Arıtma Çamuru TG/DTA analizi 47
Şekil 4.15. Fıstık kabuklarının TG/DTA analizi 49
Şekil 4.17. Pamuk, Fıstık, Mısır, Zeytin ve Çam Talaşından Oluşan Karışımın TG/DTA analizi 51
Şekil 4.18. Pamuk, fıstık, mısır, zeytin, çam talaşı, arıtma çamuru ve hayvansal atıktan oluşan karışımın TG/DTA analizi..... 52
Şekil 4.19. FTIR analizindeki dalga sayısına göre bağ yapısı 55
Şekil 4.20. Zeytin atıklarının (pirina) FT-IR spektrumları(t/$cm-1$)..... 56
Şekil 4.21. Pamuk saplarının FT-IR spektrumları (t/$cm-1$)..... 57
Şekil 4.22. Fıstık Kabuklarının FT-IR Spektrumları (t/$cm-1$)..... 58
Şekil 4.23. Mısır saplarının FT-IR spektrumları(t/cm-1) 59
Şekil 4.24. Çam talaşı FT-IR spektrumları(t/cm $-$ 1)..... 60
Şekil 4.25. Hayvansal atık FT-IR spektrumları(t/(cm $-$ 1)..... 61
Şekil 4.26. Mısır, zeytin, pamuk çam talaşı karışımı FT-IR spektrumları(t/cm-1) 62
Şekil 4.27. ZPFMÇAH karışımı FT-IR spektrumları t/(cm $-$ 1)..... 63
Şekil 4.28. Karışım FT-IR spektrumları t/(cm $-$ 1)..... 64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan biyokütle örnekleri 24
Çizelge 3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kül analizleri 31
Çizelge 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan biyomalzemelerin torrefaksiyon deneyleri sonucu C, S, N_2 ve H_2 içeriğindeki değişimi 33
Çizelge 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan biyomalzemelerin torrefaksiyon deneyleri sonucu kalorifik değerlerindeki değişim 34
Çizelge 4.3. Zeytin atıklarının (pirina) farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri 44
Çizelge 4.4. Pamuk saplarının farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri 45
Çizelge 4.5. Mısır saplarının farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıplarıve kalorifik değerleri 46
Çizelge 4.6. Hayvansal atıkların farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıplarıve kalorifik değerleri 47
Çizelge 4.7. Arıtma çamurunun farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri 48
Çizelge 4.8. Fıstık kabuklarının farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri 50
Çizelge 4.9. Çam talaşının farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıplarıve kalorifik değerleri 51
Çizelge 4.10. Pamuk, fıstık, mısır, zeytin ve çam talaşından oluşan karışımın oluşan karışımın farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri 52
Çizelge 4.11. Pamuk, fıstık, mısır, zeytin, çam talaşı, arıtma çamuru ve hayvansal atıktan oluşan karışımın farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri 53
Çizelge 4.12. Torrefaksiyon deneyleri sonrası zeytin atıkları (pirina) içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları 56
Çizelge 4.13. Pamuk saplarının içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları 57
Çizelge 4.14. Fıstık kabuklarının içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları 58
Çizelge 4.15. Mısır saplarının içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları 59
Çizelge 4.16. Çam talaşı içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları 60
Çizelge 4.17. Hayvansal atık içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları 61
Çizelge 4.18. Mısır sapları, pirina, pamuk sapları ve çam talaşından oluşan karışımın içerisinde bulunan farklı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları 62
Çizelge 4.19. Pirina, pamuk sapları, Mısır sapları, çam talaşı ve hayvansal atıklardan oluşan karışımın içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları 63
Çizelge 4.20. Tüm ürünlerin harmanlanmasından oluşan oluşan karışımın içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları aşağıda verilmektedir 64

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların yakılması nedeniyle önümüzdeki elli yılda karbondioksit CO_2konsantrasyonunun benzeri görülmemiş bir oranda artması beklenmektedir. Bu fosil yakıtların, hâlihazırda birçok iklim değişikliğine neden olan ve şüphesiz zamanla durumu daha da kötüleştirecek olan küresel sıcaklıkta hızlı bir artışa neden olduğu bilinmektedir. Ancak bu antropojenik etkilerden kaçınmak için hemen hemen tüm dünyada çalışmalar giderek artmaktadır. Kyoto Protokolü, imzalayan ülkelerin mevcut kaynaklardan CO_2 emisyonunu azaltmayı taahhüt ettiği bu tür bir girişimdir. Bu hedefi gerçekleştirmek için, şehirlerin yaklaşık % 34'ünün doğrudan ısıtma ve soğutma işlemlerinin % 18'i yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmak zorundadır. Sera gazı emisyonlarını azaltmak için rüzgâr enerjisi ve biyokütle enerjisi gibi, alternatif yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları dikkate alınmalıdır. Ancak düzenli rüzgâr tedarikinin sınırlı olması yatırımcıları endişelendirmektedir. Bu nedenle, mevcut enerji talebindeki zorluk, enerji arzı, sürdürülebilirlik, sınırlı fosil yakıt kaynakları ve bunların çevresel etkileri, biyokütle kullanımına olan ilgiyi yoğunlaştırmaktadır. Biyokütle, enerji krizinin yanı sıra fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevresel zorlukları azaltmak için büyük bir potansiyele sahip alternatif, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır (Genzeb Belsie Nge, 2014). Günümüzün biyoyakıtlarının çoğu, tarım arazilerinde yetiştirilen mahsullerden üretilmektedir. Bununla birlikte, önceden gıda, yem ve lif pazarları için ayrılan tarım veya mera arazileri biyoyakıt üretimine yönlendirildiğinde, yakıt dışı talebin karşılanması da gerekecektir. Bu nedenle, diğer besinlerin dışında alternatifler, çeşitli biyokütle arıtma teknolojileri yoluyla enerji üretimi için ikame ham maddeler olarak düşünülmelidir.

Biyokütleyi çeşitli sektörlerde gerekli şekilde katma değerli ürünlere dönüştürmek için çeşitli termokimyasal veya biyolojik işlemler kullanılabilir. Biyokimyasal dönüşümlerde gaz veya sıvı ürünler baskınken, katılar (biyokömür) termokimyasal dönüşümün ana ticari ürünleridir (Genzeb Belsie Nge, 2014)). Buna ek olarak, enerji eksikliği tahmini ve yakıt maliyetindeki son artışların gerçekleri,

dünyayı enerji tasarrufu yapma ve yerel enerji tabanlarını genişletme ve yönünü yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji arzına değiştirme ihtiyacına getirmiştir.

Bu çalışmada zeytin küspesi (pirina), pamuk sapları, mısır sapları, hayvansal atıklar, çam talaşı, arıtma çamuru ve fıstık kabukları gibi organik atıklar kullanılarak biyokömür elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla bahsi geçen organik maddeler farklı sıcaklıklarda 30 min boyunca karbonizasyon işlemine tabi tutulup elde edilen karbonize ürünlerin analizleri gerçekleştirilmiş, linyit kömürüyle mukayesesi yapılmıştır.

1.1. GAP Bölgesindeki Biyo Kütle Kaynakları

Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP), küresel örneğiyle karşılaştırıldığında, coğrafi alanı, fiziki büyüklüğü ve hedefleri açısından önemli bir projesidir. GAP estas integra multi-sektora regiona evoluprojekto efektivigita en Adıyaman, Batman, Diyarbakı, Şanlıurfa, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt ve Adıyaman illerini kapsayan çok sektörlü entegre bir çok büyük kalkınma projesidir. GAP alanının alanı.75.358 km2'dir ve bu, ülkenin yüzölçümünün %9,7'sidir. Projesi entegre yapısı nedeniyle sadece baraj, hidroelektrik santral, sulama tesisi gibi fiziki yatırımlarla sınırlı olmayıp aynı zamanda tarımsal kalkınma, sanayi, kentsel ve kırsal altyapı, iletişim, eğitim, sağlık, kültür, turizm gibi yatırımları da kapsamaktadır ve diğer sosyal hizmetler gibi sosyoekonomik sektörlerin geliştirilmesine yönelik yatırımları ve faaliyetleri içerir. GAP, bölgeler arasında artan eşitsizliği ortadan kaldırmayı amaçlayan ülkenin genel politikası içinde hedeflerini belirlemiştir.

GAP, az gelişmiş bölgelerin gelişme potansiyelinin ortaya çıkarılmasının ekonomik büyüme, sosyal istikrar ve ihracatın teşviki gibi ulusal hedeflere katkıda bulunduğunu belirten sayılı ülke politikası ile uyumludur. Her yıl 52,9 milyar. metreküpten fazla su çeken . Fırat ve Dicle . santral projesi ile Türkiye'nin toplam su potansiyelinin 'ü (%0,5) kontrol altına alınmıştır. yılda hektardan fazla araziyi sulamak ve 27 milyar kilovat saat su enerjisi üretmek mümkündür yaklaşık 7500 megavat kurulu güç ile . Planlanan toplam sulanan alan, ekonomik olarak sulanan toplam alanın %5'ine tekabül etmektedir. Türkiye'nin ekonomik olarak uygulanabilir elektrik

potansiyeline "Türkiye'nin ekonomik olarak sulanan tüm alanı ve toplam yıllık elektrik üretimi eşittir" eşittir.

1.2. Yenilebilir Enerji

1.2.1. Enerji kavramı

Enerji terimi; "en", "iç", "ergon", "iş" kelimelerinden oluşan Yunanca bir kelimedir. Ayrıca enerji kavramı iş, dinamizm, güç, madde ve maddenin üretme yeteneği ile eş anlamlı olarak kullanılmıştır. Antik çağlardan beri tüm üretim süreçlerinde belirli bir enerji kaynağı kullanılmalıdır (Demirbaş, 2002).

1.2.2. Enerji kaynakları

Enerji kaynakları, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları, tükenebilir enerji rezervlerinden oluşur. Ülkelerin sanayileşmesi ve büyümesi ile ilgili olarak alternatif enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynakları, gelecekte olası sorunlara karşı enerji sorununu çözmenin yollarını aramaktadır (Doğan, 2010).

Yenilenemeyen enerji kaynakları temel olarak ikiye ayrılır. Bunlar şunları içerir: petrol, doğal gaz, kömür ve nükleer enerji. Bu kaynak rezervleri sonsuz olmadığı için yenilenemeyen olarak kabul edilir. Bu kaynaklar oluştuklarından daha hızlı tüketilen enerji kaynaklarıdır. Bu yakıt oluşumu milyonlarca yıl sürdüğü gibi tüketimi çok hızlı olmaktadır (Ertaş, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal kaynaklardan temin edilen ve sürekli yenilenebilen kaynaklardır. Yenilenebilir enerji, güneş ışığı, yağmur, rüzgâr, ve dalgalar vb. doğal kaynaklardan elde edilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dünya var olduğu sürece tükenmeyen kaynaklar da denilmektedir (Onbaşıoğlu, 2011).

Fosil yakıtlara dayalı enerji kullanımı, yani genel olarak yenilenemeyen yakıtlar; Yabancı üreticilerin yakıtlara bağımlılığı ve çevre sorunları gibi önemli olumsuz

faktörlerfosil yakıt rezervlerinin hızla yok olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısını arttırmaktadır (Uğurlu, 2009).

1.2.3. Enerji yoğunluğu

Enerji verimliliğinin önemli bir göstergesi enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu, dünya çapında kullanılan ve birim GSYİH (Gayri Safi Yurt İçi Hasıla) başına kullanılan birincil enerji miktarını temsil eden bir göstergedir. Bir ülkedeki enerji yoğunluğu ne kadar fazla düşükse, o ülkede bir birim çıktı üretmek için kullanılan enerji o kadar düşük olur. Enerji yoğunluğu göstergesinde ekonomik üretim, enerji verimliliğindeki artış veya azalış, yakıt ikamesindeki değişimler aynı şekilde ifade edilmekte ve bu göstergedeki değişimleri ayrı ayrı belirlemek mümkün olmamaktadır (Karaosmanoğlu, 2004).

Enerji açısından, bir ülkenin gelişmişlik düzeyi, kişi başına düşen enerji tüketimi veya enerji yoğunluğu ile belirlenir. Kişi başına düşen enerji tüketiminin yüksek olması, ülkedeki ekonomik faaliyetlerin hareketliliğini hem de bu ülke nüfusunun refah düzeyinin yüksek olduğunu göstermekteyken daha düşük enerji yoğunluğu, daha az enerji kullanıldığında aynı miktarda enerji veya aynı çıktı seviyesinde daha yüksek bir çıktı gücü anlamına gelmektedir (Karaosmanoğlu, 2004).

1.2.4. Enerjinin önemi ve ekonomisi

Enerjinin sanayileşmenin temel faktörlerinden biri olması, gerekli enerjinin zamanında, bol ve yeterli arzını gerektirmektedir. Modern dünyada birçok ürün ve hizmetin yeni teknolojiler kullanılarak üretilmesi, daha yüksek enerji tüketimine yol açmaktadır. Bu durum, ülkelerin enerji hakkında daha bütünleşik bir yaklaşım benimsemesini ve enerji sorununa acil çözümler bulmasını gerektirmektedir (Apaydın, 1996).

Ülkemiz sanayisinin Avrupa Birliği tam üyelik sürecinde Topluluğun diğer üye ülkeleriyle rekabet edebilmesi için alınması gereken önlemlerden biri üretim maliyetlerinin düşürülmesi olmalıdır. Bir ürünün maliyetini önemli ölçüde belirleyen

faktörlerden biri de enerji maliyetidir. Ekonomiyi dış rekabete hazırlamak için yerli enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve farklılaştırılmasında, enerji tüketiminde ekonomi ve verimlilik ilkelerinin gözetilmesi gerekmektedir (Doğanay, 1994).

Günümüzde sunulan teknolojik ilerlemelerin ve fırsatların sürdürülebilmesi için doğrudan veya dolaylı olarak enerji tüketilmesi gerekmektedir. Tüketilmesi gereken enerjinin çoğu fosil yakıtlar nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Fosil yakıtların insan ve çevre sağlığına verdiği zararlar, önlem alınmadığı takdirde gelecekte sadece sağlık alanında büyük bir çöküşe sebep olmayacak, aynı zamanda dünyamızı da yaşanabilir bir yer olmaktan çıkaracaktır.

Enerji; ulaşım, sanayi, konut ve işyerleri olmak üzere üç ana sektörde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

1.3. Enerji ve Karbon Metabolizması

Bitkilerde fotosentez sanında kimyasal olarak özellikle selüloz, lignin, nişasta ve fruktozanlar gibi fruktozanlar polimerleri şeklinde biriktirilen enerjinin kaynağı güneşten sağlanan foton enerjisidir. Fotosentezle inorganik CO_2 gazının karbonları ile suyun protonları oksijen (O_2) ve suyun protonları atomları arasında oluşturulan kimyasal bağ enerjisi hâlinde karbonhidratlara dönüşerek suda çözünmez karbonhidrat polimerleri hâlinde depolanmaktadır (Bassam, 1998).

Biyomalzemelerin kızartma pirolizi sırasında birçok organik molekül 100-500 °C'de parçalanır. 160-180 °C'de sükroz grubunun çoğu bileşeni çözünmeye başlar. Özellikle çam talaşı ve yer fıstığı gibi bileşenlerde bulunan selüloz, bir diğer önemli bileşen olan lignin 350°C'de bozulmaya başlar, ancak 500°C'ye kadar uçucu ürünler çıkarmaya devam eder. Ayrıştırıcılar genellikle su, karbon monoksit, CO ve/veya CO_2 ve birçok organik maddedir. İşlemin enerji tüketimi artar ve bazı uçucu bileşenler içeriden yanabilir. Kalan ürün genellikle karbonla zenginleştirilir ve renkleri kahverengiden siyaha değişen büyük, düzensiz moleküller oluşturur. Bu noktada maddenin "karbonize" veya "kömürleşmiş" olduğu söylenir. Biyokütle bileşenlerinde hemiselülozun pirolizi 210-310 °C arasında gerçekleşir. Selüloz pirolizi 300-315 °C

sıcaklıkta başlar ve 360-380 °C sıcaklıkta biter. Lignin yaklaşık 200°C'de bozunmaya başlar ve 1000°C'ye kadar devam eder (Bassam, 1998).

Güneş enerjisinin biyokütle biçiminde depolanmış enerjiye dönüştürülmesine "net birincil alışkanlık", üretkenlik denir ve ototrofik (kendi kendini besleyen) organizmaların yaşam ürünüdür. Enerji kaynağı olarak organik maddeler fotosentez ile sentezlenir. Hayvanın nefes alması için gerekli olan tüm O_2 atmosfere verilir. Organik maddelerin yanması sonucu oluşan CO_2 gazı daha önce bu malzemelerin oluşumu sırasında atmosferden alındığından, enerji üretimi sırasında biyokütle kaynaklı CO_2 emisyonları açısından çevre korunmaktadır. Bitkiler sadece besin zincirinin birinci aşaması sadece besin kaynağı değil, çevre dostu, yenilenebilir, tükenmez bir enerji kaynağıdır.

CO_2 asimilasyonu olarak da bilinen fotosentez, normalde bitkilerin yeşil yapraklarında kloroplast ismi verilen katmanlı bir yapıda meydana gelir. Güneş ışınlarının yardımıyla her sağlıklı yeşil yaprak için saatte yaklaşık 3 L O_2 üretilir. Yaklaşık 16 W'lık bir enerji akışı üreten bu olay 1 m^2 yaprak alanından elde edilir. Bir kişinin bir günde ihtiyaç duyduğu O_2'i üretmek için ortalama 15-30 m^2 yaprak yüzeyi gereklidir. Hesaplamalar orta ılıman iklim kuşağında büyük bir ağacın sadece bir yetişkinin bir yılda tükettiği O_2'i sağlayabildiğini göstermektedir (Türkiye Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi, 2005)

Güneş, fotobiyolojik etkisinin yanı sıra, canlıların yaşayabileceği sıcaklığı ve farklı türlerin uyum sağladığı mevsimsel iklim değişikliklerini, fotoperiyot ve bağıl nemdeki değişiklikleri, atmosferik basınç ve rüzgârı oluşturan anahtar unsurlardır. İklim hakkında Güneş'in Dünya üzerinde iki ana işlevi vardır, biri termodinamik ve ısı, diğeri ise fotobiyolojik (fotosentez). Bitki ve hayvanların biyokimyasal reaksiyonları için gerekli sıcaklık ve ışık koşullarını sağlayan tek faktör güneş enerjisidir. Yeşil bitkiler, fotosentez yoluyla CO_2 ve H_2O'yu azaltmak ve kimyasal bileşikler üretmek için güneş enerjisi kullanır. Bitkiler diğer canlı türlerine hayat verdiğinde, yandıklarında ısı verdikleri için enerji için de kullanılırlar. Bitki ve hayvanların vücutlarında ve atıklarında depolanan kimyasal bağların enerjisine

biyokütle enerjisi denir ve insanların fosil yakıt enerjisi ve gerçek biyokütle enerjisi olarak kullandığı enerjidir.

1.4. Ülkemiz de Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Tüketimi

Artan petrol fiyatları, sınırlı kaynaklar ve çevresel kaygılar nedeniyle, kömür ve petrole dayalı geleneksel yollarla elektrik üretilmesine alternatif olarak yenilenebilir kaynakların kullanılması giderek daha önemli hâle gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyoyakıt enerjisi, hidroelektrik, deniz dalgası enerjisi, jeotermal enerji ve benzeri şekillerde sunulmaktadır. Ancak uzun yıllar süren araştırmalar, güneş ve rüzgâr enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini, bunların arasında daha pratik ve basit olduğunu göstermiştir (Altaş, 1998).

Güneş enerjisi ve tüm yenilenebilir enerji kaynakları, son zamanlarda elektrikte dünyanın önde gelen yatırımı hâline geldi. Ülkemizde bulunan hidroelektrik, rüzgâr enerjisi ve modern, jeotermal enerji kaynakları önemli bir yere sahiptir. Dünyadaki tüm yeni enerji santrallerinin % 50'sinden fazlası güneş fotovoltaik, rüzgâr türbinleri, biyoenerji ve diğer kaynaklardır. Seri üretim sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları ana kaynak hâline gelmektedir.

Ülkelerin ekonomilerini geliştirmek ve rekabet güçlerini artırmak için yeterli, sürekli ve temiz enerjiye ihtiyaçları vardır. Türkiye'nin enerji kullanımı ve ithalatı hızlı bir şekilde büyümektedir. Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ve enerji arz güvenliğinin sağlanmasında çeşitlilik yaratılması gerekmektedir. Ülkemizin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirilebilmesi hâlinde yeterince yüksektir (Yılmaz ve Kösem, 2011). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Güneşlenme Isıtma zaman ve yoğunluk ölçümlerini incelemek için Elektrik Enerji Kaynakları ve İdaresi Ana Müdürlüğü (EİEİGM) geliştirme Türkiye'nin yıllık toplam güneş alma süresi 2640 saat, ortalama toplam ısı şiddeti ise bin 311 kWh olarak hesaplanmıştır. (metrekare/yıl) (Demir, 2012).

1.4.1. Güneş enerjisi

Yenilenebilir enerji denilince akla gelen en önemli kaynaklardan biri olan güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki gaz hâlindeki hidrojenin helyuma dönüşmesiyle açığa çıkan radyasyon enerjisidir. Dünyaya gelen güneş enerjisinin küçük bir kısmı bile dünyanın enerji tüketimini fazlasıyla aşmaktadır. Güneş enerjisi yaygın olarak elektrik veya termal enerjiye dönüştürülerek kullanılır. Güneş enerjisinin sıcaklık aralığına göre kullanımı şu şekildedir (Önal ve Yarbay, 2010);

Düşük sıcaklık aralığında kullanım (150 °C'nin altındaki sıcaklık);

- Kullanım suyu ısıtma
- Binaların ısıtılması ve havalandırılması
- Seralarda ve tarımda ürün kurutma
- Tuz üretimi ve su damıtma

Orta sıcaklık aralığında kullanım modları (sıcaklık 150-600 °C arasında);

- Küçük motorlar, güneş panellerinin kullanımı
- Buhar jeneratörü ile elektrik üretimi

Yüksek sıcaklık (600 °C'nin üzerindeki sıcaklık);

- Güneş Fırınları
- Elektrik üretimi
- Madde incelemesi

Güneş enerjisi, dünyada en çok kullanılan, kullanımı kolay olan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Ancak dünyaya giren güneş enerjisinin sadece % 0,04'ü kullanılmaktadır. Bunun temel nedenlerinden biri, güneş enerjisi üretim maliyetinin fosil yakıtların maliyetine yakın olmasıdır. Ancak teknolojinin gelişmesiyle birlikte güneş enerjisinin üretimi ve depolanmasında ilerlemeler yaşanmaktadır. Bu şekilde güneş enerjisi maliyetini düşürmekte ve bu alana yapılan yatırım miktarını artırmaktadır (Önal ve Yarbay, 2010).

1.4.2. Rüzgâr enerjisi

Yeryüzündeki fiziki farklılıklarla beraber güneşin atmosferi farklı ısıtmasından da rüzgâr enerjisi ortaya çıkmaktadır. Kısaca atmosferik basınç farklarından elde

edilen rüzgar enerjisi de bir diğer güneş enerjisi türüdür. Rüzgarın kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle rüzgar enerjisinden elektrik üretilir. Rüzgâr türbinleri, eksenlerin dönüş yönüne göre dikey ve yatay olmak üzere ikiye ayrılır. Yatay rüzgâr türbinleri daha çok enerji santrallerinde kullanılmaktadır. Günümüzde büyük rüzgâr santrallerinde teknolojik gelişmelere ek olarak 1,0-7,5 MW kapasiteli yatay eksenli rüzgâr gülleri (türbinleri) kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan rüzgâr türbinlerinde elektriğin üretildiği türbin ünitesi (rotor ünitesi) kule üzerinde yer seviyesinden 60 ila 120 m yükseklikte yer almaktadır. Bir rüzgâr türbininden alınan enerji miktarı, birincil türbin göbeğinin yüksekliğindeki rüzgâr hızına bağlıdır. Artan türbin göbeği yüksekliği ile rüzgâr enerjisinden maksimum verimle faydalanmaktadır. Dünyanın farklı ülkelerinde çok sayıda modern rüzgâr güllerinde (türbin) üretimi yapılmakta ve üretilen rüzgâr gülleri uzun yıllar boyunca kullanım sonucu enerji üretebilmektedir. Ortalama yaşam beklentisi 20 ila 40 yıldır (Önal ve Yarbay, 2010).

1.4.3. Hidroelektrik enerji

Hidroelektrik; suyun gücünün bir düşüşte veya hızda aldığı enerji ve bu gücün elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Ayrıca hidrolik enerji; diğer kaynaklara göre temiz, güvenilir, ucuz ve bilinen enerji kaynağıdır. Ayrıca sera gazı, küresel ısınma ve birçok çevresel kaygıya neden olan fosil yakıtlara olan bağımlılığı düşüren etkiye sahiptir. Hidroelektrik, dünya çapında elektrik üretimi için en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik santraller, akan suyun enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Akan sudaki enerji, damla veya akış hızı ile belirlenir. Suyun boyutu arttıkça taşıdığı enerji miktarı da artar. Ayrıca, su çok yüksek bir konumdan boşaltıldığında çok yüksek enerji seviyelerine ulaşılabilir. Hidroelektrik enerjisinin faydaları aşağıdaki gibidir (Önal ve Yarbay, 2010);

- Yenilenebilir, sürekli ve sürdürülebilirdir.
- Sera gazı emisyonu oluşturmaz.
- Hidro gücün yakıt maliyeti yoktur.
- Enerji santralleri yüke kolayca uyum sağlayabilir.
- Ülkemizdeki küçük ve büyük suların dağılımının değerlendirilmesini sağlar.
- Enerji santrallerinin inşaatı evsel tesisler kullanılarak yapılabilir.

- Tesisin işletme ve bakım maliyetleri düşüktür.
- Hidroelektrik santraller çok uzun servis ömrüne sahiptir ve yüksek verimlilikle çalışır.
- Enerji santrallerinin inşasında ve işletilmesinde istihdam sağlar.
- Özellikle az gelişmiş bölgelerde sosyo-ekonomik bir katkısı vardır.
- Bu, yabancı enerjiye bağımlılığımızı azaltmak için en önemli alternatiflerden biridir.

1.4.4. Jeotermal enerji

Jeoterm, yerkabuğunun farklı derinliklerinde biriken ısının genel adıdır. Jeotermal akışkan ise sıcak su, buhar ve gazlar gibi birçok farklı elementi bünyesinde barındırır. Jeotermal enerji, bu akışkanların entalpi ve ısısından elde edilen enerjinin adıdır. Bu enerji ile başka bir farklı enerjiye dönüştürülerek veya doğrudan ısı enerjisi kullanılarak yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşturulur. Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir birincil enerji kaynağıdır. Suyu olmayan sıcak kayalar da bir jeotermal enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji kaynakları yaygın olarak şu şekilde kullanılmaktadır.

1.4.5. Elektrik enerjisi üretim

Merkezi ısıtma, merkezi soğutma, sera ısıtması vb. ısıtma/soğutma uygulamaları,

• Proses ısı girişi, kurutma prosesleri gibi endüstriyel kullanımlar,

• CO_2, gübre, lityum, ağır su, hidrojen gibi kimyasal ve minerallerin üretimi

• Termal turizmde kaplıca kullanımı,

• Düşük Sıcaklıklarda (30 °C'ye kadar) su ürünleri yetiştiriciliği gibi uygulama ve değerlendirme alanlarında kullanım,

• Mineral içeren içme suyu üretimi,

1.4.6. Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi tükenmez bir kaynaktır ve hemen hemen her yerde elde edilebilir. Özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik bir enerji kaynağıdır. Biyokütle kaynakları genel olarak; mısır, buğday, deniz yosunu, ot, yosun gibi özel yetiştirilmiş bitkiler, gübreler ve endüstriyel atıklar, hayvan dışkıları, ev ve işyerlerinden çıkan tüm organik atıklar (meyve ve sebze artıkları) olarak sıralanabilir. Biyokütle enerjisi, özellikle petrol, kömür ve doğal gaz gibi yabancı kaynaklardan tüketilen fosil enerji kaynakları nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır (Önal ve Yarbay, 2010).

1.5. Yeşil Pelet

Petrolün yaygın olarak bulunabildiği 100 yıl öncesine kadar ormanlar her zaman insanlık için birincil enerji kaynağı olmuştur (FAO, 2008). Batı Avrupa'daki köylüler bir zamanlar kralların ve soyluların koruması altında olan ormanlarda “tahsis etme” (yani tarımsal ürünler için ormanları temizleme), orman artıkları ve ormandaki çöpleri toplama haklarını korumak için mücadele etmiştir (Andersson et al., 2002. Orman biyokütle kullanımının özellikle geleneksel şekli, uygulamada basit ve küçük ölçeklisidir. Ancak son dönemlerde, orman biyokütlesinin kullanımının endüstriyel enerji sistemlerine entegre edilmesini sağlayan büyük ölçekli teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bu gelişmenin ana teşviklerini ise petrol fiyatlarındaki dengesizlik ve fosil yakıt kullanımının sera gazı emisyonları yoluyla çevre üzerindeki etkilerine yönelik endişeler oluşturmaktadır (Andersson ve ark., 2002).

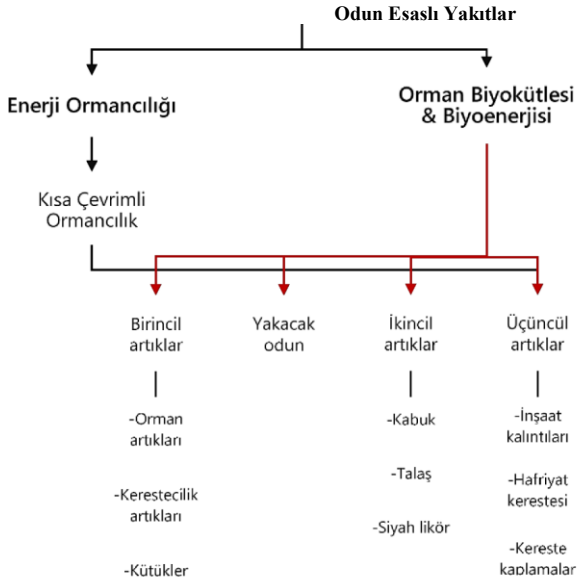
En eski enerji türlerinden biri olan odundan biyoenerji üretimi birçok sanayileşmiş ülkede uzun süre ilkel bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiş olsa da son zamanlarda bu enerji kaynağına yönelik dünya çapında bir ilgi artışı yaşanmaktadır. Bu durum temel olarak, sanayileşmiş ülkelerdeki fosil yakıt kaynaklarının azalmasının baskısı ve bazı gelişmiş ülkelerdeki nükleer enerjiden ve risklerinden daha bağımsız olma arzusundan kaynaklanmaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra biyoenerji, fosil yakıtlara bir alternatif olarak tanımlanmış olup bu şekilde sera gazı emisyonlarını azaltarak antropojenik bir iklim değişikliğinin daha da ilerlemesini önlemeye yardımcı olabilir (Seifert ve ark., 2014).

Enerji ormancılığı yeni bir kavram gibi gözükse de aslında eski dönemlere kadar uzanan bir geçmişe sahiptir. Enerji ormanı kavramı örneğin, Orta Avrupa'da 2000 yıldan beri bilinen ve yakacak odun üretiminde kullanılan eski kısa çevrimli baltalıkların modern şeklidir. Genelde 2 ila 10 yıllık rotasyonlarla işletilen kavak, söğüt, akasya ve okaliptüs gibi türler kısa çevrimli ormancılık kapsamında değerlendirilmektedir.

Yeşil kömür için tahsis edilen alanlardan verimli teknolojiyle üretilen odun, birçok ülkede zaten fosil yakıtlar ile rekabet hâlindedir ve biyoenerji ham maddeleri arasında en yüksek enerji ve karbon verimliliğine sahiptir. En önemlisi, odunun kombine ısı ve enerji santrallerinde % 80'e varan dönüşüm verimliliği bulunmakla birlikte odun-pelet sobaları benzer şekilde yüksek dönüşüm oranları sağlarlar. Bunun yanı sıra mevcut olan teknoloji ile aynı zamanda odun ve ağaç artıkları dâhil selülozik malzemelerden ticari olarak rekabetçi sıvı biyoyakıt üretimi de gerçekleştirilebilmektedir. Aynı zamanda yağ içeriği yüksek olan ağaç tohumlarından dizel yakıtına alternatif biyoyakıt üretilebilmektedir (FAO, 2008).

Fosil yakıtların azalan rezervleri ile maliyetleri arttıkça, odunun ve enerji ormancılığının önemi çarpıcı biçimde artmaktadır. Fosil yakıt tüketimini azaltmak ve sera gazı emisyonlarını sınırlamak için alternatif enerji kaynaklarından olan biyoenerji, yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen mevcut arzın büyük bir bölümünü oluşturur. Odun, yemek pişirmek ve ısıtmak için binlerce yıldır kullanılmaktadır. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde (Afrika'nın çoğunda), birincil enerji kaynağı olmaya devam etmektedir. Toplam odun yakıtı tüketimi, büyük ölçüde nüfus artışının bir sonucu olarak artmaktadır. Diğer gelişmekte olan bölgelerde, ulusal düzeydeki tüketim genellikle artan gelir seviyeleri ve artan şehirleşmenin bir sonucu olarak düşmektedir. Burada artan gelir seviyeleri ve artan şehirleşme fosil yakıtların daha fazla kullanılmasına yol açan iki önemli faktördür. Sanayileşmiş ülkelerde ve özellikle büyük ağaç işleme endüstrilerine sahip ülkelerde, odun enerjisi hem evsel hem de endüstriyel amaçlar için önemli miktarlarda kullanılmaktadır (FAO, 2008).

Yeşil kömür olarak bilinen enerji ormancılığı planlamalarında iki çeşit uygulama bulunmaktadır. Bunlardan birincisi mevcut ormanlardan sürdürülebilir orman yönetimine uygun olarak biyoenerji eldesidir. Burada mevcut ormanlardan elde edilen biyoenerji ham maddeleri üç grupta toplanabilir: (1) birincil, (2) ikincil ve (3) artıklar (Berndes, 2011) (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Odun esaslı yakıt ham maddelerinin sınıflandırılması (Röser ve ark., 2008)

Bir ağacın tüm bileşenleri enerji eldesinde kullanılabilir. Ancak farklı ağaç türleri ve ağaç bileşenleri arasında kullanılabilirlik ve kalite açısından farklılıklar bulunmaktadır.

Mevcut ormanların biyoenerji amacı ile yönetilmesi tüm dünyada zaten gerçekleştirilen bir seçenektir. Ancak günümüzde ulaşılması hedeflenen, kısa çevrimli ağaçların yetiştirildiği orman plantasyonlarının kurulması ve ağacın tüm biyokütle bileşenlerinden sürdürülebilir bir şekilde yararlanılmasıdır (Andersson ve ark., 2002).

Ağaçlar, 30 yıldan az bir rotasyon süresi ve yıllık odunsu üretimi en az 10 ton kuru madde veya hektar başına 25 m^3 olan tek gövdeli veya baltalık sistemler hâlinde

yetiştirilir. Üretilen biyokütle, inşaat, kâğıt hamuru ve kâğıt, yem ve enerji için kullanılmaktadır. Kısa çevrimli ormancılıktan elde edilen odun, tropikal ormanlardan ve korunan orman alanlarından elde edilen odunun yerini alabilir ve böylece gelecek nesiller için değerli doğal ormanların korunmasına yardımcı olabilir (Christersson and Verma, 2006).

- Yakıt sağlamanın yanı sıra çok amaçlı kullanımı olan tesislerin kurulması;
- Farklı alanlara iyi uyum sağlayan, kolayca yetiştirilen ve çok az bakım gerektiren türlerin kullanılması;
- Dik tepeler, kurak bölgeler ve tropikal yaylalar ve düşük besinli veya toksik topraklar gibi sorunlu ortamlarda yetişen türlerin kullanılması;
- Keçiler ve yaban hayatı tarafından tüketilmeyen türlerin tercih edilmesi şeklindedir (National Research Council, 1980b).

Enerji ormancılığı kapsamında kullanılabilecek türler ile ilgili ise istenen özellikler; bu türlerin (1) karbon yutak potansiyelinin yüksek olması, (2) azot sabitleme yeteneği, (3) hızlı büyümesi, (4) baltalık becerisinin olması, (5) kıvılcım veya zehirli duman olmadan yanan yüksek kalorifik değere sahip odun üretme yeteneği ve (6) farklı rakımlar, toprak türleri, yağış rejimleri, güneş ışığı miktarları ve arazi dâhil çok çeşitli ortamlarda başarılı bir şekilde büyüme yeteneğine sahip olmasıdır (National Research Council, 1980b). Bahsedilen tüm bu hususlara göre enerji ormancılığının bugün sürdürülebilir kalkınma kapsamında yer alan tüm konular ile ilişkili olduğu gayet açıktır.

1.5.1. Yeşil kömür kaynakları

Biyopelet kaynakları doğada, karada ve denizde yetişebilen, fosil kaynaklardan farklı özellikler içeren canlı veya canlılığını yeni yitirmiş organizmaların oluşturdukları toplam kütle olarak ifade edilebilirler. Biyopelet kaynakları genellikle bünyelerindeki su ve oksijen miktarları yüksek olmasına rağmen düşük yoğunlukta olan, homojen olmayan ve kalorifik açıdan düşük değerlere sahip kaynaklardır. Biyopelet kaynakları; bitkisel kaynaklar, hayvansal atıklardan elde edilen kaynaklar, evsel ve endüstriyel atıklar şeklinde sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmanın

haricinde biyokütle, klasik ve modern biyokütle şeklinde de ayrılabilmektedir. Klasik biyopelet, doğada var olduğu gibi kullanılabilen biyokütle kaynaklarıdır. Bu kaynaklardan en yaygın olarak kullanılanlar doğrudan yakılarak enerji üretiminde kullanılan odunlar, odunsu bitkiler, ağaç artıkları gibi ormansal kaynaklı olanlar ve tezek gibi hayvansal kaynaklı olanlardır. Modern biyokütle kaynaklarını ise özel amaçlarla enerji üretmek için yetiştirilen selülozik bitkilerin oluşturdukları enerji ormanları, enerji üretimi için özel olarak yetiştirilen algler, orman sanayisi atıklarından üretilen biyodizel, etanol gibi biyolojik temelli yakıtlar, şehirsel, hayvansal, tarımsal atıklar ve endüstriyel atıklar şeklinde sıralayabiliriz (Kazaz, 2018).

1.5.2. Bitkisel kaynaklar

Bitkisel kaynaklı biyokütleler yardımı ile yeşil yapraklı bitkiler doğadaki O_2 ve CO_2'i kullanarak fotosentez prosesi ile güneş enerjisini kimyasal enerji şeklinde depolarlar. Bu şekilde üretilen enerji biyokütle enerjisi adı altında kullanılmaktadır. Biyokütle enerjisi üretiminde kullanılabilen bitkisel kaynaklı biyokütle çeşitliliği karada ve suda bulunabilenler olarak çok fazladır. Orman kaynaklı ürünler, ağaçlar, özel olarak enerji üretmek amaçlı yetiştirilen C4, C3 bitkileri, selüloz, şeker ve nişasta içerikli bitkiler, biyogaz eldesinde kullanılabilen yağlı tohumlar, sulak alanlarda yetişen algler, yosunlar gibi su bitkilerini bitkisel biyokütle kaynakları arasında sayabiliriz. Son yıllarda enerji tarımı ile kurak iklimlerde yetiştirilebilen, suyu ve CO_2'i diğer bitkilere göre daha yüksek kapasitede kullanan tatlı sorgum, pensitum, şeker kamışı gibi C4 bitkilerinden biyolojik dönüşümler ile biyoetanol, biyodizel gibi biyoyakıtların üretimi de yapılmaktadır. Maliyet açısından değerlendirildiğinde, bir hektar araziden yıllık olarak 100 ton yaş, 30 ton civarında ise kuru bitkisel biyokütle elde edilebileceği söylenebilir (Bayramoğlu, 2013).

1.5.3. Hayvansal kaynaklar

Hayvansal atıklardan üretilen biyokütle kaynakları ile klasik yöntemler veya biyolojik dönüşüm yöntemlerinden yararlanılarak enerji üretilebilmektedir. Hayvansal biyokütle kaynağı olarak en yaygın kullanım alanı bulunan tezek doğrudan yakma prosesi ile enerji üretiminde kullanılabilirken oksijensiz ortamda gerçekleştirilen

fermantasyon prosesi ile biyogaz üretiminde de kullanılabilmektedir. Küresel olarak çok yaygın kullanımı bulunan biyogazın kalorifik değeri, yapısında bulundurduğu metan oranına bağlı olarak 1900 ile 27500 kJ/m^3 arasındadır. Dünya genelinde enerji üretiminde kullanılan hayvansal atıkların enerji kapasitesinin 20 EJ olduğu düşünülmekte ve özellikle Hindistan ve Çin'de hayvansal kaynaklı biyokütleden enerji üretiminin çok yaygın olduğu bilinmektedir

1.5.4. Kentsel ve endüstriyel kaynaklar

Kanalizasyon ve evsel atık sular, gıda sanayisi, kâğıt sanayisi, orman endüstri atıkları gibi çeşitli organik endüstriyel ve evsel atıklar, arıtma prosesleri sonucu oluşan atık sular, atıklar bu sınıfa girmektedir. Bu tür biyokütle kaynakları biyokimyasal prosesler ve aerobik organizmalar yardımı ile metan gazı üretiminde kullanılarak değerlendirilebilmektedirler. Atıklardan üretilen 1 m^3 metan gazının kalorifik değerinin, üretildiği biyokütlenin kimyasal yapısına bağlı değişmekle beraber yaklaşık 18 ile 27 MJ/Nm^3 civarında olduğu belirtilmektedir. İstatiksel verilere göre kentsel ve endüstriyel kaynaklı atıklardan üretilen biyokütle enerjisi dünya enerji kapasitesinin 6 EJ'ünü karşılayabilmektedir (Sözen ve ark., 2017).

1.5.5. Yeşil kömür dönüşüm prosesleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle, bünyelerinde bulundurdukları yüksek oranda nem ve oksijen içerikleri, boyutsal değişikliklerinden dolayı heterojen yapıda bulunmaları, düşük kütle ve enerji yoğunlukları ve düşük termal değere sahip olmaları gibi olumsuz yönlerini iyileştirmek amacı ile fiziksel işlemler veya dönüşüm prosesleri ile muamele edilirler. Biyokütle, geleneksel yöntemlerle ısı enerjisi üretebilmek için doğrudan yakılabildiği gibi modern yöntemlerle elektrik, termal enerji veya biyoyakıtlara dönüştürülerek de kullanılabilir. Biyokütle dönüşüm proseslerine; biyokütlenin karakteristik özellikleri, ısıl değeri, kimyasal yapısı, parçacık boyutu, miktarı, dönüştürülmek istendikleri enerji formu, son kullanım alanları, çevresel ve ekonomik koşullar gibi faktörler göz önünde bulundurularak karar verilebilir. Örneğin içerdikleri nem miktarı % 35'ten yüksek olan

biyokütle için termokimyasal prosesler kullanılamazken yüzde şeker oranları yüksek olanlar için biyokimyasal proseslerin uygun olduğu söylenmektedir (Kazaz, 2018)

1.6. Biyokütle Üzerinde Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Isıl Analiz Yöntemleri

Termal analiz, "ısıtılmış bir maddenin veya reaksiyon ürününün fiziksel özelliklerini sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçen bir grup teknik" olarak tanımlanır. (Kazaz, 2018). İncelenen maddeyi ve termal olarak inert özelliklere sahip diğer maddeleri kontrollü ısıtma sırasında hacim, kütle ve sıcaklık farklılıklarına göre analiz eden termal analiz yönteminde çeşitli yöntemler bulunmuştur. Bu yöntemler, bir maddenin bileşimi üzerinde doğru sonuçlar veren DTA (Diferansiyel Termal Analiz), DTG (Türev Termo Gravimetri) ve TG (Termo Gravimetri) içerir. Çoğu durumda, doğru sonucu elde etmek için tek bir termal analiz yeterli değildir. Bu nedenle DTA analizleri ve TG birlikte yapılır (Kazaz, 2018). İnorganik malzemeler, metaller, metal alaşımları ve polimerler termal analiz yöntemleri kullanılarak incelenir.

1.6.1. Diferansiyel ısıl analiz (DTA)

DTA, kontrollü bir ısıtma veya soğutma işlemi kullanılarak aynı sıcaklık değişimine tabi tutulduğunda, bir analitik numune ile termal olarak inert bir standart arasındaki sıcaklık farkının ölçülmesine dayanır. Numuneyi ve inert malzemeyi aynı anda ısıtarak, ısı transfer katsayıları ve ısı kapasitelerindeki farklılıklar ihmal edilebilir ve ısıtma sırasında numunede reaksiyon olmazsa aynı sıcaklıkta olmaları gerekir (Elementel Analiz Cihazı, 2010). Numunenin fırın içindeki sıcaklığı ve inert malzemenin sıcaklığı (T) eşitse, sıcaklık farkı (AT) sıfır olacak ve bu ana çizgi, kaydedicinin (ΔT) "temel çizgisi" olarak görünecektir. Isı transferi veya ısı transferi sırasında numunede bir faz değişikliği veya çatlama reaksiyonu meydana gelirse, numunenin ve inert malzemenin sıcaklık dağılımları farklı olacak ve sıcaklık değişimi taban çizgisinden bir sapma olarak kaydedilecektir. Bu sapmanın yönü, inert malzeme ile numune arasında sıcaklık farkına bağlıdır ve termal işlemin doğasını ortaya çıkarır. Endotermik süreçler negatif bir sıcaklık farkına neden olur ve ekzotermik süreçler pozitif bir sıcaklık farkına neden olur. Sıcaklığa

bağlı bir kimyasal veya fiziksel reaksiyon [ΔT=f(t)] eğrisinde bir maksimum üretir. Burada sıcaklık zamanın bir fonksiyonudur. Bu maksimumun kullanılması sıcaklık ve dönüşüm oranı hakkında bilgi verir. Çizilen eğriye DTA eğrisi denir. Yatay eksende zaman veya sıcaklık, dikey eksende ise soldan sağa doğru artan sıcaklık farkı (ΔT) çizilir. DTA zirvesinin altındaki alanı kullanarak, reaksiyon sıcaklığı veya değişimi (ΔH) dikkatli kalibrasyon ile belirlenebilir. Bunun nedeni, tepe alanının reaksiyon ısısının büyüklüğü ile doğru orantılı olmasıdır (Kazaz, 2018). Endotermik reaksiyonlara; dehidrasyon (H_2O veya OH olarak adsorpsiyon veya bağlı suyun uzaklaştırılması), yapısal bozunma, erime, buharlaşma, süblimleşme, ısının etkisi altında yapısal dönüşüm, manyetik dönüşüm (ferromanyetlerin demanyetizasyonu), indirgeme örnek olarak verilebilir. Ekzotermik reaksiyon örnekleri ise oksijensizleştirme (yanma dâhil), dondurma işlemleri, kristal yapısal yeniden düzenlemeler ve soğutma sırasında meydana gelen yapısal dönüşümlerdir (Yaslı, 2019).

1.6.2. Termogravimetri (TG)

Bu termal analiz yöntemi, numune belirli bir ortam altında ve sabit bir sıcaklıkta ısıtıldığında veya soğutulduğunda sıcaklığın veya zamanın [m = f(t veya T)] bir fonksiyonu olarak numunenin ağırlığındaki değişikliği kaydetmeyi içerir. Sıcaklığın numune ağırlığındaki değişiklikler üzerindeki etkisini belirlemek için bir TG eğrisi kullanılabilir. Bir TG eğrisi tipik olarak üç bölgeye sahiptir: azalan kütle bölgesi, artan kütle bölgesi ve kütlenin sabit kaldığı yatay kısım. Özellikle bileşik stabilitesini kontrol ederken, TG eğrisinin plato bölgesi, termal analiz uygulamaları için en önemli kısımdır. Sonucunda; orijinal numunenin bileşimi ve stabilitesi, üretilebilecek herhangi bir ara ürünün bileşimi ve termal stabilitesi ve mevcut olabilecek herhangi bir kalıntının bileşimi hakkında bilgi verir. Bu yöntem, yorumlanabilir bilgiler elde etmek için numunenin çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemler sonucu oluşan uçucu ürünler içermesini gerektirir.

Termogravimetrik analiz için uygulama alanları şunları içerir: organik, inorganik ve polimerik malzemelerin pirolizi, katı hâl reaksiyonları, minerallerin kalsinasyonu ve kavrulması, metallerin yüksek sıcaklıklarda ve farklı

atmosferlerde korozyonu, sıvıların damıtılması ve buharlaştırma, kömür pirolizi, petrol ve odun, nem, uçucu maddeler, kül ölçümü, buharlaşma ve süblimleşme oranı ölçümlerinin belirlenmesidir (Yaslı, 2019).

1.6.3. FT-IR analizi

Kızılötesi spektroskopi (IR), aktif karbonun kimyasal yapısını ve yüzey gruplarını aydınlatmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Aktif karbon yüzeyindeki bazik ve asidik fonksiyonel gruplar, özellikle FT-IR (Fourier Transform IR) spektroskopisi ile niteliksel olarak ölçülebilir (Elementel Analiz Cihazı, 2010).

Elektromanyetik spektrumun dalga boyları 0,75 ile 1000 µm arasında olan bölgesine "kızılötesi bölge" denir. Kızılötesi bölge yakın (0,75 µm ila 2,5 µm), orta (2,5 µm ila 15 µm) ve uzak (15 µm ila 1000 µm) kızılötesi bölgelere ayrılmıştır. Kızılötesi absorpsiyon spektroskopisi "titreşim spektroskopisi" olarak da adlandırılabilir. Bunun nedeni, molekülün titreşim hareketlerinin kızılötesi ışınları emmesidir. Çünkü kızılötesi radyasyon, UV ve görünür radyasyon gibi elektronik geçişler üretecek kadar yüksek değildir. Bununla birlikte, bir molekülün dönme ve titreşim seviyeleri arasında geçişler sağlayabilir.

Bir molekülün kızılötesi radyasyonu absorbe etmesi için dipol momentinin değişmesi gerekir. Absorpsiyon, yalnızca moleküle gönderilen kızılötesi radyasyonun frekansı, molekülün titreşim frekansına eşit olduğunda gerçekleşir. O_2, N_2, Cl_2 gibi homonükleer moleküller kızılötesi radyasyonu absorbe edemez çünkü titreşimsel veya dönme hareketi sırasında dipol momentinde net bir değişiklik yoktur.

IR spektroskopisi katı, sıvı, gaz ve çözelti numunelerinin spektrumlarını kaydedebilir. Numune hazırlama, numunenin şekline bağlı olarak farklılık gösterir. Bu yöntemin amacı, herhangi bir kimyasal bileşik yapısı hakkında bilgi edinmek veya yapısındaki değişiklikleri gözlemlemektedir. Bileşiğin elde edilen IR spektrumu, yapı içindeki bağlanma durumu, bağlanma bölgeleri ve yapının aromatik mi yoksa alifatik mi olduğu hakkında bilgi elde etmek için kullanılabilir.

Diğer spektroskopik yöntemlerin tamamlayıcısı olarak gösterilmektedir. IR spektrumunda 3600'den 1200 cm^{-1}'e uzanan bölgeye fonksiyonel grup bölgesi, 1200'den 600 cm^{-1}'e uzanan bölgeye ise küçük yapısal değişiklikler veren parmak izi bölgesi adı verilir. Saf bileşiklerin spektrumlarını içeren IR Atlas adında bir atlas vardır. Alınan spektrum, bu atlasın spektrumu ile de karşılaştırılabilir.

Numune katı olduğunda, birkaç ton basınç altında spektroskopik olarak saf potasyum bromür (KBr) kullanılarak ince şeffaf bir tablet oluşturulur ve bir spektrum alınır. KBr'nin kızılötesi bölgede absorpsiyonu olmadığı için kullanımı uygundur. Kullanılan KBr nem içermemelidir. Çünkü içerdiği nem, IR spektrumunda yanlış çizgilerin algılanmasına neden olur.

Çözelti spektrumları elde ederken hatırlanması gereken en önemli şey, kullanılan çözücünün tüm IR aralığı boyunca ışığı iletebilmesi gerektiğidir. Bu nedenle en çok tercih edilen çözücüler kloroform ($CHCl_3$), karbon tetraklorür (CCl_4), karbon disülfid (CS_2), benzen (C_6H_6), sikloheksan (C_6H_{12}), tetrakloroetilendir. Örneğin, bu uygun çözücülerden herhangi biri kullanılarak % 0,1-10'luk bir çözelti hazırlanır. Hazırlanan bu çözelti bir kızılötesi ısıtıcıya yerleştirilir. Ayrıca kullanılan solventin taşma malzemesini çözmemesine dikkat edilmelidir. Vakum hücreleri sıvılar ve gazlar için kullanılır (Yaslı, M, A., 2019).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yine Patel ve ark. (2011) pamuk sapı, prosopis ve şeker kamışı posası üzerinde 300°C ve 1 saatlik reaksiyon koşullarında kavurma deneyleri yapmış, biochar'ın kalorifik değeri '% 27-41, sabit karbonun % 9-24 oranında arttığını, nem içeriğinin % 3,3-5,8, uçucu madde miktarının % 14-18 ve kütlesinin % 27-46 oranında azaldığını fark etmişlerdir. Prosopis'in enerji kazancı, kül içeriğinde bir artış olmadan 0. 7 cal/g idi. Prosopsinin Torrefaction için potansiyel bir biyokütle olduğunu ve elde edilen biyokömürün bir biyoyakıt olarak kullanılabileceğini bulmuşlardır.Bazı araştırmacılar çeşitli biyokütle kaynaklarını kullanarak biyokömür üretimini gerçekleştirdikten sonra, kimyasal analizlerini, nem içeriğini ve biyokömür olarak ısıl değerini ölçmüşler ve biyokömürün ısıl veriminin alev sıcaklığının bir fonksiyonu olabileceğini belirtmişlerdir (Jenkins ve ark.,1998; Vasilev ve ark., 2010). Alev sıcaklığı hem kalorifik değere hem de biyokömürün kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Hidrokarbon yakıtlarıyla kıyaslandığında biyokütle yakıtları daha yüksek verime sahiptirler. Bu durum enerji üretimin de biyokütlenin daha fazla araştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Biyokütle yakıtlarındaki yüksek nem ve kül içeriği yanma sorunlarına neden olabilir. Biyokütleden oluşturulan biyoyakıtlar, fosil yakıtlarla belirli oranda karıştırılara kullanılabilir. Gaz hâlindeki biyoyakıt; biyohidrojen, biyogaz, sentez gazı, ayrıca sentez gazı, katı biyoyakıt olarak da adlandırılır. Kömür, biyokömür, biyopeletler, biyobriket, sıvı biyoyakıt; biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodimetil eter, biyoetil üçüncül bütil eter, bitkisel yağ. Bu konuyla ilgili bir çalışmada Wannapeera ve ark. (2011), odunsu biyokütlenin heterojen sıcaklık ve reaksiyon süresi piroliz deneyleri ile etkileşimini araştırmıştır. Kavurma deneylerinde, artan sıcaklık ve reaksiyon süresi ile oluşan biyokömürün karbon içeriği ve kalorifik değeri artmıştır. 800 °C'de elde edilen biyokömür veriminin sıcaklıkla arttığı gözlemlenmiştir.

Medic ve ark. (2012), mısır atığı ile 3 farklı nem içeriğinde (30, 45 ve 50), 3 farklı sıcaklıkta (200, 250 ve 300 °C) ve 3 farklı reaksiyon süresinde (10, 20, 30)

kavurma deneyleri gerçekleştirdi. (10, 20, 30 min) gerçekleştirmiş, sıcaklık arttıkça enerji yoğunluğunun %2-19 oranında arttığını, kütle ve enerji veriminin ise %3- 45 ve %1-35 oranında azaldığını kaydetmiştir.

Biyokütlenin, örneğin odun veya tahılın Torrefaksiyonu, tipik olarak 200-320 °C arasındaki sıcaklıklarda hafif bir piroliz şeklidir. Torreflenmiş biyokütle, bir enerji taşıyıcısı olarak veya biyo bazlı yakıtlar ve kimyasalların üretiminde kullanılan bir ham madde olarak kullanılabilir. Biyokütle önemli bir enerji kaynağı olabilir (Gündoğdu, 2010). Bununla birlikte, her biri kendine özgü özelliklere sahip çok çeşitli potansiyel biyokütle kaynakları mevcuttur. Verimli biyokütle-enerji zincirleri oluşturmak, yoğunlaştırma (peletleme veya briketleme) ile birlikte biyokütlenin torrafasyonu, taşınmasını ve depolanmasını kolaylaştırarak büyük ölçekli sürdürülebilir enerji çözümlerinin geliştirilmesinde lojistik zorlukların üstesinden gelmek için umut verici bir adımdır. Peletler veya briketler daha yüksek yoğunluğa sahiptir, daha az nem içerir ve elde edildikleri biyokütleye göre depolamada daha stabildir

Ibrahim ve ark. (2012) biyokütle olarak söğüt, okaliptüs, meşe ve çam odununu iki farklı sıcaklıkta (270 ve 290 °C) ve iki farklı reaksiyon vakitlerinde (30 ve 60 min) kavurmak için kullanmışlardır. Deney sırasında sıcaklığın çok önemli bir rol oynadığını gözlemlediler. Düşük sıcaklıkların ve kısa reaksiyon sürelerinin yüksek enerjiler için en iyi yöntem olduğu sonucuna vardılar. Bu koşullar altında üretilen. % 95, söğüt odununun % 79, meşe odununun % 80 ve ökaliptusun % 75 enerji düzeyine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Wabel ve ark. (2012) Conocarpus atığının pirolizini 200-800 °C sıcaklıkta gerçekleştirdiler ve farklı piroliz sıcaklıklarının biyokütlenin kimyasal içeriği üzerindeki etkisini gözlemlediler. Reaksiyon sıcaklığı arttıkça kül miktarı, pH, iletkenlik ve fonksiyonel gruplar artar.), C, N, P, K, Ca ve Mg artar. Biyokömür veriminde, O, H ve S içeriklerinde ve asidik fonksiyonel gruplarda azalma gözlemlemişlerdir. Biyokömürün aromatikliği artan sıcaklıkla artmasına rağmen polaritesinde bir azalma gözlenmiştir.

Sadaka ve ark. (2011) mısırın katı yakıt olarak karbonlaştırılmasından elde edilen biyokömür olasılığını inceledi. Biyokütleyi kesikli bir reaktörde 300, 350 ve 400 °C reaksiyon sıcaklıklarında ve 1, 2 ve 3 saatlik reaksiyon sürelerinde karbonize ettiler. Sıcaklık ve süre arttıkça, biyokütle kütle veriminin -%82.6'dan 35.2'ye ve uçucuların 72.1'den 43.9'a düştüğünü buldular. Öte yandan, aynı koşullar altında biochar'ın ısıl değerinin 17,6 MJ/kg'dan 21,9 MJ/kg'a, sabit karbon içeriğinin ise 0,5'ten D.9'a çıktığı tespit edildi. Karbonizasyon işlemiyle elde edilen biyokarbonun yüksek kaliteli bir yakıt olarak kabul edilebileceği sonucuna vardılar.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneylerde kullanılan biyokütle örnekleri Şanlıurfa bölgesinde hasat sonrası tarlada kalan atıkların yanı sıra ürün işlendikten sonra oluşan atıklar, mısır sapı, pamuk sapı ve çekirdeği, zeytin küspesi, fıstık kabuğu, büyükbaş hayvan atığı ve arıtma çamuru kullanılmıştır. Kullanılan materyallerin kül ve nem içerikleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

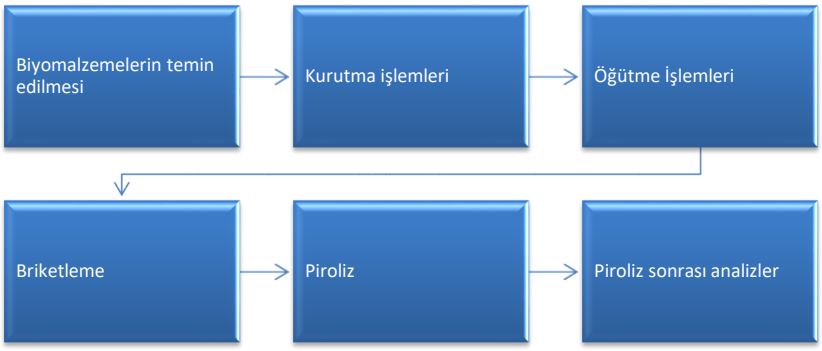
Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan biyokütle örnekleri

Kullanılan biyokütle	**Kül (%)**	**Nem (%)**
Zeytin atıkları (pirina)	6,74	8,94
Pamuk sapları	6,88	7,23
Mısır sapları	7,97	8,16
Hayvansal Atık	18,20	17,14
Arıtma Çamuru	75,20	16,33
Fıstık kabukları	1,35	7,56
Çam Talaşı	8,72	9,66
PMZFÇ Karışım	6,33	8,31
Karışım	32,24	13,92

3.2. Yöntem

3.2.1. Biyopelet ve biyokömür örneklerinin hazırlanması

Biyokütle örnekleri temin edildikten sonra laboratuvar ortamında Şekil 3.1.'de gösterilen akım şemasına göre deneyler yapılmıştır.



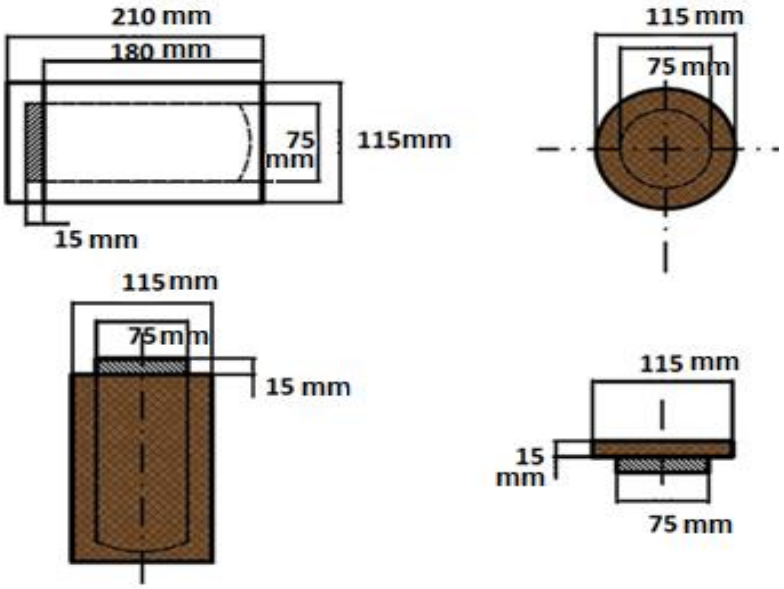
Şekil 3.1. Biyokütle üzerinde gerçekleştirilen işlemlerin akım şeması

3.2.2. Düşük sıcaklık kuru piroliz (Torrefaksiyon) deneyi

Torrefaksiyon bir biyokütlenin, örneğin odun veya tahılın 200-320 °C arasındaki sıcaklıklarda hafif bir piroliz şeklidir. Torrefaksiyon, yanma ve gazlaştırma uygulamalarında daha iyi bir yakıt kalitesi sağlamak için biyokütle özelliklerini değiştirir. Torrefaksiyon, organik ayrışma potansiyelini azaltan veya ortadan kaldıran nispeten kuru bir ürün üretir. Yoğunlaştırma ile birleştirilen torrefaksiyon, 20 ila 21 GJ/ton daha düşük ısıtma değerinde (LHV) enerji yoğun bir yakıt taşıyıcısı oluşturur (Silverstein, 2005). Torrefaksiyon, organik maddenin uzun zamanlı (veya çok yüksek sıcaklıklarda) ısıtılması esnasında bir şeker ile bir aminoasit birleşerek meydana gelen kahverengileşme reaksiyonu olan Maillard reaksiyonlarına girmesine neden olur. Torreflenmiş biyokütle, bir enerji taşıyıcısı olarak veya biyo bazlı yakıtlar ve kimyasalların üretiminde kullanılan bir ham madde olarak kullanılabilir **(**Silverstein, 2005).

Piroliz deneylerinde Şekil 3.2'te şematize edilen ve Şekil 3.3. (a), (b) ve (c)'de görüntüsü verilen paslanmaz çelikten 7,5 mm çaplı ve 210 mm yüksekliğinde dikey potalar kullanılmıştır. İşlem sırasında potaların kapakları kapatılarak pota içine hava girmesi engellenmiştir. Deneysel çalışmaların tamamında 25 g öğütülmüş biyokütle numunesi kullanılmıştır. Pota içerisine konulan 25 g numune Şekil 3.3.'te gösterilen fırına yerleştirilmiş, piroliz işlemleri 1600 °C'ye yükselebilen, sıcaklık ve zaman olarak 30 farklı şekilde programlanabilen 8 L'lik Nevola 160/7 marka kül fırınında

yapılmıştır. Piroliz işlemleri sırasında fırın 5 °C/min ısıtma hızıyla istenilen sıcaklığa geldikten sonra 30 min istenilen sıcaklıklarda bekletilmiştir. Deney sonunda fırının oda sıcaklığına düşmesi beklenmiş ve daha sonra potalar fırından alınarak pota içerisindeki biyokömür tartılmıştır.



Şekil 3.2. Piroliz deneylerinde kullanılan potanın şematik gösterimi



Şekil 3.3. Potanın fırın içinde işleme başlamadan ve işlem sonrası görüntüsü



Şekil 3.4. Piroliz deneylerinde kullanılan Nevola Reis 160/7 kül fırını

3.2.3. Elementel analiz

Elementel analiz, organik ve inorganik maddelerin yapısındaki azot (N), karbon (C), hidrojen (H) ve kükürt (S)'i aynı anda ölçen bir analiz türüdür.

Bu test, yaklaşık 2 mg ağırlığındaki katı veya sıvı organik bileşikleri 950-1000 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda yakarak bir numunedeki elementlerin yüzdesini belirler. Element analiz cihazında kullanılan gazlar helyum gazı ve oksijen gazıdır.

Cihazının çalışmaşeklini üç şekilde anlatabiliriz. İlk adımda, numune bir kalay (Sn) kapsülüne yerleştirilir ve yanma ile oksitlenir. Elde edilen gaz karışımı, taşıyıcı soy gaz (He) ile birlikte kromatografi kolonuna beslenir. Burada oksijen (O_2) gazı ile yakılarak ayrılan karışık gaz, ayrılan her gazın miktarıyla orantılı bir elektrik sinyali elde etmek için bir termal iletkenlik dedektörüne (TCD) gönderilir. Bu elektrik sinyali, spektrumda elde edilen eğri bölgesine göre numunenin element bileşiminin yüzdesini gösterir (Yaslı, 2019).

3.2.4. Kül miktarı tayini

Numunelerin kül ve uçucu madde miktarları sırası ile ASTM-D3174 (Yaslı M.A., 2019) ve ASTM-D3175 (Astm-D-3175 – 07).standardına göre gösterildi. Nem tayinleri ise Şekil 3.5'de verilen Radwag MAC 110 marka nem tayin cihazında gerçekleştirildi.

Uçucu madde miktarının bulunması işleminde 750 °C'de sabit tartıma getirilen krozelere 1±0,05 g örnek konuldu ve kapakları kapatılarak daha önceden 900 °C'ye ayarlanmış fırında 7 min bekletildi. Uçucu madde miktarı, desikatörde soğutulan krozelerin kütlelerindeki fark ile belirlendi.

Krozelerdeki uçucu maddesi giderilmiş örnekler kapakları açılarak 750 °C sabit tartıma gelinceye kadar fırında bekletildi. Ağırlık farkından kül miktarı belirlenmiş ve çizelge 3.2.'de verilmiştir. Kül analizi deneyleri Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde Pirometalurji Laboratuvarında bulunan ve şekil 3.5.'de verilen Nevola Reis 160/7 marka kül fırınında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Nem tayinin yapıldığı cihaz

3.2.5. Kalorifik değer tayini

Kalorifik değer tayini hesapları, elementel analiz sonrası yapılmıştır. Bir yakıtın yanması sonucu oluşan reaksiyon aşağıda denklem ile gösterilir.

Yakıt + O_2 = ürünler + ISI

Yakıtın bünyesinde bulunan H_2 ve S gibi bileşenlerde oksijenle reaksiyona girecektir. Bir yakıtın kalorifik değerini veren denklem Dulong denklemidir. Bu denklem çıkarılırken yakıtın üst ısıl değeri ve alt ısıl değeri göz önüne alınır (https://www.sgs.com.tr/tr-tr/mining/analytical-services/coal-and-coke/coal-calculations).

DULONG (1820) = (80,8 x C) + (344,6 x H) – (43,1 x O) + (25 x S)

Burada, H = hidrojen, C = karbon, S = kükürt'dür. ve O = Oksijen'dir. Aynı şekilde SEYLER'e denklemine göre hesaplanır.

SEYLER (1938) = (123,9 x C) + (388,1 x H) + (25 x O_2) – 4269

Tüm girdiler, % ağırlık olarak gösterilen Kuru Baz (DB) ile sonuçlanır.

Çizelge 3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kül analizleri

MALZEME	Kül İçeriği (%)
Zeytin	6,74
Pamuk	6,88
Mısır	7,97
Hayvansal Atık	18,20
Arıtma Çamuru	75,20
Fıstık	1,35
Çam Talaşı	8,72
PMZFÇ Karışım	6,33
Karışım	32,24

3.2.6. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, nitrojen gazı ortamında bir termogravimetrik analizör (Perkin Elmer Diamond TG/DTA) kullanılarak yapıldı. Saf nitrojen gazı (0,99), 200 mL/min'lık bir akış hızında akıtıldı. Sistem, 10 °C/min'lık bir ısıtma hızında oda sıcaklığından 700 °C'ye ısıtıldı. Bu, TGA'da biyokömürün sıcaklık değişiminden kaynaklanan kütle kaybı hesaplanarak belirlendi.

3.2.7. Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizi

TGA çeşitli şartlarda üretilen aktif karbon numunelerinin FT-IR (Fourier Transform infrared) spektroskopi analizleri (Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvar) ile gerçekleştirilmiştir. Thermoscientific- Nicolet is50 cihazı kullanılarak analizler yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1 Biyokömür Kütle ve Enerji Verimi

4.2 Biyokömürün ve Biyopeletinelementel Analizi

Biyopeletlerin elementel analiz sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan biyomalzemelerin torrefaksiyon deneyleri sonucu C, S, N_2 ve H_2 içeriğindeki değişimi

KULLANILAN MALZEMELER									
İŞLEM GÖRMEMİŞ									
	Zeytin	**Pamuk**	**Mısır**	**Hayvansal Atık**	**Arıtma Çamuru**	**Fıstık**	**Çam Talaşı**	**PMZFÇ Karışım**	**Karışım**
KÜKÜRT	0.022	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.005
AZOT	1,27	1,63	1,67	1,45	3,09	1,22	1,47	1,73	0
KARBON	54,27	56,47	50,94	49,49	37,33	54,21	58,71	56,34	50,38
HİDROJEN	6,12	6,70	6,01	5,70	4,15	6,32	6,99	6,74	5,89
(200 °C İŞLEM GÖRMÜŞ)									
KÜKÜRT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AZOT	1,10	1,62	1,69	3,02	2,98	1,20	1,34	1,79	2,19
KARBON	56,78	55,53	51,32	48,95	32,72	50,76	54,85	49,95	51,25
HİDROJEN	6,02	6,09	5,65	5,13	3,41	5,56	5,94	5,65	5,70
310 °C İŞLEM GÖRMÜŞ									
KÜKÜRT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AZOT	1,16	1,42	1,06	1,63	2,25	2,94	1,39	1,31	2,78
KARBON	49,92	48,84	48,36	44,81	48,18	33,17	46,50	50,32	50,97
HİDROJEN	5,86	5,80	5,82	5,46	5,75	3,70	5,63	40,54	4,58
340 °C İŞLEM GÖRMÜŞ									
KÜKÜRT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AZOT	1,18	1,53	1,57	2,87	3,13	1,18	1,44	1,84	2,31
KARBON	59,35	57,80	55,19	46,10	34,00	58,15	60,43	54,28	49,79
HİDROJEN	5,23	5,76	5,02	4,30	3,31	5,45	5,43	5,37	5,34
350 °C İŞLEM GÖRMÜŞ									
KÜKÜRT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AZOT	1,43	1,89	0,96	1,94	2,73	3,66	1,03	1,47	3,77
KARBON	71,16	67,15	71,55	66,15	61,29	60,33	63,59	55,86	61,31
HİDROJEN	4,51	4,70	4,81	4,39	4,40	3,23	4,00	4,95	4,07

Çizelge 4.2.'de Dulong ve Seyler'e göre hesaplanmış kalorifik değerler verilmektedir

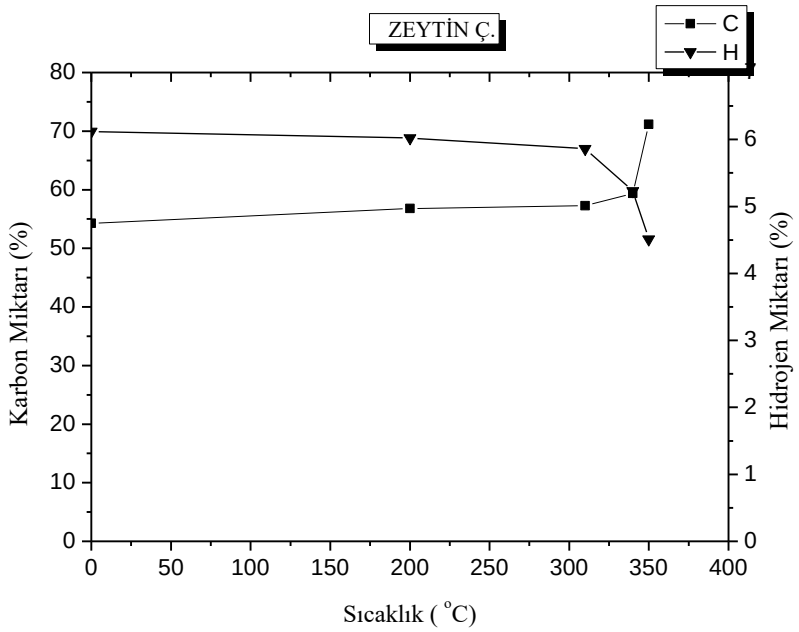
Çizelge 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan biyomalzemelerin torrefaksiyon deneyleri sonucu kalorifik değerlerindeki değişim

KULLANILAN MALZEMELER									
İŞLEM GÖRMEMİŞ (cal/g)									
	Zeytin	**Pamuk**	**Mısır**	**Hayvansal Atık**	**Arıtma Çamuru**	**Fıstık**	**Çam Talaşı**	**PMZFÇ Karışım**	**Karışım**
Kalorifik Değer (Dulong)	5631,968	6009,596	5324,998	5101,012	3584,354	5696,04	6290,522	6012,876	5238,398
Kalorifik Değer (Seyler)	5602,404	5827,903	4874,947	4574,981	2466,802	5400,411	6217,988	5827,32	4758,991
(200 °C İşlem Görmüş)									
Kalorifik Değer (Dulong)	5800,316	5723,438	5231,646	4860,958	2956,862	5155,384	5616,804	5120,95	5243,22
Kalorifik Değer (Seyler)	5602,404	5474,696	4782,313	4286,858	1608,429	4678	5332,229	4612,57	4793,045
310 °C İşlem Görmüş									
Kalorifik Değer (Dulong)	5190,892	5082,952	5051,06	4640,164	5012,394	3093,156	4835,298	4768,34	4834,644
Kalorifik Değer (Seyler)	4690,354	4533,256	4481,546	3901,985	4432,077	1776,733	4177,353	4227,622	4323,681
340 °C İşlem Görmüş									
Kalorifik Değer (Dulong)	5735,738	5793,136	5327,244	4344,66	3025,826	5714,59	5891,922	5374,326	5001,196
Kalorifik Değer (Seyler)	5614,228	5627,876	5017,303	3611,62	1728,211	5550,93	5825,66	5040,389	4472,435
350 °C İşlem Görmüş									
Kalorifik Değer (Dulong)	6441,874	6183,34	6576,766	5995,714	5606,472	5125,722	5654,472	5357,258	5494,37

Kalorifik Değer (Seyler)	6798,055	6374,955	6962,806	6130,744	5532,471	4959,45	5662,201	5073,149	5406,876

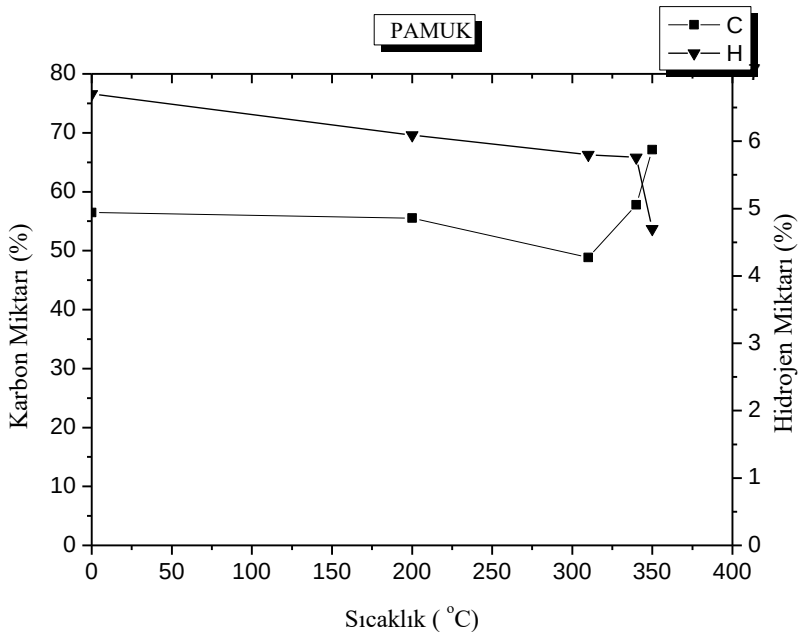
Torrefaksiyon deneyleri sonucu elde edilen ürünlerin elementel analizleri yapıldıktan sonra özellikle C ve H_2 bakımından gösterdikleri değişimler Şekil 4.1 ve Şekil 4.9 arasında verilmiştir.

Bütün numunelerde sıcaklığın artışıyla orantılı olarak hidrojen miktarında bir azalma olduğu karbon miktarlarında ise gözle görülür bir artış olduğu görülmektedir. Özellikle 310 °C sıcaklıkta işlem gören numunelerin bazılarının (Zeytin posası ve çekirdeği, mısır ve pamuk sapları, fıstık kabukları) karbon içeriğinde bir düşüş olduğu ancak 340 °C sıcaklıkta karbon içeriğinde tekrar bir artışın olduğu gözlenmiştir. Kül miktarı, sabit karbon ve uçucu madde analizin'de biyopelet yakıt özelliklerini bulabilmek için önem arz etmektedir. Sıcaklık miktarında görülen artış ile birlikte torrefaksiyon prosesinin sonucund sabit karbon ve kül miktarı artarken uçucu madde miktarı aynı şekilde artmıştır.

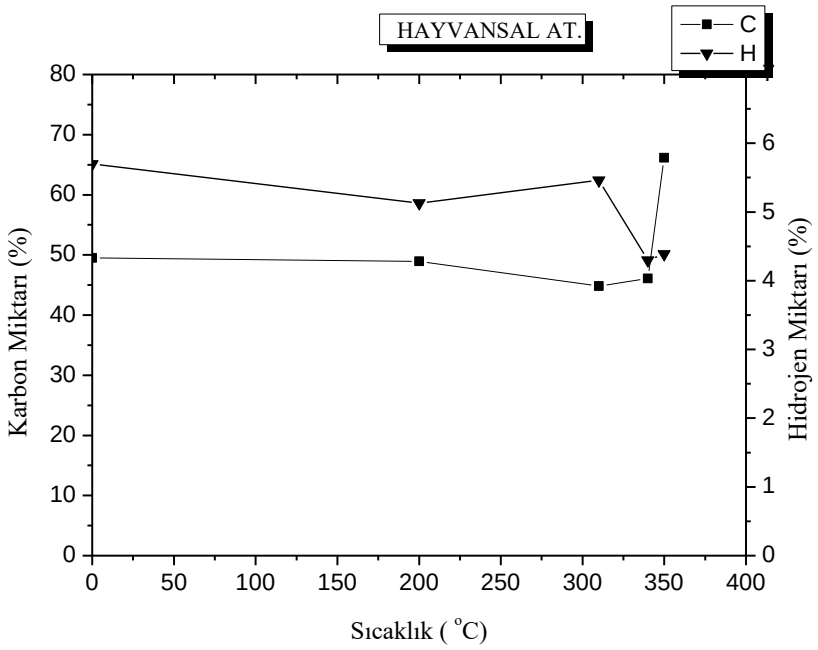


Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş Zeytin çekirdeği ve posalarının C ve H_2 içeriğindeki değişim.

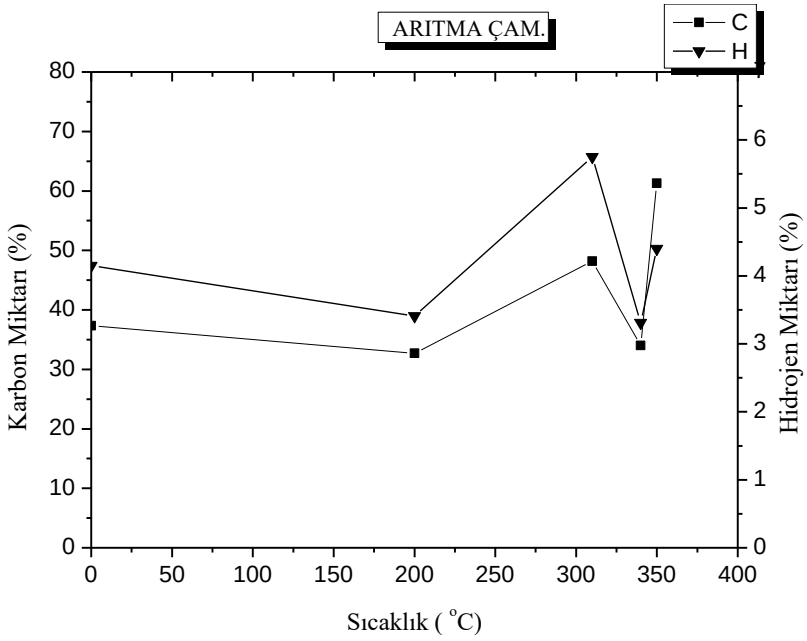
Torrefaksiyondan (Kavurma işlemi) bir sonraki adıma piroliz işlemi denir. Piroliz en çok organik malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Genel olarak, organik maddenin pirolizi uçucu ürünler üretir ve karbon açısından zengin katı bir tortu, kömür olarak kalır. Kalıntı olarak çoğunlukla karbon bırakan aşırı piroliz, karbonizasyon olarak adlandırılır. Piroliz, gazlaştırma veya yakma işleminin ilk aşaması olarak kabul edilir. (Yaslı, 2019). Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'de verilen diyagramlarda karbon içeriğinde belirgin bir artış gözlenirken arıtma çamuru ve karışımlarda bu oran çok az bir artış göstermiştir.



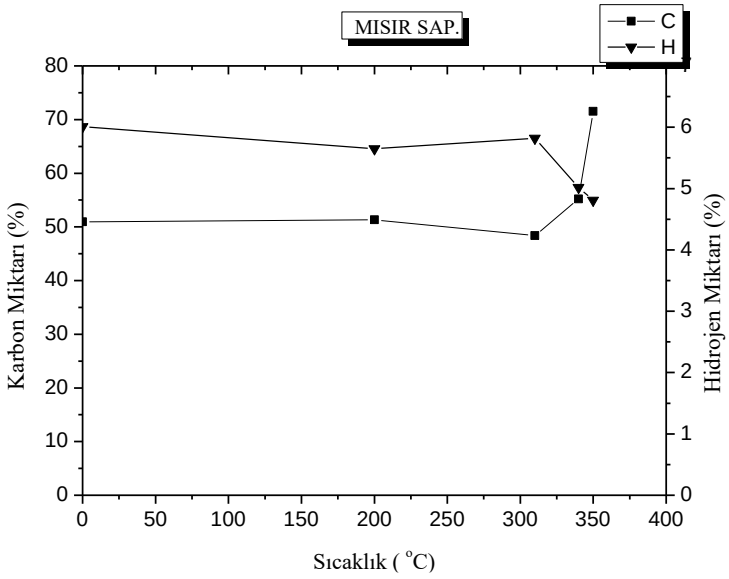
Şekil 4.2. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş pamuk saplarının C ve H_2 içeriğindeki değişim



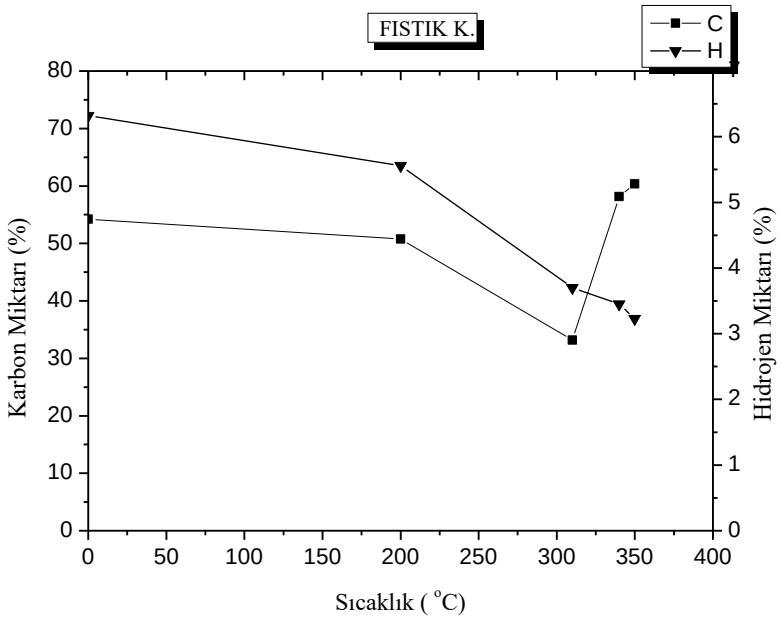
Şekil 4.3. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş hayvansal atıkların C ve H_2 içeriğindeki değişim



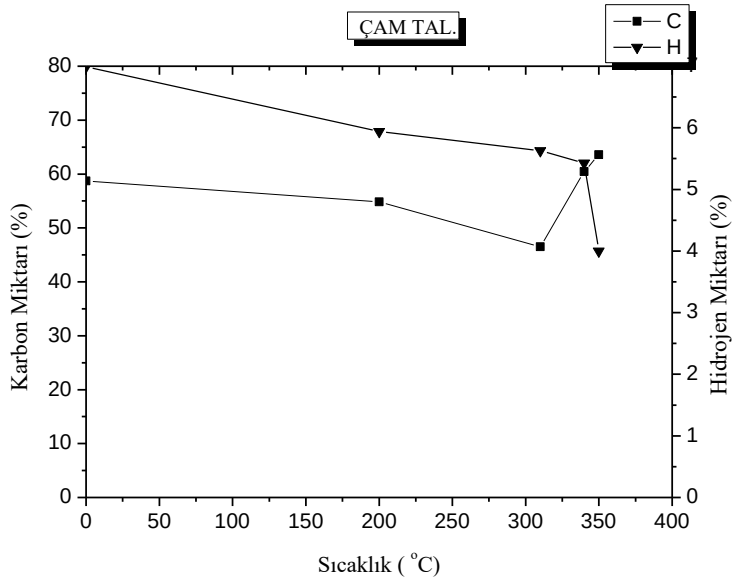
Şekil 4.4. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş arıtma çamurunun C ve H_2 içeriğindeki değişim



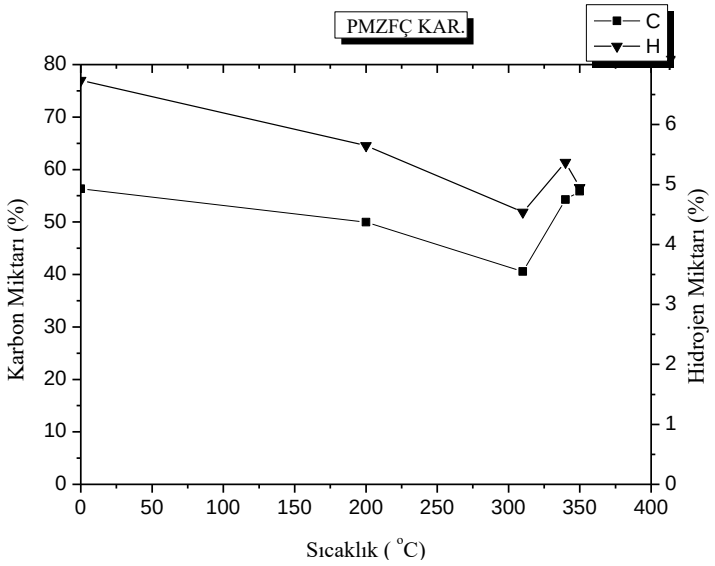
Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş mısır saplarının C ve H_2 içeriğindeki değişim



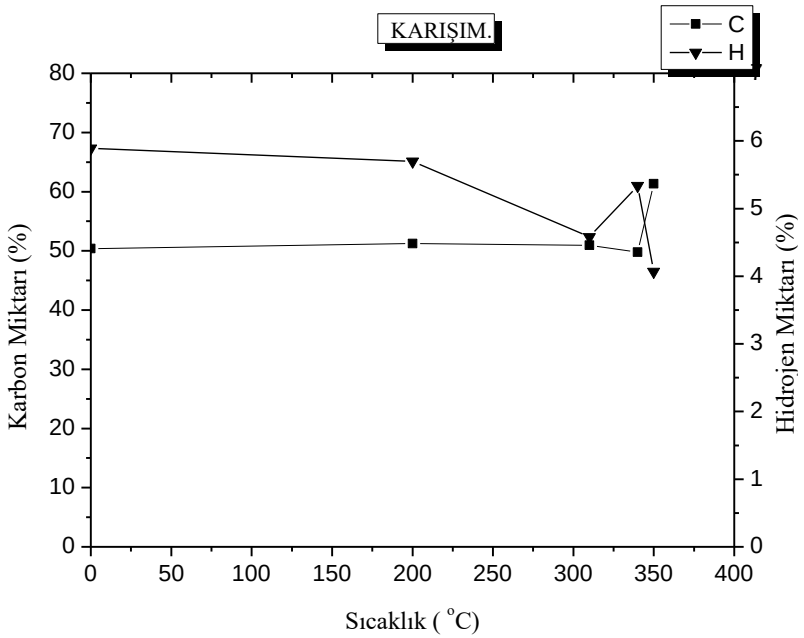
Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş fıstık kabuklarının C ve H_2 içeriğindeki değişim.



Şekil 4.7. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş çam talaşlarının C ve H_2 içeriğindeki değişim.



Şekil 4.8. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş zeytin kabukları ve posası, fıstık kabukları, mısır sapları, çam talaşı ve pamuk sapları karışımının (arıtma çamuru hariç) C ve H_2 içeriğindeki değişim

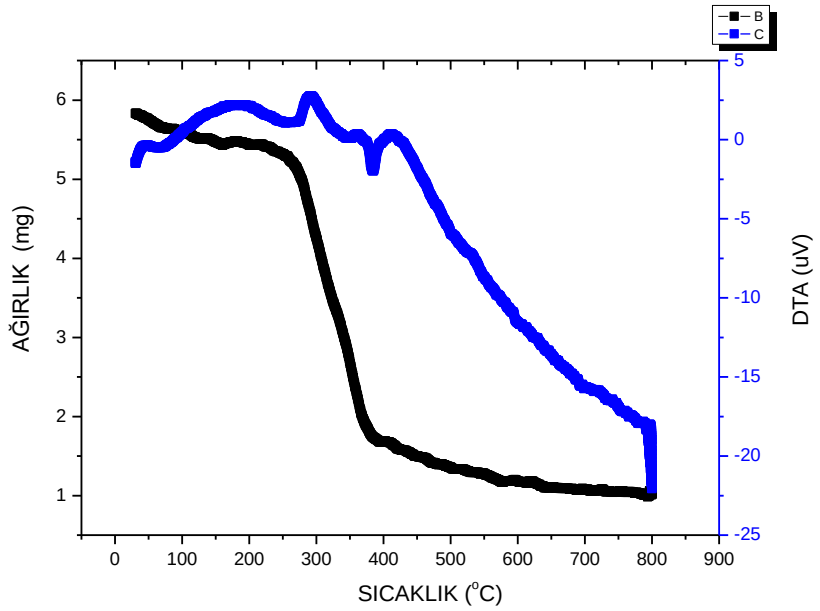


Şekil 4.9. Farklı sıcaklıklarda 30 min işlem görmüş bütün malzemelerin karışımlarının C ve H_2 içeriğindeki değişim

4.3. Termogravimetrik Analiz (TGA)

TGA ve DTG gibi analizler, piroliz, kavurma ve kömürleştirme işlemi sırasında numunelerin herhangi bir sıcaklıkta ne kadar kütle kaybına sahip olduğunu belirlemek için yapılır. TGA (Termogravimetrik Analiz), bir malzemenin kütlesini kaybettiği veya kütlesini kaybetmediği sıcaklığı belirler. Kütle değişim hızını zamanın veya sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirler. DTG (Diferansiyel Termal Termogravimetrik) analizinin amacı, hangi sıcaklıkta kütle kaybının en fazla olduğunu görmektir. Böylece malzemenin kütle kaybından bağımsız olarak zamanın veya sıcaklığın bir fonksiyonu oluşturur (Yaslı, 2019) Termogravimetrik analiz (TGA), ısı ve kütle transferi olmadan pirolizi incelemenin en yaygın yöntemlerinden biridir. Sonuçlardan, kütle kaybının kinetiği belirlenebilir. Aktivasyon enerjileri, Kissinger yöntemi veya zirve analitik en küçük kareler yöntemi (PA-LSM) kullanılarak hesaplanabilir. TGA'daki sıcaklık artışından önce numune yüklenir ve ısıtma hızı düşüktür (100 °C/dak'dan az). Makro-TGA, kütle ve ısı transferi etkilerini ve pirolizi

incelemek için gram düzeyinde numuneler kullanabilir. Biyokömür ve biyopelletlerin termal bozunması, termogravimetrik analizle araştırıldı. TGA analizleri Harran Üniversitesi laboratuvarlarında yapılmıştır. Analizler, nitrojen atmosferi altında (akış hızı 10 mL/dak) bir platin pota içinde 10 ila 800 °C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirildi.



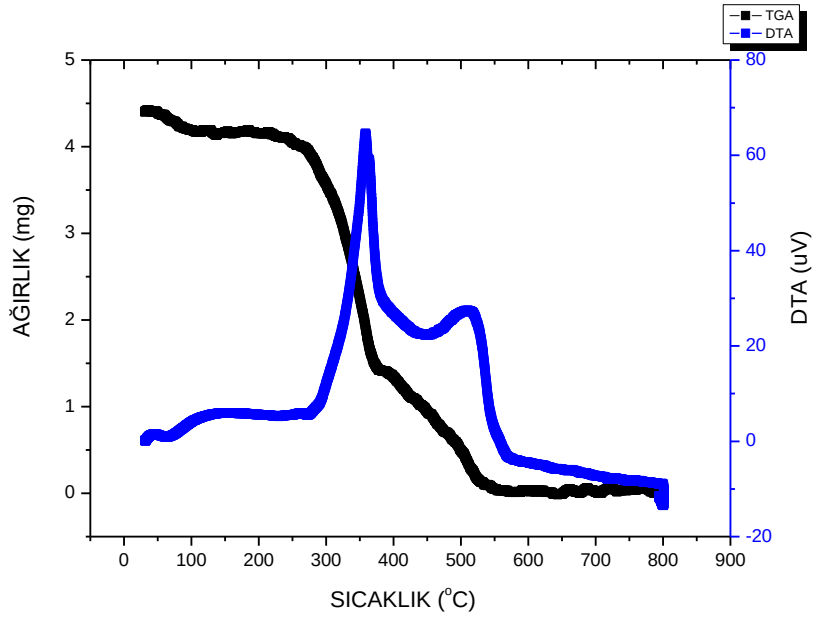
Şekil 4.10. Zeytin posa ve çekirdeklerinin TG/DTA analizi

Şekil 4.10.'da zeytin çekirdek ve posalarına ait TG/DTA analizi verilmektedir. Şekilde TG eğrisinden de görüldüğü gibi 250 °C sıcaklığa kadar yavaş bir kütle kaybı olmakta ancak 250 °C'nin üzerinde hızlı bir şekilde kütle kaybının gerçekleştiği görülmektedir. Torrefaksiyon deneyleri sırasında her sıcaklıktaki deney için malzeme hem fırın öncesi hem de fırından alındıktan sonra tartılmış ve ağırlık kayıpları not edilmiştir. Zeytin posa ve çekirdekleri (pirina) için bu kütle kayıpları her bir sıcaklık için Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Termogravimetrik analiz sırasında 350 °C sıcaklıkta yaklaşık % 60 kütle kaybı gözlenirken, deneysel çalışmalar sırasında % 61,62'lik bir kütle kaybı gözlendiği bunun da TG analiziyle paralellik arz ettiği anlaşılmıştır. DTA analizinde ise beklendiği gibi önce bir endotermik reaksiyonun gerçekleştiği ardından yanma ile birlikte ekzotermik reaksiyonların meydana geldiği görülmektedir. Bu

malzemenin 350 °C sıcaklıkta yapılan deneyler sonucu kalorifik değeri 6798 cal/g olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.3. Zeytin atıklarının (pirina) farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri

ZEYTİN ATIĞI (pirina)				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	6,28	13,46	41,26	61,62
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	5800,32	5190,89	5735,74	6441,87
Kalorifik Değer (cal/g) SEYLER	5602,40	4690,35	5614,23	6798,06



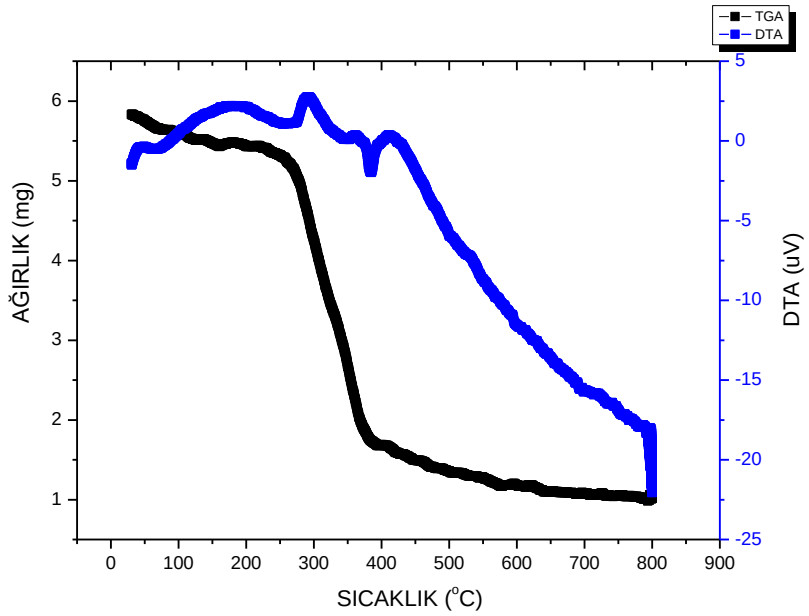
Şekil 4.11. Pamuk Saplarının TG/DTA analizi

Şekil 4.11.'de Pamuk Saplarının DTA-TGA analiz sonucu verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi 300 °C'ye kadar önemli derecede enerji ihtiyacı yoktur, daha sonra ise 580 °C'ye kadar malzemede endotermik bir reaksiyon gerçekleşmiştir. Organik malzeme olan pamuk saplarında bulunan uçucuların yapıdan uzaklaşması 580 °C'ye kadar sürmüştür. 300-580 °C arasında ise yanmanın başlaması için ısı ihtiyacı vardır ve endotermik bir süreç görülmektedir. 580 °C'den sonra ise yanma işlemi başlamıştır ve yanmayla birlikte ısı ortaya çıkmaktadır. TGA da tüm sıcaklıklarda kütle kaybı olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığından 300 °C'lere kadar olan kütle kaybının yapı

içinde bulunan uçucuların yapıdan uzaklaşması sebebiyle oluştuğu düşünülebilir. 580 °C'den sonra olan kütle kaybının ise karbonun yanması ve ortaya CO/CO_2 çıkması sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Bu malzemenin Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi 350 °C sıcaklıkta işlem görmesi sonucu % 57,64 kütle kaybı gerçekleştiği ve 6183 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.4. Pamuk saplarının farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri

PAMUK SAPLARI				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	4.57	10.75	24.55	57.64
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	5723,438	5082,952	5793,136	6183,34
Kalorifik Değer (cal/g) SEYLER	5474,696	4533,256	5627,876	6374,955



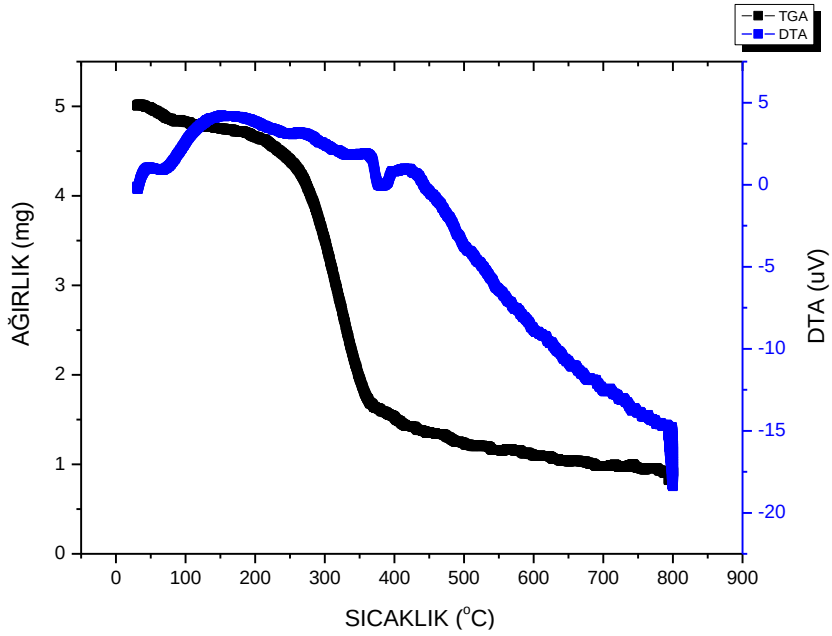
Şekil 4.12. Mısır sapları TG/DTA analizi

Şekil 4.12.'de Mısır saplarına ait DTA-TGA analiz sonucu verilmiştir. DTA analizine göre400 °C'ye kadar önemli derecede enerji ihtiyacı olmamakla birlikte bu sıcaklıkta yanma reaksiyonu gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıktan sonra ise 800 °C'ye kadar malzemede ekzotermik bir reaksiyon gerçekleşmiştir. TGA analizinde; tüm

sıcaklıklarda kütle kaybı olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığından 300 °C'lere kadar olan bölümde kütle kaybının yapı içinde bulunan uçucuların yapıdan uzaklaşması sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. 300-400 °C'den arasındaki bölümde gerçekleşen kütle kaybının ise karbonun yanmasıyla oluşan CO/CO_2 gazları sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Bu malzemenin Çizelge 4.5.'de görüldüğü gibi 350 °C sıcaklıkta işlem görmesi sonucu % 58,04 kütle kaybı gerçekleştiği ve 6576 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.5. Mısır saplarının farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıplarıve kalorifik değerleri

MISIR SAPI				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	4.47	13.49	33.08	58.04
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	5231,646	5051,06	5327,244	6576,766
Kalorifik Değer (cal/g) SEYLER	4782,313	4481,546	5017,303	6962,806



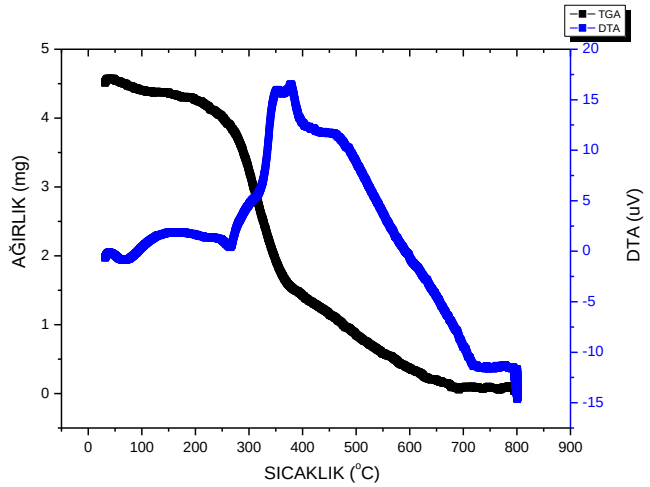
Şekil 4.13. Hayvansal atıkların TG/DTA analizi

Şekil 4.13.'te hayvansal atıkların DTA-TGA analiz sonucu verilmiştir. DTA analizine göre 400 °C'ye kadar önemli derecede enerji ihtiyacı yoktur. Bu sıcaklıkta

ise yanma reaksiyonu gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıktan sonra ise 800 °C'ye kadar malzemede ekzotermik bir reaksiyon oluşmuş ve devam etmiştir. TGA analizinde; tüm sıcaklıklarda kütle kaybı olmakla birlikte 200-400 °C sıcaklıklar arasında bu kütle kaybının daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Oda sıcaklığından 200 °C'lere kadar olan bölümde kütle kaybının yapı içinde bulunan nem ve uçucuların yapıdan uzaklaşması sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. 200-400 °C'den arasındaki bölümde gerçekleşen kütle kaybının ise DTA eğrisi ile birlikte değerlendirildiğinde karbonun yanması sonucu oluşan CO/CO_2 gazları sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Bu malzemenin Çizelge 4.6.'da görüldüğü gibi 350 °C sıcaklıkta işlem görmesi sonucu % 43,13 kütle kaybı gerçekleştiği ve 5995 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.6. Hayvansal atıkların farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıplarıve kalorifik değerleri

HAYVANSAL ATIK				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	2,10	8,82	22,25	43,13
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	4860,96	4640,16	4344,66	5995,71
Kalorifik Değer (cal/g) SEYLER	4286,86	3901,99	3611,62	6130,74

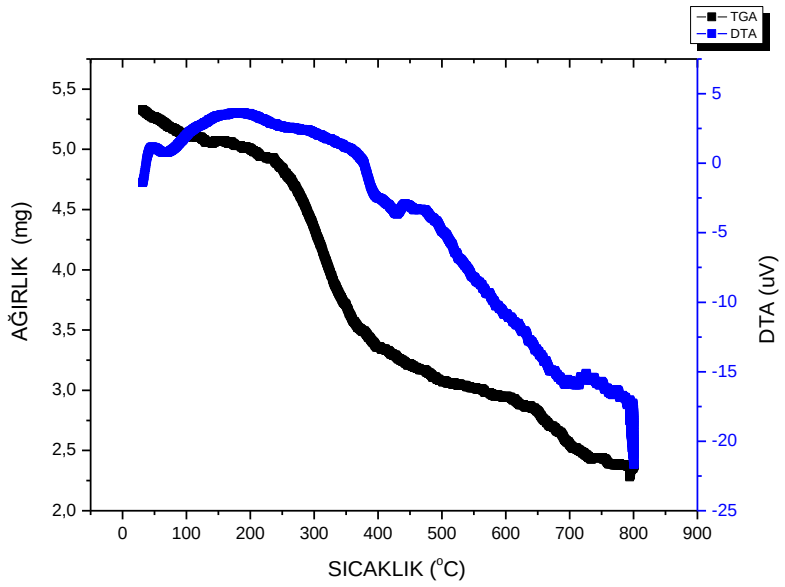


Şekil 4.14. Arıtma Çamuru TG/DTA analizi

Arıtma Çamuruna ait DTA-TGA analiz sonucu Şekil 4.14.'de verilmiştir. DTA analizine göre 280 °C'ye kadar önemli derecede enerji ihtiyacı yoktur.280-580 °C sıcaklıklar arasında önemli derecede endotermik olan bir reaksiyon gerçekleşmiştir. Bunun nedeni arıtma çamuru içerisinde bulunan karbon esaslı malzeme dışındaki empüritelerin ve uçucuların yapıdan ayrılması olarak yorumlanabilir. 580 °C sıcaklıkta ise yanma reaksiyonu gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıktan sonra ise 800 °C'ye kadar malzemede ekzotermik bir reaksiyon oluşmuştur. TGA analizinde; tüm sıcaklıklarda kütle kaybı olmakla birlikte özellikle 280-400 °C sıcaklıklar arasında bu kütle kaybının daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Oda sıcaklığından 280 °C'lere kadar olan bölümde kütle kaybının yapı içinde bulunan nem ve uçucuların yapıdan uzaklaşması sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. 280-580 °C arasındaki bölümde gerçekleşen kütle kaybının ise DTA eğrisi ile birlikte değerlendirildiğinde karbonun yanması sonucu oluşan CO/CO_2 gazları sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Bu malzemenin Çizelge 9'da görüldüğü gibi 350 °C sıcaklıkta işlem görmesi sonucu % 20,62'lik bir kütle kaybı gerçekleştiği ve 5606 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Arıtma çamurunun farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri

ARITMA ÇAMURU				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	1,84	6,27	11,03	20,62
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	2956,86	5012,39	3025,83	5606,47
Kalorifik Değer (cal/r) SEYLER	1608,43	4432,08	1728,21	5532,47

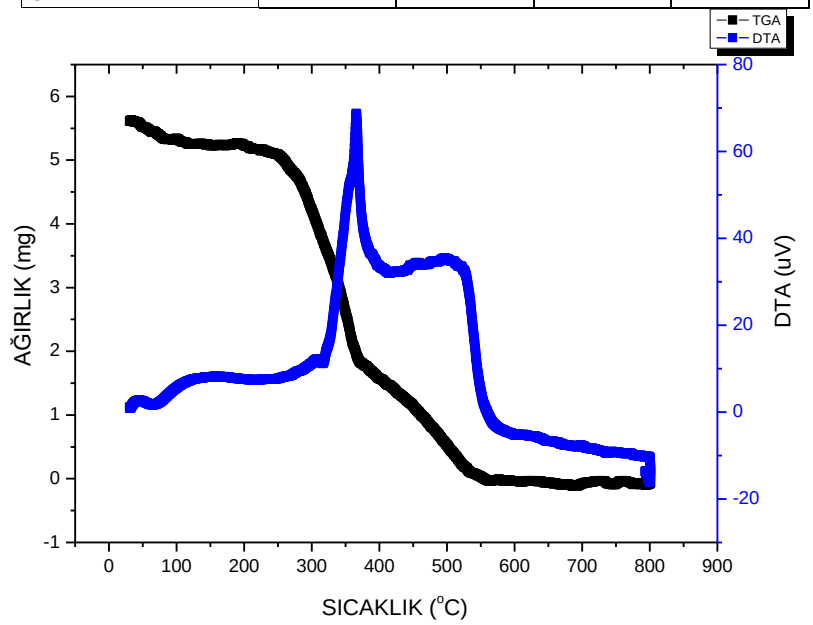


Şekil 4.15. Fıstık kabuklarının TG/DTA analizi

Şekil 4.15.'de Fıstık kabuklarının DTA-TGA analiz sonucu verilmiştir. DTA analizine göre 400 °C'ye kadar önemli derecede enerji ihtiyacı yoktur. Bu sıcaklıkta ise yanma reaksiyonu gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıktan sonra ise 800 °C'ye kadar malzemede ekzotermik bir reaksiyon oluşmuştur. Ancak 400-450 °C ve 700-720 °C sıcaklıklar arasında yine ekzotermik reaksiyon meydana gelmesine rağmen, farklı bir reaksiyon oluştuğu da anlaşılmaktadır. TGA analizinde; tüm sıcaklıklarda kütle kaybı olmakla birlikte 250-400 °C sıcaklıklar arasında bu kütle kaybının daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Oda sıcaklığından 250 °C'lere kadar olan bölümde kütle kaybının yapı içinde bulunan nem ve uçucuların yapıdan uzaklaşması sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. 250-400 °C'den arasındaki bölümde gerçekleşen kütle kaybının ise DTA eğrisi ile birlikte değerlendirildiğinde karbonun yanmasıyla oluşan CO/CO_2 gazları sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Bu malzemenin Çizelge 4.7.'de görüldüğü gibi 350 °C sıcaklıkta işlem görmesi sonucu % 60,31 kütle kaybı gerçekleştiği ve 5125 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.8. Fıstık kabuklarının farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri

FISTIK KABUKLARI				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	4,78	11,03	31,95	60,31
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	5155,38	3093,16	5714,59	5125,72
Kalorifik Değer (cal/g) SEYLER	4678,00	1776,73	5550,93	4959,45



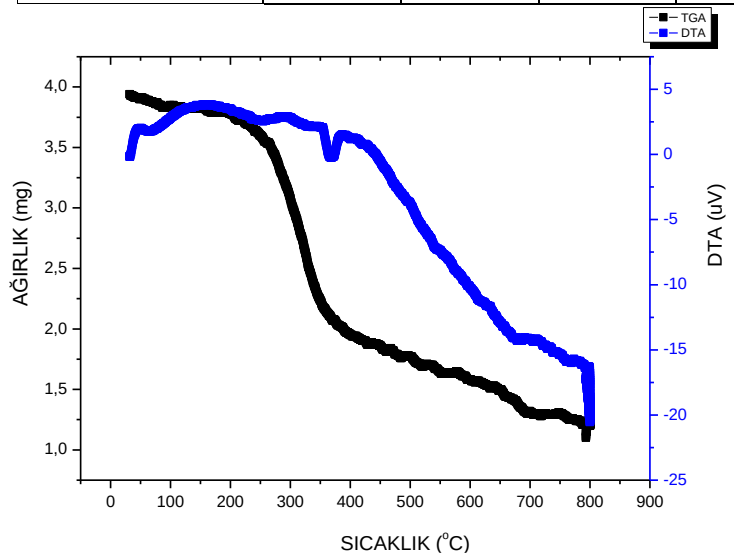
Şekil 4.16. Çam Talaşı TG/DTA analizi

Çam Talaşına ait DTA-TGA analiz sonucu Şekil 4.16.'da verilmiştir. DTA analizine göre 280 °C'ye kadar önemli derecede enerji ihtiyacı yoktur. 300-600 °C sıcaklıklar arasında önemli derecede endotermik olan bir reaksiyon gerçekleşmiştir. Bunun nedeni Çam Talaşı içerisinde bulunan karbon esaslı malzeme dışındaki empüritelerin ve uçucuların yapıdan ayrılması olarak yorumlanabilir. 600 °C sıcaklıkta ise yanma reaksiyonu gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıktan sonra ise 800 °C'ye kadar malzemede ekzotermik bir reaksiyon oluşmuştur. TGA analizinde; tüm sıcaklıklarda kütle kaybı olmakla birlikte özellikle 200-550 °C sıcaklıklar arasında bu kütle kaybının daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Oda sıcaklığından 550 °C'lere

kadar olan bölümde kütle kaybının yapı içinde bulunan nem ve uçucuların yapıdan uzaklaşması sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. Bu malzemenin Çizelge 4.9.'da görüldüğü gibi 350 °C sıcaklıkta işlem görmesi sonucu % 45,62'lik bir kütle kaybı gerçekleştiği ve 5654 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.9. Çam talaşının farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıplarıve kalorifik değerleri

ÇAM TALAŞI				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	5,56	12,54	29,38	45,62
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	5616,80	4835,30	5891,92	5654,47
Kalorifik Değer (cal/g) SEYLER	5332,23	4177,35	5825,66	5662,20



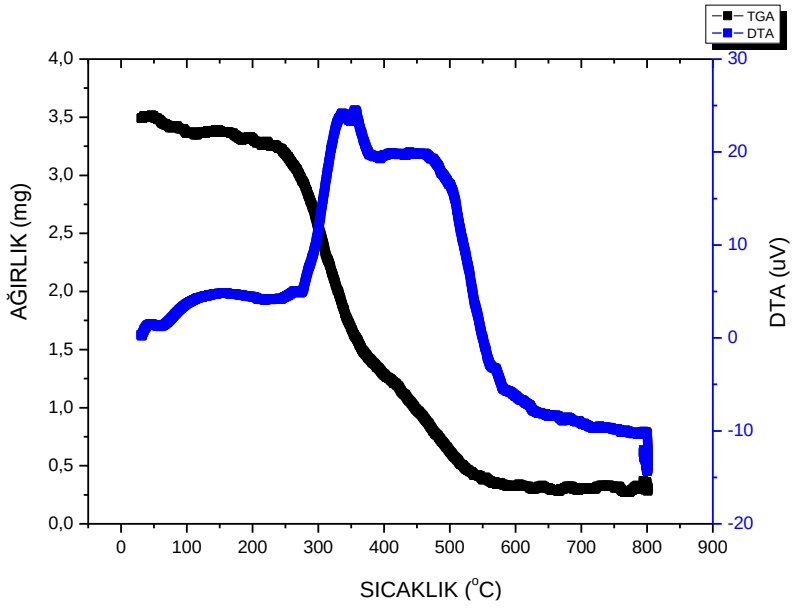
Şekil 4.17. Pamuk, Fıstık, Mısır, Zeytin ve Çam Talaşından Oluşan Karışımın TG/DTA analizi

Şekil 4.17'de Pamuk, fıstık, mısır, zeytin ve çam talaşından oluşan karışımın DTA-TGA analiz sonucu verilmiştir. DTA analizine göre 430 °C'ye kadar önemli derecede enerji ihtiyacı yoktur. Bu sıcaklıkta ise yanma reaksiyonu gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıktan sonra ise 800 °C'ye kadar malzemede şiddetli ekzotermik bir reaksiyon oluşmuştur. Ancak 430-450 °C sıcaklıklar arasında yine ekzotermik reaksiyon meydana gelmesine rağmen, farklı bir reaksiyon oluştuğu da anlaşılmaktadır. TGA

analizinde; tüm sıcaklıklarda kütle kaybı olmakla birlikte 200-350 °C sıcaklıklar arasında bu kütle kaybının daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Bu sıcaklıklar arasındaki bölümde gerçekleşen kütle kaybının DTA eğrisi ile birlikte değerlendirildiğinde karbonun yanmasıyla oluşan CO/CO_2 gazları sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Bu malzemenin Çizelge 4.10.'da görüldüğü gibi 350 °C sıcaklıkta işlem görmesi sonucu % 49,48 kütle kaybı gerçekleştiği ve 5357 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.10. Pamuk, fıstık, mısır, zeytin ve çam talaşından oluşan karışımın oluşan karışımın farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri

PAMUK ,FISTIK ,MISIR, ZEYTİN VE ÇAM TALAŞINDAN OLUŞAN KARIŞIM				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	3,35	9,91	20,29	49,48
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	5120,95	4768,34	5374,33	5357,26
Kalorifik Değer (cal/g) SEYLER	4612,57	4227,62	5040,39	5073,15



Şekil 4.18. Pamuk, fıstık, mısır, zeytin, çam talaşı, arıtma çamuru ve hayvansal atıktan oluşan karışımın TG/DTA analizi

Şekil 4.18.'de Pamuk, fıstık, mısır, zeytin ve çam talaşından oluşan karışımın DTA-TGA analiz sonucu verilmiştir. DTA analizine göre 430 ºC'e kadar önemli derecede enerji ihtiyacı yoktur. Bu sıcaklıkta ise yanma reaksiyonu gerçekleşmiştir. Bu sıcaklıktan sonra ise 800 ºC''e kadar malzemede şiddetli ekzotermik bir reaksiyon oluşmuştur. Ancak 430-450 ºC' sıcaklıklar arasında yine ekzotermik reaksiyon meydana gelmesine rağmen, farklı bir reaksiyon oluştuğu da anlaşılmaktadır. TGA analizinde; tüm sıcaklıklarda madde kaybı olmakla birlikte 200-350 ºC' sıcaklıklar arasında bu ağırlık kaybının daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Bu sıcaklıklar arasındaki bölümde gerçekleşen madde kaybının DTA eğrisi ile birlikte değerlendirildiğinde karbonun yanmasıyla oluşan CO/CO2 gazları sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Bu malzemenin çizelge 4.11'de görüldüğü gibi 350 ºC' sıcaklıkta işlem görmesi sonucu %49,48 ağırlık kaybı gerçekleştiği ve 5357 cal/gr (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür

Çizelge 4.11. Pamuk, fıstık, mısır, zeytin, çam talaşı, arıtma çamuru ve hayvansal atıktan oluşan karışımın farklı sıcaklıklarda işleme tabi tutulması sonucu elde edilen ağırlık kayıpları ve kalorifik değerleri

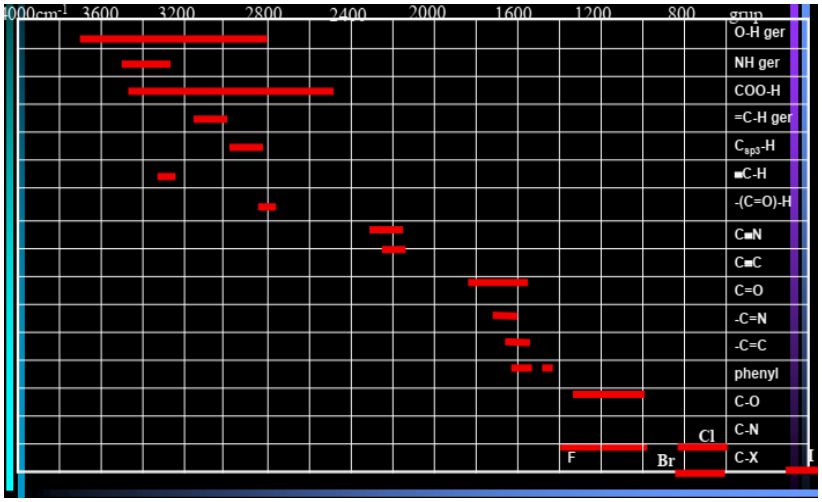
PAMUKm,FISTIK, MISIR, ZEYTİN, ÇAM TALAŞI, ARITMA ÇAMURU VE HAYVANSAL ATIKTANOLUŞAN KARIŞIM				
Sıcaklıklar (°C)	**200**	**310**	**340**	**350**
Kütle kaybı (%)	7,50	12,35	17,98	47,79
Kalorifik Değer (cal/g) DULONG	5243,22	4834,64	5001,20	5494,38
Kalorifik Değer (cal/g) SEYLER	4793,05	4323,68	4472,44	5406,88

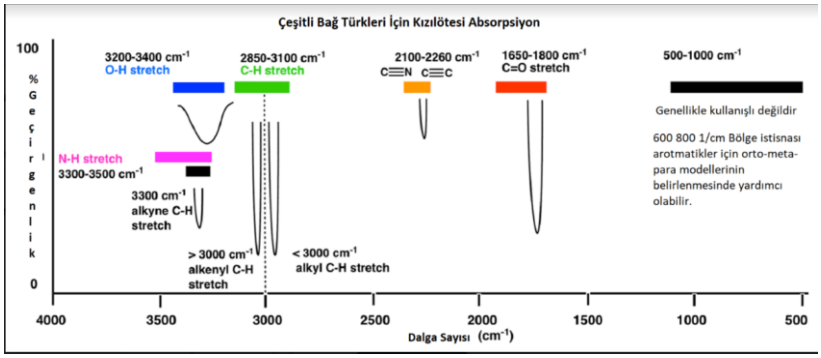
4.4. Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi

Elektromanyetik radyasyonun organik moleküller tarafından soğurulması moleküldeki atomların tipine ve dizilişine, moleküllerin şekline ve boyutuna bağlı olduğundan, organik maddelerin kalitatif ve kantitatif analizleri gibi birçok alanda spektroskopik yöntemler uygulanmaktadır. yapılarının belirlenmesi, stereokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve saflıklarının kontrol edilmesidir (Benaddi ve ark., 2000; Erdik, 1993; Doğan ve ark., 2007). FTIR, çeşitli mikroorganizmaların kimyasal bileşimlerini karakterize etmek için kullanılabilen hızlı, güvenilir, hassas ve ucuz bir

tekniktir (Doğan ve ark., 2007). Grafikler birçok FTIR çalışmasını destekler ve spektral veri analizleri yapılır (Doğan ve ark., 2007; Büyüksırıt ve Kuleaşan, 2019; Yaslı, 2019). kızılötesi spektroskopisi (IR), parmak izlerinin örneklendiği organik veya inorganik bileşikleri karakterize etmeye yarayan bir araçtır. absorpsiyon tepe noktaları, bağların titreşiminden kaynaklanan atomlar arası frekanslara karşılık gelir. Her maddenin kendi spektrumu vardır. Bunun tek istisnası optik izomerlerdir.. (Büyüksırıt ve Kuleaşan, 2014; Doğan ve ark., 2007). Şekil 4.19.'da FTIR analizindeki dalga sayısına göre bağ yapısı verilmektedir. Düşük sıcaklık kuru piroliz (Torrefaksiyon) deneyleri sonrasında elde edilen katı ürünlerin kimyasal içerikleri göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır.

Bileşik 'ün IR spektrumunu kullanarak yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri, yapının aromatik mi yoksa alifatik mi olduğu hakkında bilgi alabiliriz. Hazırlanan numuneler FTIR aparatının sabit numune haznesine konularak 400- 4000 cm-1 dalga boyu aralığında spektrum alınmıştır. Dalga sayısına göre belirlenen fonksiyonel gruplar grafiğin altında verilmiştir.



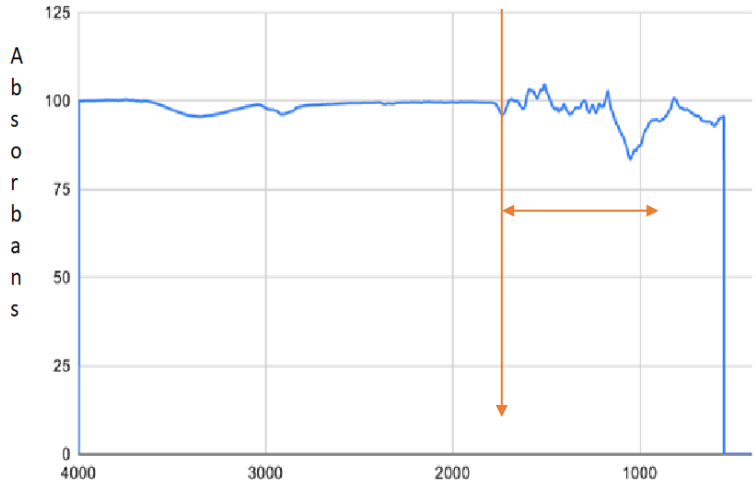


Şekil 4.19. FTIR analizindeki dalga sayısına göre bağ yapısı

Aktivasyon sonrası zeytin atıklarında bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları Şekil 4.20.'de verilmektedir. Moleküllerin infrared absorpsiyon olarak iki bölge tanımlanır. İnfrared kısmında 4000-1000 cm^{-1} arasında bulunan kısmı fonksiyonel gruptur; < 1000 cm^{-1} bölgesi ise parmak izi bölgesi olarak bilinmektedir.

Karbon hidrojen bağları infrared spektrumunda yaklaşık olarak 3000 dalga sayısının üzerinde sinyal verir. Ancak bu dalga sayısı karbonun hibritleşme türüne bağlıdır. Yaklaşık 3300 dalga sayısında sp hibritleşmiş karbon hidrojen bağları (≡C-H) olacaktır. 3100 dalga sayısında ise sp^2 hibritleşmiş çift bağ yapan karbon hidrojen (=C-H) yapılarının olması gerekmektedir. 2800 dalga sayısında ise sp^3 hibritleşmiş karbon hidrojen (-C-H) bağ yapısı beklenmelidir.

Bizim örneğimizde (Şekil 4.19.) 1500-2000 cm^{-1} arasındaki bölgeye bakacak olursak, karbonun çift bağ yaptığı sinyalleri görebiliriz. 3000 cm^{-1} üzerindeki bölgede geniş bir sinyal bölgesi görülmektedir. Burada hidrojen bağlarından söz edilebilir. Geniş sinyalin nedeni sp hibritleşmiş karbon hidrojen bağları olabilir. Yine 3000 cm^{-1}'nin altındaki geniş sinyal alanı C-H bağlarında sp^3 hibritleşmesini göstermektedir. N'nin yaptığı bağlar, genellikle benzer bölgelerde görülür, simetrik veya asimetrik sinyaller verir. 1500-1800 cm^{-1}'arasında görülen sinyaller karbon azot (–C=N) ve karbon karbon (–C=C) bağlarını göstermektedir.



Şekil 4.20. Zeytin atıklarının (pirina) FT-IR spektrumları(t/cm^{-1})

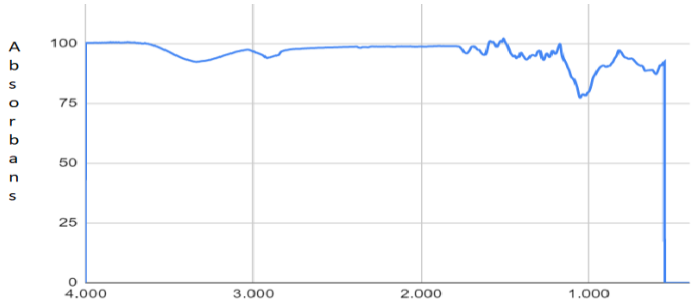
Çizelge 4.12. Torrefaksiyon deneyleri sonrası zeytin atıkları (pirina) içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları

Dalga Sayısı cm^{-1}	Fonksiyonel Gruplar	Yoğunluk
897	**Alkinler =C-H esnek**	**s**
1065	**Alifatik aminler C-N gergin**	**m**
1219	**Aromatikler C-N gergin**	**s**
1753	**Ketonlar C=O gergin**	**s**
2925	**Alkenler ve alkinler C-H gergin**	**s**

s: kuvvetli m: orta w: zayıf

Pamuk saplarının FT-IR spektrumları Şekil 4.21.'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi FT-IR spektrumları zeytin atıkları (pirina) ile aynı özellikler göstermektedir. 1500-2000 cm^{-1} arasındaki bölgede yine karbonun çift bağ yaptığı sinyalleri görebiliriz. 3000 cm^{-1} üzerindeki bölgede geniş bir sinyal bölgesi görülmektedir. Burada hidrojen bağlarından söz edilebilir. Geniş sinyalin nedeni sp hibritleşmiş karbon hidrojen bağları olabilir. Yine 3000

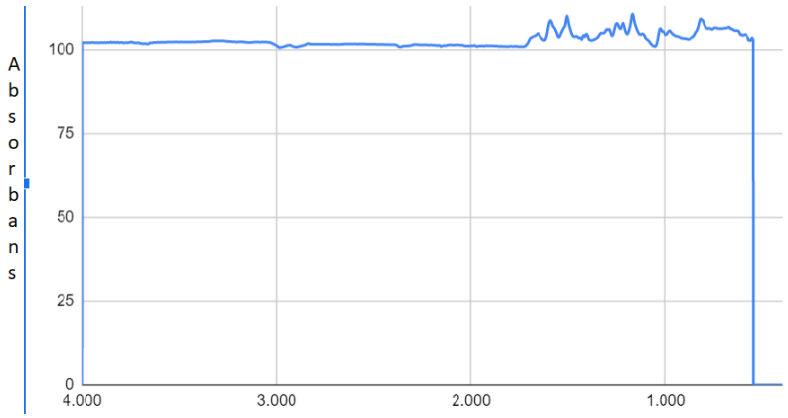
cm^{-1}'nin altındaki geniş sinyal alanı C-H bağlarında sp^3 hibritleşmesini göstermektedir. 1500-1800 cm^{-1} arasında görülen sinyaller karbon azot (–C=N) ve karbon karbon (–C=C) bağlarını göstermektedir.



Şekil 4.21. Pamuk saplarının FT-IR spektrumları (t/cm^{-1})

Çizelge 4.13. Pamuk saplarının içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları

Dalga Sayısı cm^{-1}	**Fonksiyonel Gruplar**	**Yoğunluk**
850	Alkil halojenürler C-CI gergin	s
1060	Alifatik aminler C-N gergin	m
1500	Aromatik bileşikler C=C esnek	m-s
1570	Aromatikler C-C gergin	m
2980	Alkenler ve alkinler C-H gergin	s



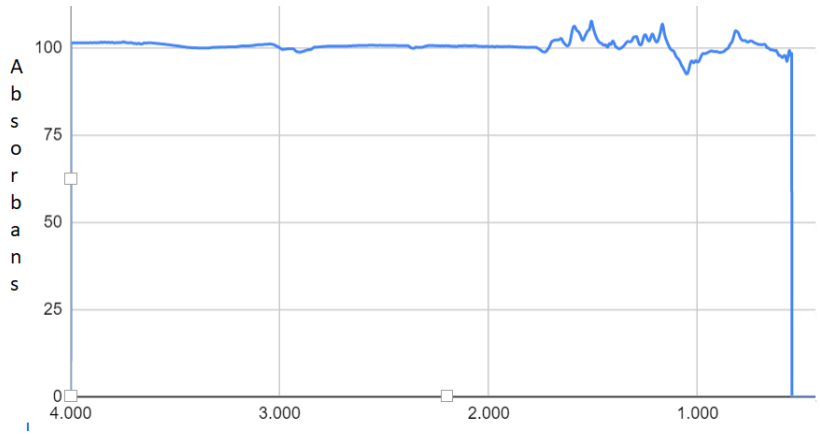
Şekil 4.22. Fıstık Kabuklarının FT-IR Spektrumları (t/cm^{-1})

Çizelge 4.14. Fıstık kabuklarının içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları

Dalga Sayısı cm^{-1}	Fonksiyonel Gruplar	Yoğunluk
815	Alkil halojenürler C-CI gergin	s
895	Alkinler =C-H esnek	s
1050	Alifatik aminler C-N gergin	m
1505	Aromatik bileşikler C=C esnek	m-s
1530	Aromatik bileşikler C=C gergin	m-s

Fıstık kabuklarının FT-IR spektrumları Şekil 4.22.'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi FT-IR spektrumları 1500-2000 dalga sayısı arasında pamuk sapları ve zeytin atıkları (pirina) ile aynı özellikler göstermektedir. 1500-2000 cm^{-1} arasındaki bölgede yine karbonun çift bağ yaptığı sinyalleri görebiliriz. 1500-1800 cm^{-1} arasında görülen sinyaller karbon azot (–C=N) ve karbon karbon (–C=C) bağlarını göstermektedir.

Mısır saplarının FT-IR spektrumları Şekil 29'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi FT-IR spektrumları 1500-2000 dalga sayısı arasında Şekil 4.23, 4.24 ve 4.25'de verilen FT-IR spektrumları ile benzer özellikler sergilemektedir. 1500-1800 cm^{-1} arasında görülen sinyaller karbon azot (–C=N) ve karbon karbon (–C=C) bağlarını göstermektedir.



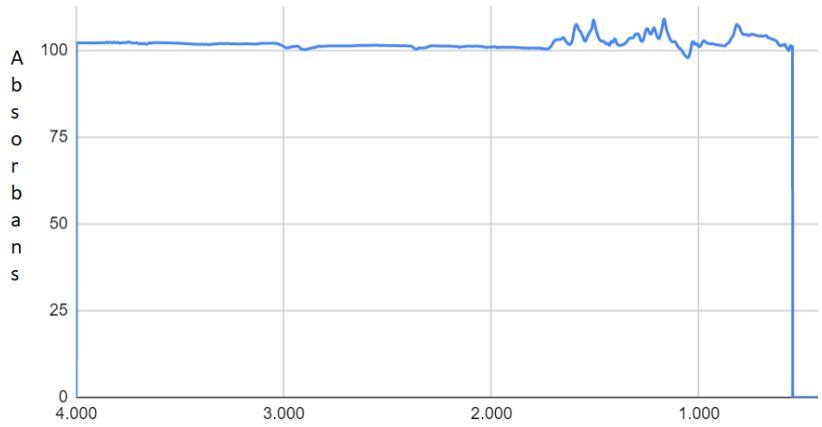
Şekil 4.23. Mısır saplarının FT-IR spektrumları(t/cm-1)

Çizelge 4.15. Mısır saplarının içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları

Dalga Sayısı cm^{-1}	Fonksiyonel Gruplar	Yoğunluk
860	Alkil halojenürler C-CI gergin	s
1230	Aromatikler C-N gergin	s
1570	Aromatikler C-C gergin	m
1700	Aldehitler C=O gergin	s
1780	Ketonlar C=O gergin	s

Şekil 30'da çam talaşına ait FT-IR spektrumları verilmiştir.

Çam talaşında alınan sinyallerde pirina, pamuk sapları ve mısır saplarına ait görüntülere benzerdir.



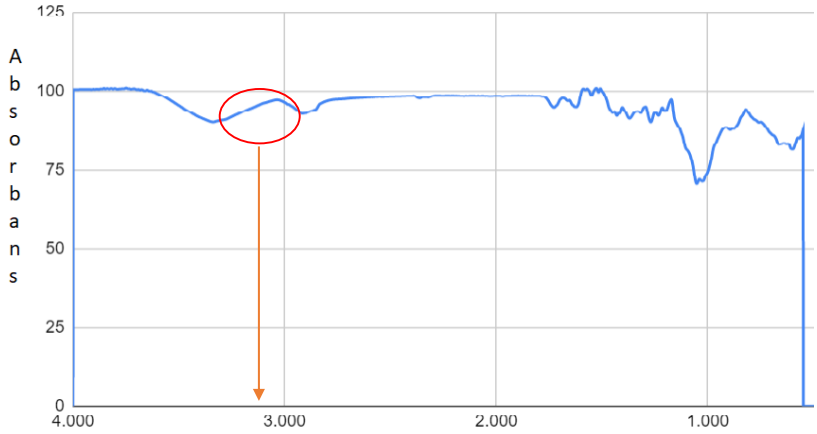
Şekil 4.24. Çam talaşı FT-IR spektrumları(t/cm^{-1})

Çizelge 4.16. Çam talaşı içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları

Dalga Sayısı cm^{-1}	Fonksiyonel Gruplar	Yoğunluk
690	Alkinler ≡C-H esnek	s
1050	Alifatik aminler C-N gergin	m
1360	Alkanlar C-H rock	m
1505	Aromatik bileşikler C=C esnek	m-s
1580	Aromatikler C-O gergin	m
1650	Aromatikler C-O gergin	m

Şekil 4.25.'de hayvansal atıklara ait spektrum verilmiştir.

Karbon hidrojen bağları infrared spektrumunda yaklaşık olarak 3000 dalga sayısının üzerinde sinyal verir. Ancak bu dalga sayısı karbonun hibritleşme türüne bağlıdır. Yaklaşık 3300 dalga sayısında sp hibritleşmiş karbon hidrojen bağları (≡C-H), ya da azot hidrojen(N-H) bağ gerilimini verir. 3100 dalga sayısında ise sp^2 hibritleşmiş çift bağ yapan karbon hidrojen (=C-H) yapılarının olması gerekmektedir. 2800 dalga sayısında ise sp^3 hibritleşmiş karbon hidrojen (-C-H) bağ yapısı görülmektedir.

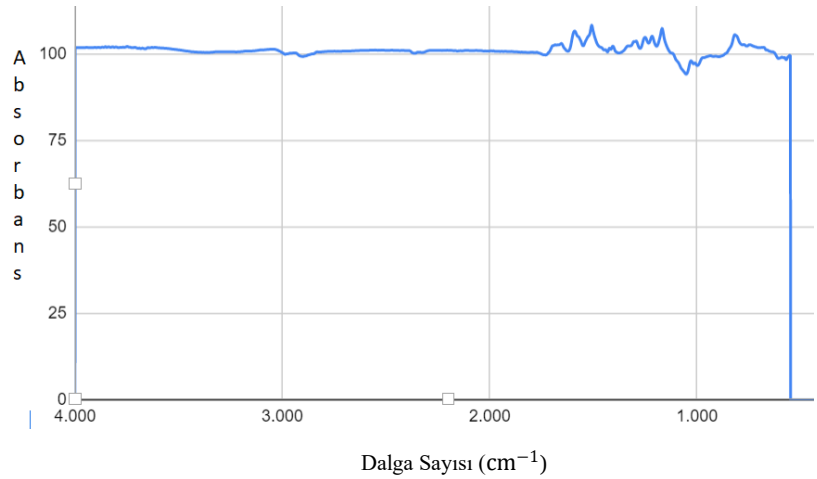


Şekil 4.25. Hayvansal atık FT-IR spektrumları(t/(cm^{-1})

Çizelge 4.17. Hayvansal atık içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları

Dalga Sayısı cm^{-1}	Fonksiyonel Gruplar	Yoğunluk
836	Alkil halojenürler C-CI gergin	s
1350	Alkanlar C-H rock	m
1505	Aromatik bileşikler C=C esnek	m-s
1640	Aromatikler C-O gergin	m
1720	Aldehitler C=O gergin	s
1800	Aldehitler C=O gergin	s
3100	Alkil C-H gergin	m

Mısır sapları, pirina, pamuk sapları ve çam talaşından oluşan karışımın FT-IR spektrumları Şekil 4.26.'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi FT-IR spektrumları 1500-2000 dalga sayısı arasında pamuk sapları ve zeytin atıkları (pirina) ile aynı özellikler göstermektedir. 1500-1800 cm^{-1} arasında görülen sinyaller karbon azot (–C=N) ve karbon karbon (–C=C) bağlarını göstermektedir.

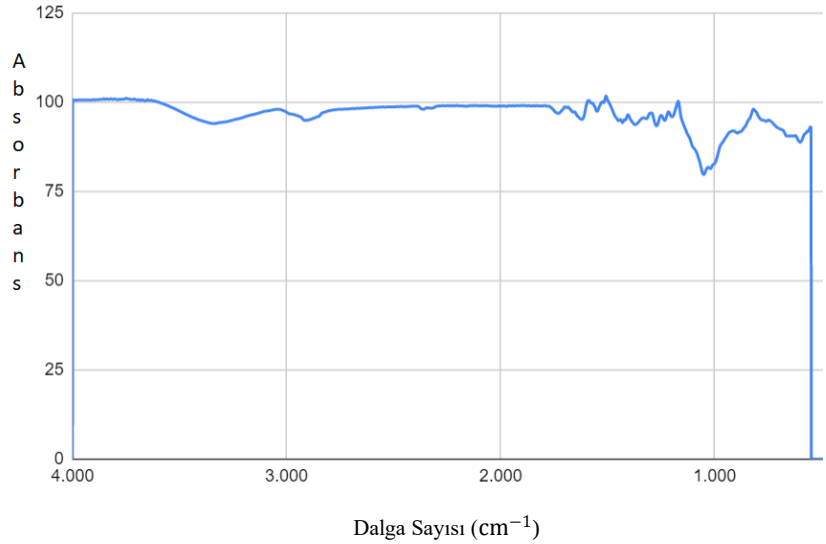


Şekil 4.26. Mısır, zeytin, pamuk çam talaşı karışımı FT-IR spektrumları(t/cm-1)

Çizelge 4.18. Mısır sapları, pirina, pamuk sapları ve çam talaşından oluşan karışımın içerisinde bulunan farklı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları

.	Dalga Sayısı cm^{-1}	Fonksiyonel Gruplar	Yoğunluk
	640	Alkinler ≡C-H esnek	s
	1080	Alifatik aminler C-N gergin	m
	1360	Alkanlar C-H rock	m
	1510	Aromatikler C-C gergin	m
	1570	Aromatikler C-C gergin	m
	1700	Aldehitler C=O gergin	s

Pirina, pamuk sapları, Mısır sapları, çam talaşı ve hayvansal atıklardan oluşan karışımın FT-IR spektrumları Şekil 4.27.'te verilmektedir. Şekilde 3300 dalga spektrumunda yine karbon hidrojen ya da karbon azot bağlarından söz edilebilir. 1500-2000 dalga sayısı arasında pamuk sapları ve zeytin atıkları (pirina) ile aynı özellikler göstermektedir. 1500-1800 cm^{-1} arasında görülen sinyaller karbon azot (–C=N) ve karbon karbon (–C=C) bağlarını göstermektedir.



Şekil 4.27. ZPFMÇAH karışımı FT-IR spektrumları t/(cm^{-1})

Çizelge 4.19. Pirina, pamuk sapları, Mısır sapları, çam talaşı ve hayvansal atıklardan oluşan karışımın içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları

Dalga Sayısı cm^{-1}	**Fonksiyonel Gruplar**	**Yoğunluk**
880	Alkil halojenürler C-CI gergin	s
1300	Alkanlar C-H rock	m
1505	Aromatik bileşikler C=C esnek	m-s
1640	Aromatikler C-O gergin	m
1720	Aldehitler C=O gergin	s
1800	Aldehitler C=O gergin	s
3100	Alkil C-H gergin	m

Tüm ürünlerin harmanlanmasından oluşan (Pirina, pamuk sapları, Mısır sapları, çam talaşı hayvansal atıklar ve arıtma çamurundan oluşan karışım) karışımın FT-IR spektrumları. Şekilde 3300 dalga spektrumunda yine karbon hidrojen ya da karbon azot bağlarından söz edilebilir. Bu bölgedeki bağlar hem çok kısa hem çok güçlüdür. 1500-1800 cm^{-1}arasında görülen sinyaller karbon azot (–C=N) ve karbon karbon (–C=C) bağlarını göstermektedir.



Dalga Sayısı (cm^{-1})

Şekil 4.28. Karışım FT-IR spektrumları t/(cm^{-1})

Çizelge 4.20. Tüm ürünlerin harmanlanmasından oluşan oluşan karışımın içerisinde bulunan bazı fonksiyonel gruplar ve dalga sayıları aşağıda verilmektedir

Dalga Sayısı cm^{-1}	**Fonksiyonel Gruplar**	**Yoğunluk**
890	Alkil halojenürler C-CI gergin	s
1070	Alifatik aminler C-N gergin	m
1250	Aromatikler C-N gergin	s
1360	Alkanlar C-H rock	m
1570	Aromatikler C-C gergin	m
1725	Aldehitler C=O gergin	s
3050	Alkil C-H gergin	m

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezin amacı, hem evsel yakıt olarak hem de metal üretiminde enerji kaynağı ve redüktör olarak kullanılarak karbondioksit emisyonunu azaltan karbonize ürünler üretmektir. Bu amaçla pirina, pamuk sapları, mısır sapları, hayvansal atıklar, çam talaşı, arıtma çamuru ve fıstık kabukları gibi organik atıklardan biyokömür elde edilmeye çalışılmış ve analizleri yapılarak en yüksek ısıl değere sahip olan biyokömürün bulunmasına çalışılmıştır. Bahsi geçen organik malzemeler 200, 310, 340 ve 370 °C (bazı numuneler 800 °C sıcaklığa kadar) reaksiyon sıcaklıklarında 30 min süre boyunca karbonizasyon işlemine tabi tutulmuş, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Bütün numunelerde sıcaklığın artışıyla orantılı olarak hidrojen miktarında bir azalma olduğu karbon miktarlarında ise gözle görülür bir artış olduğu görülmüştür. Ancak arıtma çamuru ve karışımlarda bu oran çok az bir artış göstermiştir. Biyomalzemelerin torrefaksiyon ve pirolizi sırasında, 100 ile 500 °C arasında organik moleküller parçalanır. 160-180 °C'de sakkaroz grubu bileşenlerin çoğu ayrışmaya başlar. Özellikle fıstık, çam talaşı gibi bileşenlerin bünyesindeki Yaklaşık 350 °C'de selüloz, diğer bir önemli bileşen olan lignine parçalanmaya başlar, ancak 500 °C'ye kadar uçucu ürünleri uzaklaştırmaya devam eder. Ayrıştırıcılar genellikle su, CO ve/veya CO_2 ve birçok organik maddedir.

Piroliz, torrefaksiyon ve karbonizasyon işlemi sırasında örneklerin hangi sıcaklıkta ne kadar kütle kaybına uğradığını tespit etmek amacıyla TGA, DTG gibi analizler gerçekleştirilmiş, pirinada 250 °C sıcaklığa kadar yavaş bir kütle kaybı olduğu, ancak 250 °C'nin üzerinde hızlı bir şekilde kütle kaybının gerçekleştiği görülmüştür. Pirinada TGA sırasında 350 °C sıcaklıkta yaklaşık % 60 kütle kaybı gözlenirken, DTA'da ise önce bir endotermik reaksiyonun gerçekleştiği ardından yanma ile birlikte ekzotermik reaksiyonların meydana geldiği görülmüştür. Pirinanın 350 °C sıcaklıkta yapılan deneyde zeytin atığının kalorifik değeri 6798 cal/g olarak ölçülmüştür.

Pamuk saplarının DTA-TGA sonucuna göre, 300 °C'ye kadar önemli derecede enerji ihtiyacının olmadığı, 580 C'e kadar malzemede endotermik bir reaksiyon gerçekleştiği ve uçucuların yapıdan uzaklaşmasının 580 °C'ye kadar sürdüğü görülmüştür. TGA'da; tüm sıcaklıklarda kütle kaybı olduğu, oda sıcaklığından 300 °C'lere kadar olan kütle kaybının yapı içinde bulunan uçucuların yapıdan uzaklaşması sebebiyle oluştuğu sonucu çıkarılmıştır. Pamuk saplarının 350 °C sıcaklıkta işlem görmesi sonucu % 57,64 kütle kaybı gerçekleştiği ve 6183 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

- Mısır saplarının TGA sonucuna göre; tüm sıcaklıklarda kütle kaybı olduğu, 350 °C'de % 58,04 kütle kaybı gerçekleştiği ve 6576 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.
- Hayvansal atıkların TGA sonucuna göre; 350 °C'de % 43,13'lük bir kütle kaybı gerçekleştiği ve 5995 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.
- Arıtma çamurunun TGA sonucuna göre; 350 °C'de % 20,62'lik bir kütle kaybı gerçekleştiği ve 5606 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.
- Fıstık kabuklarının TGA sonucuna göre; 350 °C'de % 60,31'lik bir kütle kaybı gerçekleştiği ve 5125 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.
- Çam talaşının TGA sonucuna göre; 350 °C'de % 45,62'lik bir kütle kaybı gerçekleştiği ve 5654 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.
- Pamuk, fıstık, mısır, pirina ve çam talaşından oluşan karışımın TGA sonucuna göre 350 °C'de % 49,48'lik bir kütle kaybı gerçekleştiği ve 5357 cal/g (Dulong'a göre) kalorifik değere sahip olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

ALTAŞ, İ. H. 1998. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye'deki Potansiyel. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, sayı 45, Trabzon.

ANDERSSON, G., ASİKAİNEN, A., BJÖRHEDEN, R., HALL, P.W., HUDSON, J.B., JİRJİS, R., MEAD, D.J., NURMİ, J. AND WEETMAN, G.F., 2002. Production of forest energy. In: Richardson J, Björheden R, Hakkila P, Lowe AT, Smith CT (eds) BioenergyfromSustainableForestry, Guiding Principles and Practice, Kluwer Academic Publishers, 344 pp.

APAYDIN, C. O. 1996. Enerji Sektöründe Organizasyon Ve Mevzuat Sorunları. Enerji Politikaları ve Planlama, Cilt I, Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, Türkiye 7. Enerji Kongresi.

ASTM-D-3174 – 00. Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke from coal.

ASTM-D-3175 – 07. Standard test method for volatile matter in the analysis sample of coal and coke.

B.M JENKİNS, L.LBAXTER, T.R.MİLES, 1998. Combustion Properties of Biomass

BELLARD, C., BERTELSMEİER, C., LEADLEY, P., THUİLLER, W. ANDCOURCHAMP, F., 2012. Impacts of climatechange on thefuture of biodiversity, EcologyLetters, 15: 365–377pp.

BENADDİ, H., BANDOSZ, T.J., JAGİELLO, J., SCHWARZ, J.A., ROUZAUD, J.N., LEGRAS, D., BEGUİN, F., 2000. Surface functional ityand porosity of activated carbon sobtained from chemical activation of wood. Carbon, 38, 669-674.

BERNDES G, 2001. Biomass in the energy system resource requirements and competition for land. Diss: Department of Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology and Gothenburg University, Gothenburg, 150 pp.

BİÇİCİ, R. 2008. Türkiye 'de Enerji Ekonomisi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak.

BURAS, A., THEVS, N., ZERBE, S. and WİLMKİNG, M., 2013. Productivity and carbon sequestration of Populuseuphratica at the Amu River, Turkmenistan, Forestry, 86: 429–439pp.

BÜYÜKSIRIT, T., KULEAŞAN, H., 2014. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ve Gıda Analizlerinde Kullanımı, GIDA, 39 (4): 235-241, doi: 10.5505/gida.43434.

CAO, X., RO, K.S., CHAPPELL, M., Lİ, Y. and MAO, J., 2011. Chemical Structures of Swine anure Chars Produced under Different Carbonization Conditions Investigated by Advanced Solid-State 13 C Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy, Energy&Fuels, 25(1): 388–397p.

CHEN, Y., ZHOU, L., SHENGLEİ, F., SHİQİN, Y., SUPİNG, L., LİU, T., ZHANG, W., WANG, X. and ZHANG, Y., 2017. Reforestation makes a minör contribution to soil carbon accumulation in the shortterm: Evidence from four subtropical plantations, Forest Ecology and Management, 384: 400-405pp.

CHRİSTERSSON L. and VERMA, K., 2006. Short-rotationforestry – a complement to "conventional" forestry, Unasylva, 223(57): 34-39 pp.

ÇALIŞKAN, Ş. 2009. Türkiye 'nin Enerjide Dışa Bağımlılık ve Enerji Arz Güvenliği Sorunu. Sosyal Bilimler Dergisi, sayı: 25, s.s 306-309.

D. A. Z. WEVER, H. J. HEERES, A. A. 2012. Broekhuis, Characterization of Physicnut (Jatrophacurcas L.)SHELS, biomass bioenergy37(2012)177-187

DEMİR, E. 2012. AB'nin Enerji Politikası ve Türkiye. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Demirbaş, L. 2002. Türkiye 'de Enerji Sektörü, Sektörün Problemleri, Avrupa Birliği ve Türkiye 'de Enerji Politikaları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Bilim Uzmanlığı Tezi, Isparta.

DEY, S.K., 2005. A Preliminary Estimation of Carbon Stock Sequestrated Through Rubber (Hevea Brasiliensis) Plantation in North Eastern Regional of India, Indian Forester, 31(11): 1429–1435pp.

DOĞAN, A., SİYAKUS, G., SEVERCAN, F., 2007. FTIR spectroscopic characterization of irradiatedhazelnut (Corylusavellana L.). FoodChem, 100, 1106-1114.

DOĞAN, BİRCAN 2010. Enerji Tüketimi- Enerji Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği (19802008), Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

DOĞANAY, H. 1994. Türkiye Ekonomik Coğrafyası. Atatürk Üni. Yayın No:767, Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Yayın No: 39, Ders Kitapları Serisi No: 33, Erzurum.

E. SÖZEN, G. GÜNDÜZ, D. AYDEMİR ve E. GÜNGÖR, 2017. "Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi," Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19, 1, 148-160, 2017.

ELEMENTEL ANALİZ CİHAZI, 2010. İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarı, http://www.istanbul.edu.tr/merkezler/itl/CihazElemental.html

ERDİK, E., 1993. Organik Kimyada Spektroskopik Yöntemler. Gazi Kitabevi, ISBN: 975-7373-04-1, 531s., Ankara.

ERTAŞ, C. 2011. Fizik 9 Ders Kitabı. Ankara: Paşa Yayıncılık.

FAO, 2008. Forests and energy: Key issues. Food and Agrıculture Organızatıon of The Unıted Natıons, Rome.

FAO, 2020. Crop Ecological Requirements Database (ECOCROP), http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning toolbox/category/details/en/c/1027491/. (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2022).

FİCK, S.E. and HİJMANS, R.J., 2017. World Clim 2: New 1-km Spatial Resolution Climate Surfacesfor Global Land Areas, International Journal Of Clımatology, 37: 4302–4315pp.

FUERTES, A. B., ARBESTAİN, M.C., SEVİLLA, M., MACİA-AGULLO, J.A., FİOL, S., LOPEZ, R., SMERNİK, R.J., AİTKEN HEAD, W.P., ARCE, F. and MACİAS, F., 2010. Chemical and structural properties of carbon aceous products obtained by pyrolysis and hydrothermal carbonisation of cornstover, Australian Journal of Soil Research, 48:618-626p.

FÜSSEL, H.M. and KLEİN, R.J.T., 2006. Climatec hange vulner ability assessments: an evolution of conceptual thinking, Clim. Change, 75: 301–329pp.

GOODARZİ, M., RANJBAR, M., BAYRAMV and R., 2016. Assessing Carbon Sequestration Impacts of Sorkhehhesar in Relieving Climate Change Effects, Iran J Watershed Mang SciEng., 10(34): 27-34pp.

Guo Q, 2000. ClimateChangeandBiodiversityConservation in the Great Plains, Global EnvironmentalChange, 10(4): 289–298pp.

GÜNDOĞDU, A., 2010. Fabrika Çay Atıklarından Aktif Karbon Üretimi, Karakterizasyonu ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalına Sunulan Doktora Tezi, Trabzon.

HAKKİLA, P. and PARİKKA, M., 2002. Fuel Resources from the forest. In: Richardson J, Björheden R, Hakkila P, Lowe AT, Smith CT (eds) Bioenergy from Sustainable Forestry, Guiding Principles and Practice, Kluwer Academic Publishers, 344 pp.

HAŞLAK, O., 2007. Küresel ısınmanın toprak ve bitkiler üzerine etkileri, Üniversite Öğrencileri 2. Çevre Sorunları Kongresi, Fatih Üniversitesi, 33-38pp.

HUANG, P., 2002. Irrigation-Free Vegetationand It's Recovery in Arid Region, Science Press: Beijing, China, 15–50pp.

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme,Switzerland,4, ISBN: 4-88788-032-4.

IYİGUN, C., TÜRKEŞ, M., BATMAZ, I., YOZGATLİGİL, C., PURUTÇUOĞLU, V., KOÇ, E.K. and ÖZTÜRK, M.Z, 2013. Clustering Current Climate Regions of Turkey by Using a Multivariate Statistical Method, Theoreticaland Applied Climatology, 114: 95–106pp.

KARADAŞ, F. 2008. Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye 'de Enerji Sektörü ve Politikaları. Gaziantep Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep.

KARAOSMANOĞLU, F. 2004. Enerjinin Önemi, Sınıflandırılması ile Kaynak İhtiyaç Dengesi ve Gelecekteki Enerji Kaynakları, Dünya ve Türkiye'deki Enerji ve Su Kaynaklarının, Ulusal ve Uluslararası Güvenliğe Etkileri Sempozyum Bildirileri, Harp Akademileri Yayınları.

KARLUK, R. 1997. Türkiye Ekonomisi. İstanbul: Beta Yayınları.

KAVAK, K. 2005. Dünyada ve Türkiye 'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

KAZAZ, O. 2018. "Biomass Energy Potential of Turkey," MSc. Thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Çukurova University, Adana, 2018

KUYUCUKLU, N. 1993. Türkiye İktisadı. İstanbul: Filiz Kitabevi.

LAMB, D., ERSKİNE, P.D. and PARROTTA, J.A., 2005. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscape, Science, 310: 1628–1632pp.

LANDSBERG, J., PRİNCE, S., JARVİS, P., MCMURTRİE, R., LUXMOORE, R. and MEDLYN, B., 1997. Energy conversion and use in forestry: an analysis of forest production in terms of radiation utilization efficiency. In: H.L. Gholz, K. Nakane& H. Shimoda, eds. Theuse of remotesensing in the modeling of forest productivity. London, UK, KluwerAcademic Publishers.

LANE, A. and JARVİS, A., 2007. Changes in climate will modify the geography of cropsuitability: Agricultual biodiversity can help with adaptation, SAT eJournal, 4(1): 1-12pp.

Lİ, S., XU, S., LİU, S., YANG, C. and LU, Q., 2004. Fast pyrolysis of biomass in free-fall reactor for hydrogen-richgas, Fuel Processing Technology, 85:1201–1211p.

LUNDMARK, L., PASHKEVİCH, A., JANSSON, B. and WİBERG, U., 2008. Effects of climatec hange and extreme events on forest communities in the European North, Clim. Change, 87: 235–249pp.

LUNNAN, A., STUPAK, I., ASİKAİNEN, A., RASMUSSEN, K.R., 2008. Introduction tosustainable Utilisation of Forest Energy. In: Dominik Röser, Antti Asikainen, Karsten Raulund-Rasmussen, Inge Stupak (eds) of Forest Biomassfor Energy: A Synthesiswith Focus on the Balticand Nordic Region Sustainable Use, Springer, 1-8 pp.

MACİVER D.C. and WHEATON E., 2005. Tomorrow'sforests: adaptingto a changingclimate, Clim. Change, 70: 273–282pp.

MAHMOUD A. and EL-SHEİKH, A.M., 1981. Germination of Parkinsoniaaculeata L., Journal of the College of Science University of Riyadh, 12: 53-64pp.

MARÍN-SPİOTTA, E. and SHARMA, S., 2013. Carbon Storage in Successional and Plantation Forest Soils: A Tropical Analysis, Glob. Ecol. Biogeogr., 22(1): 105-117pp.

MARŞAP A. ve NARİN M. 2008. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Ekolojik Çevre, İklim Değişikliği ve Yaşam Kalitesi, UTES 2008, İstanbul.

MEDİC, D., DARR, M., SHAH, A., POTTER, B. and ZİMMERMAN, J., 2012. Effects of Torrefaksiyon process parameters on biomass feed tock upgrading, Fuel 91:14-154p.

MİLLAR, C.I., STEPHENSON, N.L. and STEPHENS, S.L., 2007. Climat change and forests of thefuture: managing in the face of uncertainty, Ecol. Appl., 17: 2145–2151pp.

MİRZAEİ, J., MORADİ M. and SEYEDİ, F., 2016. Carbon Sequestration in theLeaf, LitterandSoil of Eucalyptus Camaldulensis, Prosopis Julifloraand Ziziphus Spina-christi Species. ECOPERSI, 4(3): 1481-1491pp.

MOHREN, G.M.J., 2003. Large-scale scenario analysis in for stecology and forest management, Forest Policy and Economics, 5(2): 101–206pp.

NAİR, P.K.R., 2001. In: OurFragile World: Challenges and Opportunities for Sustainable Development, For erunner to The Encyclopedia of Life Support Systems, Agroforestry, 375–393pp. Paris, France, & EOLSS, UK.

NASA's Jet Propulsion Laboratory - California Institute of Technology, 2018. Global climate change: Vitalsigns of the planet, https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/. (Erişim Tarihi: 16 Mayıs 2022).

NATİONAL RESEARCH COUNCİL, 1980b. Firewood Crops: Shruband Tree Species for Energy Production Vol 1. Washington, DC: The National Academies Press.

NUSRET , M., MUSTAFA , T., & CENGİZ, K. 2018. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) Bölgesinin. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 77-78.

Onbaşıoğlu, S. U. 2011. Enerji Dönüşümlerinin Kullanılabilirlik ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi. Anonim.

ORTİZ-URBİNA, E., GONZÁLEZ-PACHÓN, J. and DİAZ-BALTEİRO, L., 2019. Decision-Making in Forestry: A Review of the Hybridisation of Multiple Criteriaand Group Decision-Making Methods, Forests, 10(375).

ÖNAL, E. ve YARBAY, Z. R. 2010. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Geleceği. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, ss.77-96.

PATEL, B., GAMİ, B. and BHİMANİ H., 2011. Improved fuel characteristics of cottonstalk, prosopis and sugar canebagassethrough Torrefaksiyon, Energyfor Sustainable Development 15:372-375p.

POTTER, W.D., LİU, S., DENG, X. and RAUSCHER, H.M., 2000. Using DCOM tosupportinteroperability in forest ecosystem management decision support systems, Computers and Electronics in Agriculture, 27: 335–354pp.

POTVİN C., MANCİLLA L., BUCHMANN N., MONTEZA J., MOORE T., MURPHY M., OELMANN, Y., SCHERER-LORENZEN, M., TURNER, B.L., WİLCKE, W., ZEUGİN, F. and WOLF, S., 2020. An Ecosystem Approachto Biodiversity Effects: Carbon Pools in a Tropical Tree Plantation, Forest Ecology and Management, 261(10): 1614-1624pp.

R. BAKİS, 2007. Alternative electricity generation opportunies,Energy sources,Part A 30

REYNOLDS, K.M., THOMSON, A.J., KÖHL, M., SHANNON, M.A., RAY D. and RENNOLLS, K., 2007. Sustainable forestry. From monitoring and modelling to knowledge management and policy science, CAB International, Wallingford, UK, 527 pp.

RÖSER, D., ASİKAİNEN, A., STUPAK, I. and PASANEN, K., 2008. Forest Energy Resources And Potentıals. In: Dominik Röser, Antti Asikainen, Karsten Raulund-Rasmussen, IngeStupak (eds) of ForestBiomassforEnergy: A Synthesiswith Focus on the Baltic and Nordic Region Sustainable Use, Springer, 9-26 pp.

RUARK G.A., SCHOENEBERGER M.M. and NAİR P.K.R., 2003. Agroforestry – Helpingto Achieve Sustainable Forest Management. UNFF (United Nations Forum forForests) Intersessional Experts Meeting on the Role of Planted Forests in Sustainable Forest Management, New Zealand. pp. 1–13.

S. SHAFEİEE, E. TOPAL, 2015. When will fossil fuel reserves be diminished? Energ Policy 37

S.H MOHR, J. WANG, G. ELLEM, J.WARD, D. 2015. Giurco projection of Word fossil fuels by County,fuel 141(2015) 120-135

S.V VASSİLEV, C.GV 2015. assileva, advantages and disadvantages of composition and properties of biomas in composition with coal: an overview, Fuel 158(2015)330-350

S.V VASSİLEV. D.BAXSER, LK. ANDERSAN, C.G. 2012. Vassileva,an overview of the organic and inorganic phase composition of biomass,Fuel94(2012)1-33

SADAKA, S., SHARARA, M.A., ASHWORTH, A., KEYSER, P., ALLEN, F. and WRİGHT A., 2014. Characterization of biochar from switch grass carbonization, Energies, 7:548-567.

SARKAR, P.K., DAS, B. and BHATT B.P., 2017. Bakaın (meliaazedarach l.): a Promısıng Agroforestry Specıes for Improvıng Livelihood to Farmers of Eastern Plateauand Hill Region of India, The Bioscan, 12(2): 1095-1100pp.

SEİDL, R., RAMMER, W. and LEXER, M.J., 2001, Climate change vulnerability of sustainable for estmanagement in the Eastern Alps, Clim. Chang., 106: 225–254pp.

SEİFERT, T., ACKERMAN, P., CHİRWA, P.W., VONDODERER, C., DUTOİT, B., GÖRGENS, J., HAM, C., KUNNEKE, A. and MEİNCKEN, M., 2014. Biomassfrom Wood in theTropics. In: Bioenergy fromWood: Sustainable Production in the Tropics, Springer, ISBN: 978-94-007-7447-6, 266p.

SHEİKH, M.A., KUMAR, M. and BUSSMANN, R.W., 2009. Altitudinal Variation in Soil Organic Carbon Stock in Coniferous Subtropical and Broadleaf Temperate Forests in Garhwal Himalaya, Carbon Balance Management, 4:6.

SHEİKH, M.A., KUMAR, M. and TODARİA, N.P., 2015. Carbon Sequestration Potential of Nitrogen-FixingTreeStands, De Gruyter Forestry Studies Metsanduslikud Uurimused, 62: 39–47pp.

SİLVERSTEİN, R.M., 2005. Webster, F.X. ve Kiemle, D., Spectrometric Identification of Organic Compounds, 7th ed. John Wiley & Sons.

SNELL, H.S.K., ROBİNSON, D. and MİDWOOD A.J., 2016. TreeSpecies' Influences on SoilCarbon Dynamics Revealedwith Natural Abundance 13C Techniques, PlantSoil, 400(1-2): 285-296pp.

SON, Y.M., KİM, S.W., LEE, S.J. and KİM, J.S., 2014. Estimation of Stand Yield and Carbon Stock for Robinia pseudoacacia Stands in Korea, J. Korean Forest Soc., 103(2): 264–269pp.

T. BAYRAMOĞLU, "Biyokütle enerjisi ve yerel ekonomik kalkınma: Tra1 bölgesi'nde (Erzurum-Erzincan-Bayburt) biyokütle potansiyeli ve ekonomik etkileri üzerine bir saha araştırması," Doktora Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2013.

TEMİZ, N. and TECİM, V., 2016. Theuse of GIS andmulti-criteriadecision-making as a decisiontool in forestry, Operational Research Society (OR Insight), 22(2): 105–123pp.

THEVS, N., BURAS, A., ZERBE, S., KÜHNEL, E., ABDUSALİH, N. and OVEZBERDİYEVA, A., 2012. Structure and wood biomass of near-natural flood plain for estsalongthe Central Asian Rivers Tarimand AmuDarya. Forestry, 85: 193–202pp.

TÜRKAY, O. 1991. MİKROİKTİSAT TEORİSİ. İSTANBUL: ADIM YAYINCILIK.

UĞURLU, Ö. 2009. Çevresel Güvenlik ve Türkiye 'de Enerji Politikaları. İstanbul: Örgün Yayınevi.

WANG, H., LİU, S., WANG, J., SHİ, Z., LU, L., ZENG J., MİNG, A., TANG, J. and YU, H., 2013. Effects of TreeSpecies Mixture on Soil Organic Carbon Stocks and Greenhouse Gas Fluxes in Subtropical Plantations in China, Forest Ecology and Management, 300: 4-13pp.

WANNAPEERA, J., FUNGTAMMASAN, B. and WORASUWANNARAK, N., 2011. Effects of temperature and holding time duringTorrefaksiyon on thepyrolysis behaviors of woody biomass, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 92: 99-105p.

YAN, W. and ACHARJEE, T., 2009. Thermalpretreatment of lignocellulosic biomass, Environmental Progress and Sustainable Energy, 28(3): 435– 440p.

YASLI, M, A., 2019. Antep Fıstığı Kavlatma Tesisi Atıklarından Hidrotermal Yöntemle Aktif Karbon Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

YILMAZ, Ö. ve KÖSEM, L. 2011. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli Kullanımı ve Dışa Bağımlılığı. Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, İzmir.

YÜCEL, F. B. 1994. Enerji Ekonomisi. İstanbul: Febel Yayınları.

~~ÖZGEÇMİŞ~~

Biçimlendirilmiş: Ortadan, Düzey 1, Girinti: İlk satır: 0 cm, Aralık Sonra: 18 nk, Satır aralığı: 1,5 satır, Sonraki ile birlikte tut, Satırları birlikte tut

~~**Adı Soyadı :** Kevser KUTUPLA KISE~~

~~**Uyruğu :** TÜRKİYE CUMHURİYETİ~~

~~**Doğum Yeri ve Tarihi :** ELAZIĞ /23.02.1995~~

~~**Telefon :**05313490226~~

~~**e-mail :** kevserkutup23gmail.com~~

~~EĞİTİM~~

~~**Lise :** Özel Bilgem Koleji~~

~~**Üniversite :** Harran Üniversitesi~~

~~**Yüksek Lisans :** Dumlupınar İSG Yüksek Lisans~~