



Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalı
Kimya Eğitimi Bilim Dalı

**LACTUCA SCARIOLA BİTKİSİ SAPLARININ PİROLİZİ, ELDE EDİLEN SIVI
VE KATI ÜRÜNLERİN KARAKTERİZASYONU**

Eren YÜCEDAĞ

Yüksek Lisans Tezi

Van, 2017

LACTUCA SCARIOLA BİTKİSİ SAPLARININ PİROLİZİ, ELDE EDİLEN SIVI VE
KATI ÜRÜNLERİN KARAKTERİZASYONU

Eren YÜCEDAĞ

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Halil DURAK

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalı
Kimya Eğitimi Bilim Dalı

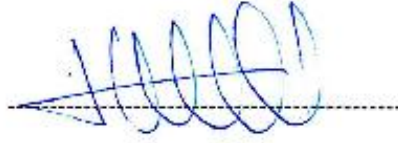
Yüksek Lisans Tezi

Van, 2017

Bu çalışma, Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminin
FYL-2017-5910 no'lu projesiyle desteklenmiştir.

KABUL ve ONAY

Eren YÜCEDAĞ tarafından hazırlanan "*Lactuca Scariola* Bitkisi Saplarının Pirolyzi, Elde Edilen Sıvı ve Katı Ürünlerin Karakterizasyonu" başlıklı bu çalışma 29/09/2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Hasan GENÇ



Yrd. Doç. Dr. İhsan ALACABEY



Yrd. Doç. Dr. Halil DURAK (Danışman)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Feat TANHAN

Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumun 2 Yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

.../.../ 2017

EREN YÜCEDAĞ

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamın her aşamasında, gece gündüz demeden her türlü desteği sağlayan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Halil Durak'a en içten saygı ve teőekkürlerimi sunarım. YYÜ Eğitim Fakóltesi Kimya Bölümü Öğretim Üyeleri Doç. Dr. Hasan GENÇ, Yrd. Doç. Dr. Yaőar GENEL ve Mardin Artuklu Üniversitesi Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. İhsan ALACABEY hocalarıma yardımlarından ve ilgilerinden dolayı teőekkürlerimi sunarım. Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine desteklerinden ötürü teőekkürlerimi sunarım. Çalıőmalarım sırasında maddi ve manevi yanımda olan, her türlü desteklerini yanımda hissettiğim anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim.

ÖZET

YÜCEDAĞ, Eren. *Lactuca Scariola Bitkisi Saplarının Pirolizi, Elde Edilen Sıvı ve Katı Ürünlerin Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Van 2017

Bu çalışmada lactuca scariola bitkisi sapları piroliz yöntemiyle katalizörlü ve katalizörsüz ortamda sıvı ve katı ürünlere dönüştürülmüştür. Deneysel çalışmalar 3 farklı sıcaklık (350 °C, 450 °C, 550 °C) ortamında katalizörlü (H_3BO_3 , NaOH, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, $ZnCl_2$, K_2CO_3) ve katalizörsüz olarak yürütülmüştür. Denemeler sonunda elde edilen sıvı ve katı ürünler GC-MS, Elementel, FT-IR ve SEM analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sıvı ürün elementel analiz sonuçlarına göre en yüksek enerji değerlerine 350 °C’de katalizörsüz ortamda, 450 ve 550 °C’de ise NaOH katalizörü varlığında ulaşılmıştır. Katı ürün elementel analiz sonuçlarına göre 350, 450 ve 550 °C’de yapılan denemelerde en yüksek enerji değerlerine sırasıyla NaOH, H_3BO_3 ve katalizörsüz denemelerde ulaşılmıştır. GC-MS sonuçlarına göre 350 °C de yapılan denemelerde toplamda 106 farklı bileşik, 450 ve 550 °C de yapılan denemelerde ise toplamda 92 ve 88 farklı kimyasal bileşik tespit edilmiştir. Yürütülen denemeler sonunda doğada kendiliğinde yetişen ve yıllık bir bitki olan lactuca scariola’nın piroliz yöntemiyle değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Lactuca Scariola, Biyokütle, Piroliz, Biyoyağ.

ABSTRACT

YÜCEDAĞ, Eren. *Charcteristic of tactuca scariola plant with pyrolysis and liquids and solid products*, Master Thesis , Van 2017

In this study, lactuca scariola plant stems are converted into liquid and solid products through pyrolysis in catalysed and catalysed environment. Experimental studies are carried out in 3 different temperatures (350 °C, 450 °C, 550 °C) with(H_3BO_3 , NaOH, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, $ZnCl_2$, K_2CO_3) and without catalyst. Liquid and solid products, obtained after experimental studies, GC-MS, Elementel, FT-IR ve SEM, are examined by using analytic methods. According to the obtained liquid product elemental analysis results, the highest energy values were reached in the absence of catalyst at 350 °C and in the presence of NaOH catalyst at 450 and 550 °C. According to GC-MS results, a total of 106 different compounds were obtained at 350 °C, and a total of 92 and 88 different chemical compounds were obtained at 450 and 550 °C. As a result of the experiments it was concluded that lactuca scariola, an annual plant which grows spontaneously in nature, can be evaluated by pyrolysis method.

Key Words

Lactuca scariola stalk, Pyrolysis, Biomass, Bio oil.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
EKLER	xi
1. BÖLÜM: GİRİŞ	1
1.1. Enerji	1
1.2. Türkiye’de Enerji	3
1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	5
1.3.1. Güneş Enerjisi	5
1.3.2. Rüzgar Enerjisi	6
1.3.3. Hidroelektrik Enerjisi.....	7
1.3.4. Jeotermal Enerji.....	8
1.3.5. Hidrojen enerjisi.....	8
1.3.6. Biyokütle Enerjisi.....	9
1.4. Biyokütle Dönüşüm Süreçleri	11
1.5. Biyokütlenin Kimyasal Yapısı ve Bileşenleri	12

1.5.1. Selüloz.....	13
1.5.2. Hemiselüloz.....	14
1.5.3 Lignin.....	15
1.6. İnorganik Maddeler ve Ekstraktif Maddeler	16
1.7. Biyokütleden Enerji Elde Etme Teknolojisi.....	17
1.8. Termokimyasal Dönüşüm Süreçleri.....	17
1.8.1. Doğrudan Yakma.....	18
1.8.2. Gazlaştırma.....	19
1.8.3. Sıvılaştırma.....	20
1.8.4. Piroliz	20
1.9. Pirolizden Elde Edilen Ürünler.....	22
1.9.1. Sıvı Ürün	22
1.9.2. Katı Ürün.....	22
1.9.3. Gaz Ürün.....	23
2. BÖLÜM: LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ.....	24
3. BÖLÜM: MATERYAL VE YÖNTEM	28
3.1. Biyokütleyle Uygulanan İşlemler	28
3.2. Biyokütlenin Toplanması.....	28
3.3. Öğütme ve Eleme.....	28
3.4. Biyokütlenin deneysel çalışmalarda kullanıma uygun hale getirilmesi.....	28
3.5. Biyokütleyle Uygulanan Analiz Yöntemleri.....	29
3.5.1. Lignin Tayini.....	29
3.5.2. Selülöz Tayini.....	29

3.5.3. Hemiselüloz Tayini.....	30
3.5.4. Kül Tayini.....	30
3.5.5. Nem Tayini.....	30
3.6. Biyokütlenin Pirolizi.....	33
4. BÖLÜM: BULGULAR.....	34
4.1. Piroliz sonuçları.....	34
4.1.1. Sıvı ürün verimi üzerine sıcaklık etkisi.....	35
4.1.2. Katı ürün verimi üzerine sıcaklık etkisi.....	37
4.1.3. Gaz ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi.....	38
4.1.4. Dönüşüm oranı üzerine sıcaklığın etkisi.....	39
4.2. Elementel analiz ve enerji değerleri sonuçları.....	40
4.2.1. Sıvı ürün elementel analiz ve enerji değeri sonuçları.....	40
4.2.2. Katı ürün elementel analiz ve enerji değerleri sonuçları.....	42
4.3. SEM analizleri.....	60
4.3.1. 550 °C’de Katı numunelerin sem görüntüsü.....	60
5. BÖLÜM: SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKÇA.....	65
EKLER.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2013 yılında ülkelerin toplam Enerji Tüketiminin Dağılımı.....	2
Şekil 1.2. Türkiye'nin birincil enerjisinde yerli üretimi, ithalatı ve enerji arzı.....	3
Şekil 1.3. Türkiye'de Birincil Enerji Üretiminin Kaynaklar Bazındaki Dağılımı.....	4
Şekil 1.4. Türkiye'de Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklar Bazındaki Dağılımı.....	5
Şekil 1.5. Van Krevelen Diyagramı.....	11
Şekil 1.6. Biyokütle dönüşüm yöntemleri.....	12
Şekil 1.7. Selüloz molekülünün yapısı.....	13
Şekil 1.8. Hemiselülozu oluşturan monosakkaritler.....	14
Şekil 1.9. Lignin molekülü.....	16
Şekil 1.10. Biyokütleyle uygulanan dönüşüm prosesleri, ürünler ve uygulamaları.....	17
Şekil 1.11. Biyokütleyle uygulanan termokimyasal dönüşüm süreçleri ve elde edilen ürünler.	18
Şekil 1.12. Piroliz reaksiyon mekanizması.....	21
Şekil 3.1. Lactuca Scariola'nın FTIR analizi.....	31
Şekil 3.2. Lactuca scariolanın TGA-DTA grafiği.....	32
Şekil 3.3. Biyokütlenin pirolizinde kullanılan düzenek.....	33
Şekil 4.1. Sıvı ürün verimi üzerine sıcaklık etkisi.....	35
Şekil 4.2. Katı ürün verimi üzerine sıcaklık etkisi.....	37
Şekil 4.3. Gaz ürün verimi üzerine sıcaklık etkisi.....	38
Şekil 4.4. Dönüşüm oranı verimi üzerine sıcaklık etkisi.....	39
Şekil 4.5. Saf numune sem görüntüsü.....	60
Şekil 4.6. Katalizörsüz 550 °C'de SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.7. Sodyum hidroksit katalizörlüğünde 550 °C'de SEM görüntüsü	61

Şekil 4.8. Borik asit katalizörlüğünde 550 °C'de SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.9. Di sodyum tetraborat katalizörlüğünde 550 °C'de SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.10. Çinkoklorür katalizörlüğünde 550 °C'de SEM görüntüsü.....	62
Şekil 4.11. Potasyum karbonat katalizörlüğünde 550 °C'de SEM görüntüsü.....	62



TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1 ; Dünyada en fazla hidrolik enerjisi ile elektrik üreten ilk on ülke.....	7
Tablo 1.2.: Piroliz teknolojileri ve değişkenleri.....	21
Tablo 3.1. Lactuca scoriola temel bileşenleri.....	30
Tablo 4.1. 350 °C’de yapılan piroliz denemeleri sonunda elde edilen ürün oranları.....	34
Tablo 4.2. 450 °C’de yapılan piroliz işlemi sonrasında elde edilen ürün oranları.....	34
Tablo 4.3. 550 °C’de yapılan piroliz işlemi sonrasında elde edilen ürün oranları.....	35
Tablo 4.4. 350 °C’de sıvı ürün elementel analiz ve enerji değerleri	40
Tablo 4.5. 450 °C’de sıvı ürün elementel analiz ve enerji değerleri	41
Tablo 4.6. 550 °C’de sıvı ürün elementel analiz ve enerji değerleri	41
Tablo 4.7. 350 °C’de katı ürün elementel analiz ve enerji değerleri... ..	42
Tablo 4.8. 450 °C’de katı ürün elementel analiz ve enerji değerleri... ..	42
Tablo 4.9. 550 °C’de katı ürün elementel analiz ve enerji değerleri... ..	43
Tablo 4.10. 350°C’de elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları.....	43
Tablo 4.11. 450 °C’de elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları.....	50
Tablo 4.12. 550 °C’de elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları.....	55

EKLER DİZİNİ

EK-1 350 °C’de Katalizörsüz denemelerde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	71
EK-2 350 °C’de Borik Asit Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu	72
EK-3 350 °C’de Sodyum Hidroksit Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	73
EK-4 350 °C’de Di Sodyum Tetraborat Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	74
EK-5 350 °C’de Çinko Klorür Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	75
EK-6 350 °C’de Potasyum Karbonat Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	76
EK-7 450 °C’de Katalizörsüz denemelerde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	77
EK-8 450 °C’de Sodyum Hidroksit Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	78
EK-9 450 °C’de Borik asit Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	79
EK-10 450 °C’de Di Sodyum Tetraborat Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	80
EK-11 450 °C’de Çinko Klorür Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	81
EK-12 450 °C’de Potasyum Karbonat Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	82
EK-13 550 °C’de Katalizörsüz denemelerde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	83

EK-14 550 °C’de Sodyum Hidroksit Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	84
EK-15 550 °C’de Borik Asit Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	85
EK-16 550 °C’de Di Sodyum Tetraborat Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	86
EK-17 550 °C’de Çinko Klorür Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	87
EK-18 550 °C’de Potasyum Karbonat Katalizörü denemesinde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu.....	88
EK-19 350 °C’de Katalizörsüz denemelerde edilde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	89
EK-20 350 °C’de Borik Asit Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	90
EK-21 350 °C’de Sodyum Hidroksit Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	91
EK-22 350 °C’de Di Sodyum Tetra Borat Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	92
EK-23 350 °C’de Çinko Klorür Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	93
EK-24 350 °C’de potasyum Karbonat Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	94
EK-25 450 °C’de Katalizörsüz denemelerde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	95
EK-26 450 °C’de Sodyum Hidroksit Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	96

EK-27 450 °C’de Borik Asit Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	97
EK-28 450 °C’de Di Sodyum Tetraborat Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	98
EK-29 550 °C’de Çinko Klorür Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	99
EK-30 450 °C’de Potasyum Karbonat Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	100
EK-31 550 °C’de Katalizörsüz denemelerde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	101
EK-32 550 °C’de Sodyum Hidroksit Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	102
EK-33 550 °C’de Borik asit Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	103
EK-34 550 °C’de Di Sodyum Tetraborat Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	104
EK-35 550 °C’de Çinko Klorür Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	105
EK-36 550 °C’de Potasyum Karbonat Katalizörü denemesinde elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu.....	106

1. BÖLÜM

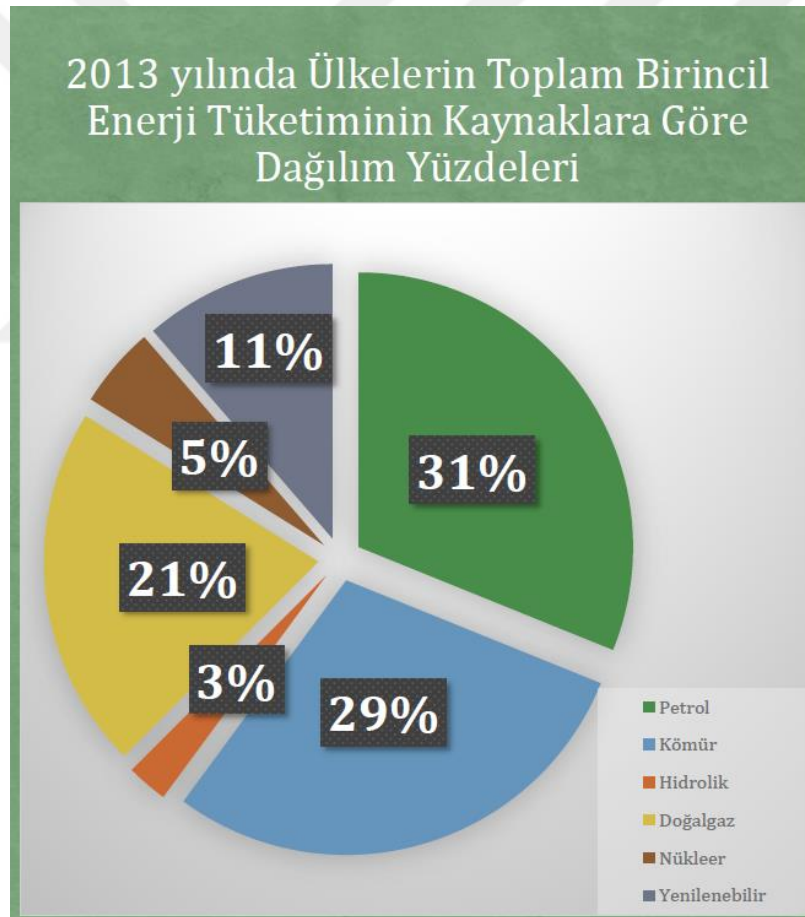
GİRİŞ

1.1 Enerji

Enerji, üretimde önemli bir etken olup, bir ülkenin ekonomik ve sosyal yönden kalkınma potansiyelini göstermekte olan temel etkenlerden biridir. Ülkelerin giderek artan nüfusu ve sanayileşmede geline son aşamalar neticesinde enerjiye olan talepte giderek artmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları gelecek bir süre içerisinde tükenecek olması ve çevreye zarar vermesi gibi dezavantajları dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacın giderek arttığı ve bu duruma yönelik çalışma yapılmasını gerekli kılmaktadır(Koç, E., Kaplan, E. 2008, s; 187, 188, sy: 70-106-118).

Enerji ile ilgili olarak süregelen sıkıntılar ve artan nüfus artışı da göz önünde bulundurulduğunda, enerji tüketiminin de olabildiğince alt seviyede tutulması, enerjinin mümkün olduğunca tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Enerji maliyetlerinin azaltılması ve daha sağlıklı bir çevre için alternatif ve yenilebilir enerji kaynakları giderek önem arz etmektedir. Her ülke gelişmişlik düzeyleriyle orantılı olacak şekilde mevcut ekonomik durumlarına göre yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarıyla ilgili Ar-Ge çalışmaları sürdürmektedirler. Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerjiler enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında iki kaynak olarak kullanılmaktadır. Yenilenemeyen kaynaklar olarak da adlandırılan ve fosil yakıt olarak bilinen kaynaklar tehlikeli bir şekilde çevre sorunlarına neden olmakta, artan nüfus ile ve gelecekte bir süre içinde tükenecek olması, bunların yerine kullanılabilir alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması önem kazanmaktadır.

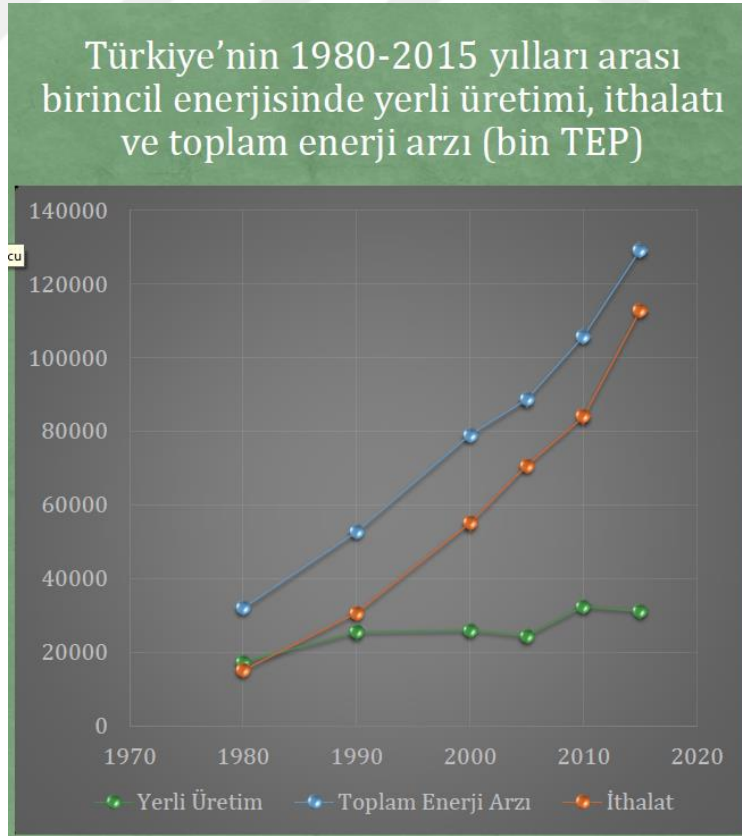
Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 2013 yılında ülkelerin birincil enerji tüketiminin önemli bir kısmını Petrol (%31) ve Kömür (%29) oluşturmaktadır. Bunları takip eden %21 ile doğalgaz %11 ile yenilenebilir enerji kaynakları, %5 nükleer ve %3 ile hidrolik enerji takip etmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere dünya üzerindeki ülkelerin tükettikleri enerjilerin en büyük çoğunluğu yenilenemeyen enerji kaynakları olduğu görülmektedir.



Şekil 1.1. 2013 yılında ülkelerin toplam Enerji Tüketiminin Dağılımı

1.2. Türkiye’de Enerji

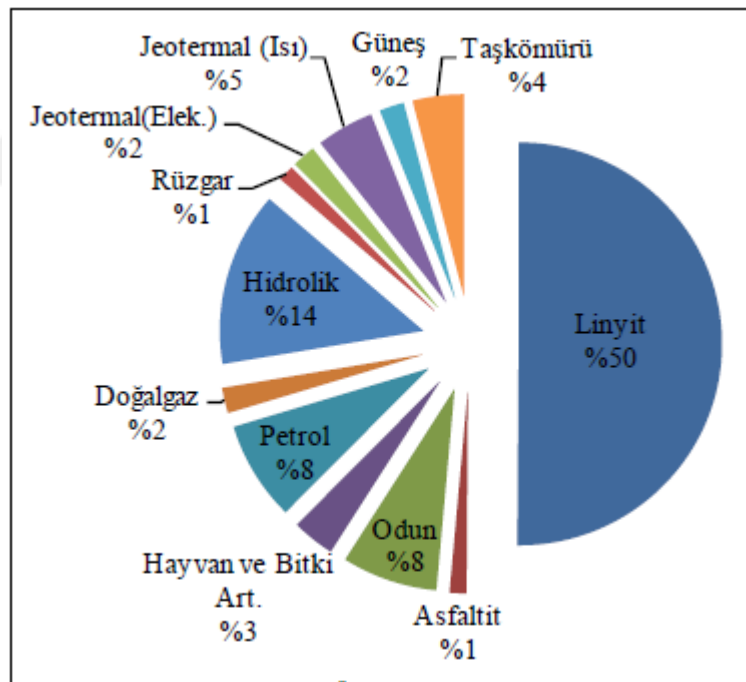
Türkiye enerji tüketimi bakımından büyük oranda dışa bağımlı bir ülke olup bu durum ülke ekonomisine olumsuz etki etmektedir. Bununla birlikte enerji ihtiyacının yarısından fazlasını ithal etmekte, dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından etkin bir şekilde yararlanmak Türkiye’nin enerji politikalarının en önemli gündemini oluşturmaktadır. Türkiye’nin sahip olduğu fosil kaynaklar enerji ihtiyacımızı karşılayacak seviyede olmamakla birlikte elde olan linyit kömürlerimiz ise düşük enerji değerlerine sahip, kül ve kükürt değeri de yüksektir. Türkiye bulunduğu coğrafik konum itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımı açısından oldukça önemli bir konumdadır. Bu avantaj enerji kaynaklarından en üst düzeyde faydalanmayı gerekli kılmaktadır. Süreklilik arz eden kalkınma ve çevre kirliliği açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi oldukça fazladır. Aşağıdaki şekilde Türkiye’nin birincil enerjide yerli üretimi, ithalatı ve toplam enerji arzı sunulmuştur(İstanbul Ticaret Üniversitesi 2010).



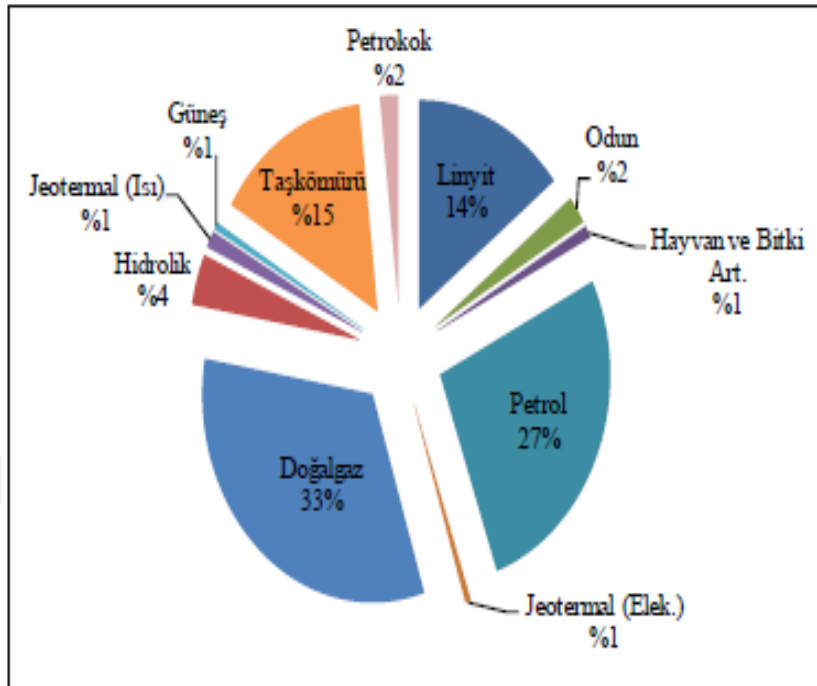
Şekil 1.2. Türkiye’nin birincil enerjisinde yerli üretimi, ithalatı ve enerji arzı

Yukarıda ki şekilde görüldüğü gibi Türkiye'nin 1980 yılından 2015 yılına kadar toplam enerji talebinin nüfus artışı ile orantılı olarak arttığı, bununla paralel olarak ithalatın da arttığı ancak yerli üretimin arz ve ithalat oranlarına göre oldukça yetersiz bir şekilde hafif artış gösterdiği görülmektedir.

2011 yılında Türkiye'deki birincil enerji üretimi 32228.9 Btep (bin toneşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir. Yine 2011 yılında birincil enerji üretiminin dağılımı sırasıyla; linyit (%50), hidrolik (%14), odun (%8), petrol (%8), jeotermal-ısı (%5) ve taşkömürü (%4) şeklindedir. (Şekil 1.3). 2011 yılında 2010 yılına göre; linyit, jeotermal, rüzgar, güneş gibi kaynaklardan birincil enerji üretimi artarken; odun, hayvan ve bitki artığından birincil enerji üretiminin azaldığı tespit edilmiştir(Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı, 2012).



Şekil 1.3. Türkiye'de Birincil Enerji Üretiminin Kaynaklar Bazındaki Dağılımı



Şekil 1.4. Türkiye’de Birincil Enerji Tüektiminin Kaynaklar Bazındaki Dağılımı

Türkiye toplam enerji tüketiminin dağılımı ise Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Türkiye’nin 2011 yılı toplam enerji tüketimi 114480.2 Btep olup Türkiye dünya enerji tüketimi sıralamasında en yüksek 23. sırada yer almaktadır. Tüketilen enerjinin büyük bir kısmını ise petrol ve doğal gaz oluşturmaktadır. Enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payları sırasıyla; doğal gaz (%33), petrol (%27), taşkömürü (%15), linyit (%14) ve hidrolik (%4) şeklinde gerçekleşmiştir(TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2012).

1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

1.3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi çevre açısından olumsuz etkisi olmayan sonsuz bir enerji kaynağıdır. başlangıçta ekonomik görülmeyen güneş enerjisi, son yıllardaki enerji fiyatlarının artışı nedeniyle bazı alanlarda oldukça ekonomik hale gelmiş ve verimli kullanımı için araştırma, geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Doğrudan yahut dolaylı elektrik üretimi, sıcak su

üretimi, sera ısıtması gibi birçok alanda uygulama gerçekleştirilmiş olup, ekonomik olarak işletilmeleri konusundaki çalışmalar devam etmektedir. Dünya yüzeyine yıl içerisinde düşen güneş enerjisi, 0.814×10^{14} Tep boyutundadır. Yani başka bir ifadeyle, yıl içinde gelen güneş enerjisi miktarı, bilinen kömür rezervlerinin 50 kat ve bilinen petrol rezervinin 800 katına eşdeğerdir(Duzenli, D. 2002. 127s).

Türkiye jeopolitik konum itibariyle güneş kuşağı içinde olup, güneş enerjisi bakımından zengin bir konumda olmasına rağmen bu enerji türünden yeterince faydalanmamaktadır. Bölgelere göre yıllık olarak ortalama güneşlenme süresi 2993-1971 saat arasında değişirken, yıllık güneş enerjisi şiddeti $1460-1120$ kwh/m² olarak belirlenmiştir. Güneş pilleri (fotovoltaik, pv, diyodlar) güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren elektronik aygıtlardır. Fotovoltaik panelleri, şu aşamada yaklaşık %15'lik bir verime sahiptirler. Güneş pilleri bugün için pahalı olmakla birlikte gelecekte ucuzlamaları beklenmektedir. güneş panelleri, güneş enerjisi ile su ısıtmak 350 bin TEP enerji sağlanmaktadır(Anonim,1998, 122s.).

1.3.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgâr enerjisi; rüzgarı meydana getiren hava akımının sahip olmuş olduğu hareket (kinetik) enerjisidir. Temiz bir enerji kaynağı olması, kaynağının tükenmemesi, sonsuz güç olması, enerji üretim maliyetlerinin düşük olması nedeniyle tercih edilebilir bir enerji kaynağı olmakla birlikte kaynağı güneştir. Güneşin, yer yüzünü ve atmosferi homojen bir şekilde ısıtmamasının bir sonucu olarak meydana gelen basınç farkı nedeniyle hava akımı oluşur, bu hava akımının daha fazla ısınması sonucunda atmosferin üst kısımlarına doğru yükselir ve yükselen bu hava kütlesi sonucunda boş kalan kısma aynı hacimde soğuk hava kütlesi yerleşir. Hava kütlelerinin bu şekilde yer değiştirmeleri esasına dayanan duruma rüzgar denir. Rüzgârın özellikleri, coğrafi değişiklikler ve yeryüzünde eşit olmayan ısınmalara bağlı olarak farklı zaman ve bölgelerde farklılıklar gösterir. Rüzgar yön ve hız olmak üzere iki özellik ile ifade edilebilir. Rüzgarın hızı yükseklikle paralel olarak artar. Ayrıca rüzgarın sürekliliği olmaması nedeniyle enerji üretim değerinin sabit olmaması, rüzgar tribünlerinin fazla yer işgal etmesi, gürültü kirliliğine neden olması, enerji üretiminin fosil yakıtlar ve nükleer yakıtlara oranla oldukça düşük olması ve yatırım maliyetinin yüksek olması rüzgar enerjisinin dezavantajları arasında yer almaktadır(Anonim 2013).

1.3.3. Hidrojen Enerjisi

Su gücü ile elektrik enerjisi üretimine hidroelektrik enerjisi denir. Hidroenerjinin işleyiş mekanizması öncelikli olarak büyük miktardaki suyun belirli bir yükseklikten salınması ile oluşan enerjinin türbin vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır. Hidrolik enerji, dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %20'sini karşılamaktadır. Kanada, dünyanın en fazla hidrolik enerji üreten ülkesi konumunda olup, 2002 yılı üretimi yaklaşık 353 milyar Kwh olarak saptanmıştır. Bu değer 27 Avrupa ülkesinin toplamına çok yakındır (Anonim 2006, 122s).

Dünyada en fazla hidroelektrik enerjisi üretimi yapan ilk 10 ülkenin toplam hidroelektrik üretimi dünyadaki hidroelektrik üretiminde %66'lık paya sahip olduğu bilinmektedir. Dünyada en fazla hidrolik enerjisi ile elektrik üreten 10 ülkenin kurulu gücü ve üretim miktarları tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. ; Dünyada en fazla hidrolik enerjisi ile elektrik üreten ilk on ülke

Ülke	Kurulu gücü (MW)	Üretimi (GWh)
Kanada	67121	353302
ABD	76000	300000
Brezilya	64000	300000
Çin Halk Cumhuriyeti	82700	257500
Rusya	44700	173849
Norveç	27596	120984
Japonya	27348	94250
Fransa	25200	79300
Hindistan	25751	73954
İsveç	16200	65000
Toplam	456616	1818139

1.3.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, 'jeo' yer ve 'termal' ısı anlamına gelen yerkürenin iç ısısıdır. Bu ısı sıcak olan bölgeden yeryüzüne doğru yayılır. Yer kabuğundaki çeşitli alanlarda ve derinliklerde toplanan ısının yani sıcaklığın oluşturmuş olduğu içinde kimyasallar barındıran sıcak su ve gazlardır. Jeotermal enerji yenilenebilir, ucuz, tükenmez ve çevre dostu olması bakımından oldukça önemli bir enerji türüdür. Jeotermal kaynakların gelişen teknolojiye bağlı olarak kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Buna örnek olarak elektrik ve ısı teknolojisi gelmektedir(Anonim,2013).

Jeotermal enerji ile sürekli olarak enerji üretilebilmektedir. Jeotermal enerji, küçük kapasiteli (5-10 MW) santraller halinde kurulmaya ve geliştirilmeye elverişli olması, uzun dönemde hava değişimlerinden etkilenmemesi, fosil yakıtların maddi değişkenliklerinden bağımsız olması, kömür ve doğal gaz dayalı termik santrallerine göre ekonomik olması, çevreye olumsuz etkisinin olmaması gibi nedenlerden dolayı oldukça önemli, temiz bir enerji kaynağıdır. Dünyada jeotermal enerjisi ile elektrik üretiminde ABD, Filipinler, İtalya, Meksika ve Endonezya ilk beş sırada yer almaktadır. Jeotermal ısı ve kaplıcalar bakımından bakıldığında Çin, Japonya, ABD, İzlanda ve Türkiye ilk beş ülke arasında yer almaktadır. Dünya kurulu jeotermal elektrik kapasitesi 7974 MW ve üretilen elektrik enerjisi 49,3 milyar KWh/yıl olarak tespit edilmiştir(Anonim 2006, 122s).

1.3.5. Hidrojen Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan hidrojen enerjisinin önemi her geçen gün artmaktadır. Dünyada fazla miktarda hidrojen bulunmasına rağmen serbest formda değildir. Kaynak açısından sınırsız olan ve havayı kirletmemesi açısından içten yanmalı motorlarda kullanılan, başka alternatif yakıtlara oranla birçok avantaja sahip olan hidrojenin, içten yanmalı motorlarda kullanımını için çalışmalara 1900'lu yıllarda başlanmış ve bu çalışmalar halen günümüzde de hız kesmeden çalışmalara devam edilmektedir. Hidrojen enerjisi tüm enerji çeşitleri arasında hemen hemen en ucuz olanı ve birim kütle başına en fazla kimyasal enerjiye sahip temiz bir enerjidir(Anonim 2006,122s). Hidrojen enerjisinin kullanım alanlarına bakıldığında fosil yakıtlara göre daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Hidrojen

yüksek basınç altında gaz ve sıvı olarak depolandığı için depolaması daha kolaydır. Hidrojenin yakıt özelliklerine bakıldığında fosil kaynaklı yakıtlara göre birçok avantaj sunmaktadır. Yakıt olarak kullanıldığında, yanan ürün olarak açığa çıkan su buharı nedeniyle de çevre dostu temiz bir enerjidir(Karaosmanoğlu F. 2003).

Hidrojen 1500'lü yıllarda keşfedilmiş, yaklaşık olarak 1700'lü yıllarda ise yanabilir özelliği keşfedilmiş evrende en çok bulunan ve en basit element olup, rengi olmayan, havayla kıyaslandığında oldukça hafif ve zehirsiz bir gazdır. Hidrojen doğada serbest bir halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. Evrenin ana enerji kaynağı olan hidrojenin en çok bilinen bileşiği ise sudur (H_2O). Hidrojen (H_2) gazı yaklaşık $-253^{\circ}C$ 'de sıvılaştırılarak depolanmaktadır. Ayrıca hidrojen diğer tüm yakıtlarla kıyaslandığında birim kütle başına en fazla enerji içeriğine sahip olan elementtir. Fakat birim enerji başına hacmi yüksektir(Anonim, 2013).

1.3.6. Biyokütle Enerjisi

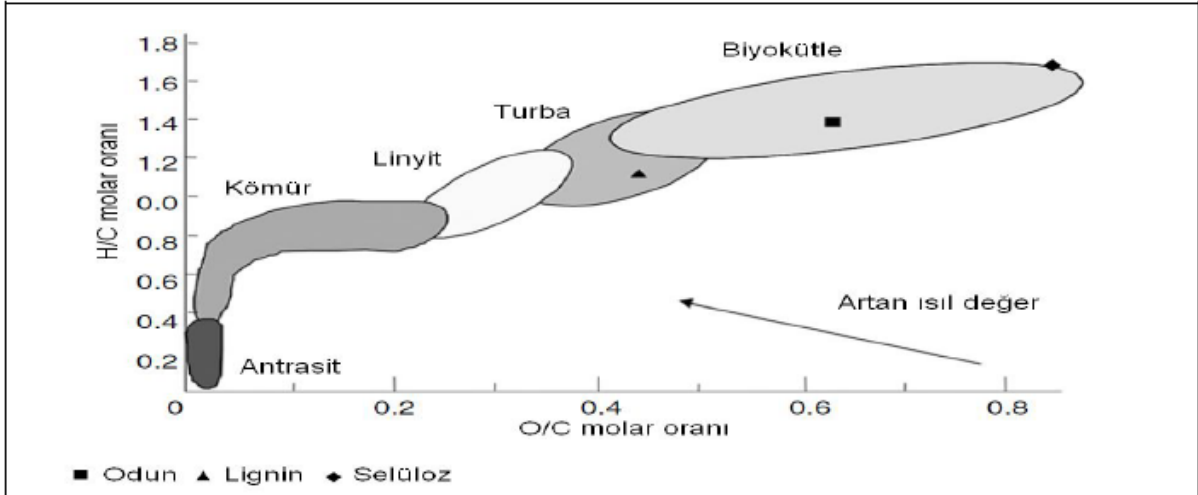
Teknolojik gelişmeler ve artan popülasyon beraberinde enerji ihtiyacını da getirmiş olup, enerjinin çevre kirliliğine neden olmadan, sürdürülebilir, sera gazı salınımına neden olmayan kaynakların başında biyokütle enerjisi gelmektedir. Ayrıca biyokütlenin kaynağının güneş olması, tükenmez bir kaynak olması, mevcut olan her alanda elde edilebilmesi nedeniyle önemli bir enerji kaynağı halini almaktadır. Bununla birlikte kömür, petrol, doğalgaz gibi yakın bir gelecekte tükenen enerji kaynaklarının, çevre kirliliğine neden olması sebebiyle de biyokütle kullanımı enerji sorununu çözmeye giderek önem kazanmakta ve tercih edilebilir alternatif bir enerji kaynağı olmaktadır(Topal, M., Arslan, I. 2008).

Biyokütle Enerjisi odun, gübre, odun kömürü, tarım ürünleri, orman sektöründeki organik atıkları, yosun v.b. kaynaklar ile elde edilen enerji türüne verilen isimdir. Diğer bir ifadeyle ana bileşenleri karbon-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli maddelere biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan meydana gelen enerjiye ise biyokütle enerjisi denilmektedir. (Baka, Eylül,) Biyolojik kökenli olan, fosil olmayan tüm organik madde kitlesini ifade eder. Bitkiler fotosentez ile sürekli olarak biyokütle üretmektedirler(Goyal, H. B.,2008).

Biyokütle kaynakları, güneş enerjisinin kimyasal bağlarda depolandığı odun, gübre, tarım ürünleri gibi organik maddelerdir. Bu maddeler içerisinde kaynaklarının çoğunluğunu oluşturan odun ve odun atıklarından, organik ve tarımsal atıklardan elde edilmektedir. Biyokütle genellikle karbon, hidrojen, oksijen, azottan ve az miktarda kükürttten oluşur. Bazıları aynı zamanda önemli miktarda inorganik maddeler içerir. Bitkiler fotosentez yoluyla biyokütlenin yapı taşlarını oluşturan karbonhidratları üretirler(Chen, M., Wang, J 2006, Fagbemi, L., Khezami 2001).

Biyokütleden elde edilen yakıtların özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sınıflandırılması önemli bir etkidir. Belirli bir sınıflandırmaya ait olan yakıtlar, türü ya da özelliği ne olursa olsun birbirine yakın davranışlar sergilerler.

Atomik oran yakıtın içinde bulunan hidrojen, oksijen ve karbon içeriklerine bağlı olmakla beraber yakıtların üst ısıl değerleri ise O/C ve H/C molar oranları ile ilişkilidir. O/C molar oranı yükselmesi neticesinde yakıtın içinde bulunan oksijen miktarı artar. Oksijen yakıtlarda ısıl değeri düşürüp korozyona neden olması neticesinde biyoyağın normal yakıtlar gibi kullanılmasına engel teşkil etmektedir. Yakıtın H/C molar oranı düştükçe aromatik bileşenlerin miktarı artar. Şekil 1.5’de karbon içeriği zengin kömürden karbonca zayıf odunsu biyokütleye kadar bütün yakıtlar için atomik oranlar ve ısıl değerler belirtilmiştir. Van Krevelen Diyagramı olarak bilinen bu diyagramda biyokütlenin fosil yakıtlara kıyasla H/C ve O/C molar oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Biyokütler diğer yakıtlara oranla en çok oksijen içeriğine sahiptir. Bir yakıtın atomik oranı jeolojik yaşı artmasıyla orantılı olarak düşer(Wang, C., Du, Z., Pan, 2007, Basu, P 2010).



Şekil 1.5. Van Krevelen Diyagramı (K.Q Tran. X. Luo G.Seisenbaeva R.2013)

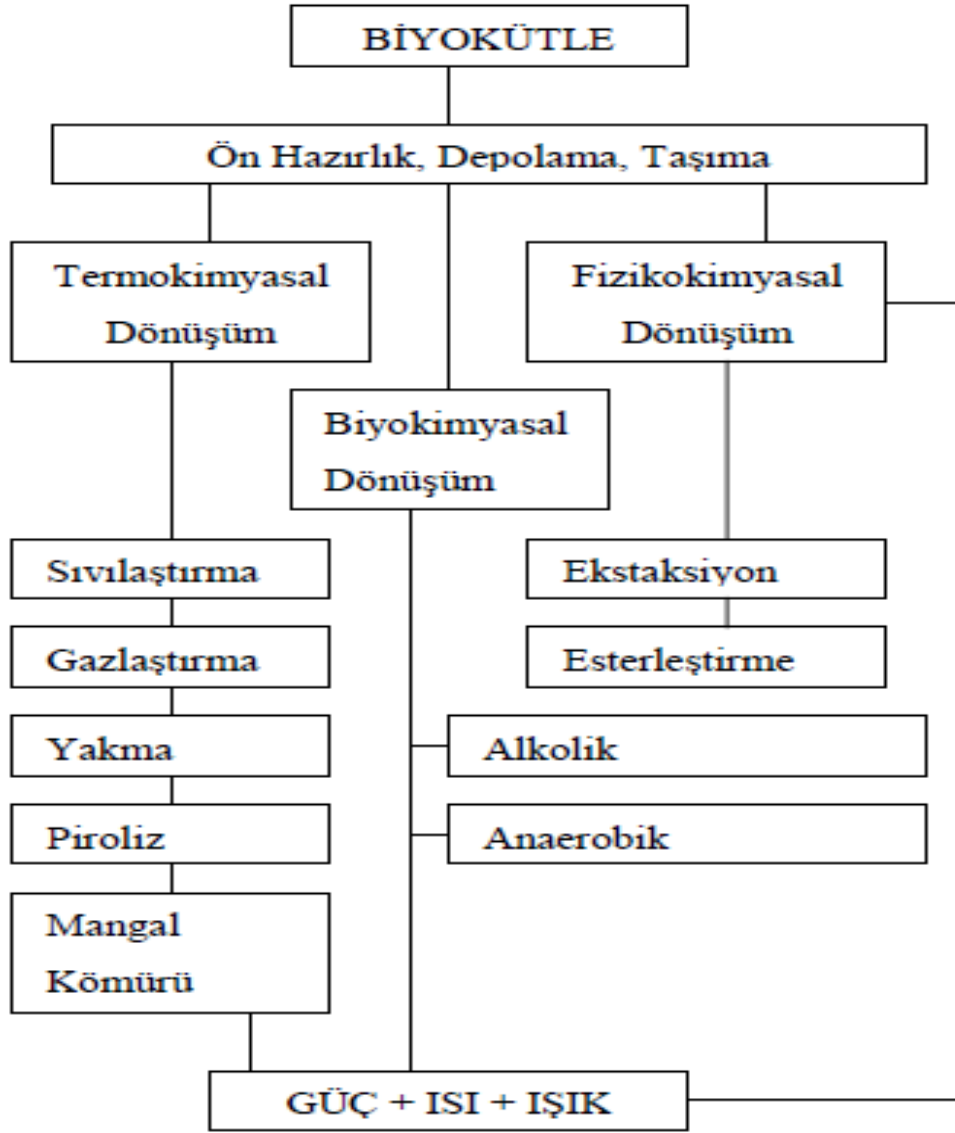
Biyokütleden enerji üretiminde seçilen biyokütlenin özellikleri, istenilen yakıtın ve çevrim teknolojisinin türü önem taşımaktadır. Nem içeriği, ısıl değeri, sabit karbon ve uçucu miktarı, kül/atık içeriği, alkali metal içeriği, yığın yoğunluğu ve selüloz/lignin oranı biyokütle seçimini belirleyen özelliklerdir (McKendry, P., 2002, Saxena, R. C., Adhikari, D 2009).

Biyokütle enerjisi mümkün olan her yerde yetiştirilmesi, düşük ışık şiddetinin yeterli olması, depolanabilirliği, çevre kirliliği ve zehirli gaz salınımlarının düşük olması, sera etkisi oluşumunun çok düşük olması, atmosfer ortamında CO₂ dengesinin sağlanabilirliği, asit yağmurlarına neden olmaması gibi nedenlerinden dolayı diğer enerji türlerine göre üstünlük sağlamaktadır (Antal, M.J. 1983.).

1.4. Biyokütle Dönüşüm Süreçleri

Biyokütle ve diğer organik atıkların enerjiden yararlanmak için kullanılması amacıyla bir kısım dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır. Söz konusu atıkların elektrik, ısı ve ışık kaynağı olarak kullanılması için uygulanan teknolojiler, termokimyasal dönüşüm, biyokimyasal dönüşüm ve fizyokimyasal dönüşümdür. Günümüz itibarıyla enerji amaçlı kullanılacak olan atıkların önemli bir miktarı termokimyasal teknoloji yöntemiyle ısı, ışık ve

elektriğe dönüştürülmektedir. Biyokütle dönüşüm yöntemleri şekil 1.6 da gösterilmiştir(Koçer, N. N., Ünlü, 2007).



Şekil 1.6. Biyokütle dönüşüm yöntemleri

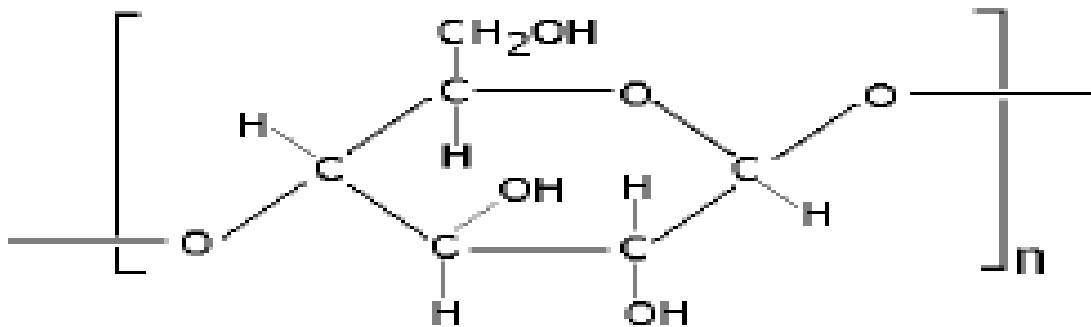
1.5. Biyokütlenin Kimyasal Yapısı ve Bileşenleri

Biyokütlenin kimyasal bileşimi kömür ve petrolün kimyasal bileşimlerinden oldukça farklıdır. Bitki içerisinde yüksek oranda oksijen ihtiva eden karbonhidrat polimerleri nedeniyle diğer fosil yakıtlardan oldukça farklı bir yapıya sahiptir. Odun ve diğer biyokütle

türleri oksijen ihtiva eden organik polimerlerden oluşan komposit bir materyaldir. Biyokütle içerisinde yüksek mol kütesine sahip esas yapısal kimyasal bileşenler karbonhidrat polimerleri ve oligomerler (% 65 – % 75) ile lignin ihtiva etmektedir. (% 18 – % 35). Ayrıca odun içerisinde düşük mol kütesine sahip çoğunlukla organik ekstraktiflerden ve inorganik maddelerden oluşan (% 4 – % 10) maddeleri de ihtiva etmektedir. Özetle biyokütleyi esas oluşturan bileşenler; selüloz, (bir glukosan polimeri) hemiselüloz, lignin, organik ekstraktifler ve inorganik maddelerdir. Selüloz, hemiselüloz ve ligninin biyokütle içerisindeki ağırlık yüzdeleri biyokütlenin türüne göre farklılıklar göstermektedir(Lim, JS., 2012).

1.5.1. Selüloz

Selüloz bitkilerin temel yapı bileşenidir, bir polisakkarittir Bitkinin hemen hemen her alanında bulunur ve bitkiye sert olma özelliği verir. Bir çok biyokütlenin iskelet yapısını oluşturur. Selüloz, birden dörde hatta daha fazla yapıya kadar β bağlı glikoz monomerlerinden olmuş yüksek molekül ağırlıklı çizgisel bir polimerdir. Bitkinin büyümesi esnasında selüloz molekülleri düzenli şeritler halinde istiflenirler. Daha sonra bu istifler odun liflerinin hücre duvarlarını oluşturan daha büyük yapısal elemanlar şeklinde düzenlenirler(Harker, J.H. 1981, Benedict, M. Pigford T. H., 1981). Selüloz piroliz esnasında prensip olarak yanabilen uçucuların oluşumundan sorumludur. Selülozun elementel bileşimi %44.4 C, %6.2 H ve % 49.4 O şeklindedir. Kapalı formülü $(C_6H_{10}O_5)_n$ şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 1.7.'de selüloz molekülünün yapısı görülmektedir(Tiftik B. E., 2006, Arno P., 1989).

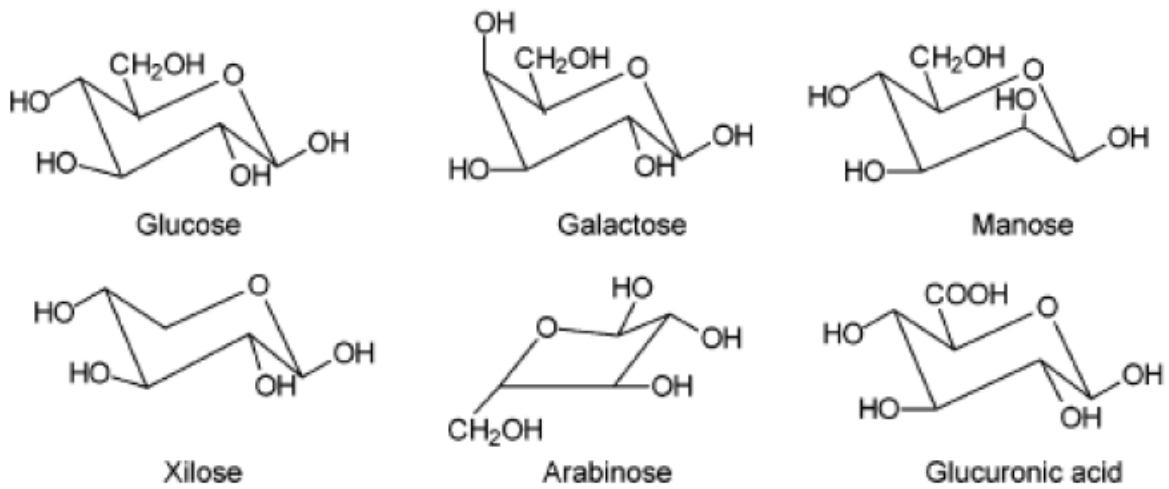


Şekil 1.7. Selüloz molekülünün yapısı

1.5.2. Hemiselüloz

Hemiselüloz selüloz ile birlikte hücre duvarında bulunur. Selülozden daha kısa zincirli yapıya sahip olup, farklı şeker yapılarından oluşan dallanmış bir polimerdir. Hemiselülozlar, selülozik zincirleri daha büyük bloklar oluşturmak üzere birbirine bağlarlar(Aksoğan Korkmaz A., 2007, Kömür, 1991).

Hemiselülozlar selülozde ki gibi kristal yapıya olmayıp amorf yapıdadır. Çoğunluğu üç boyutlu düzlemde dallanmış polimerler olup hücre çeperinde fibriller ve mikrofibriller arasındaki boşluklarda bulunur. Odun içinde hemiselülozların bir kısmı selüloza bir kısmı da lignine sıkıca bağlanmıştır. Dolayısıyla hemiselülozlar hidrofobik lignin ile hidrofilik özellikteki selülozun birlikteliğini sağlamaktadır. Bu yüzden odundan lignin ve selülozu saf olarak ayırmak mümkün değildir(Akgün, H. C.,2005). Bitki yapısında bulunma oranı %15 ile %40 aralarında değişmektedir. Termal olarak selülozdan daha az kararlıdır. Odun pirolizinde serbest kalan asetik asidin çoğu hemiselülozun bozunmasına dayandırılır. Hidrolizi sonucu selülozun aksine, pek çok sakkarit birimi vermektedir, selülozdan daha heterojenik bir yapıya sahiptir. Molekül ağırlığı selülozla kıyaslandığında daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Hemiselülozun genel formülü $(C_5H_8O_4)_n$ şeklindedir(Tiftik B. E., 2006, Arno P., 1989). Hemiselüloz glikoz, mannoz, galaktoz, ksiloz, arabinoz, 4 -o- metil glukuronik asit gibi polimerleşmiş monosakkaritin bir karışımıdır ve Şekil 1.8.'de gösterilmiştir(Mohan, D., Pittman, J., 2006).



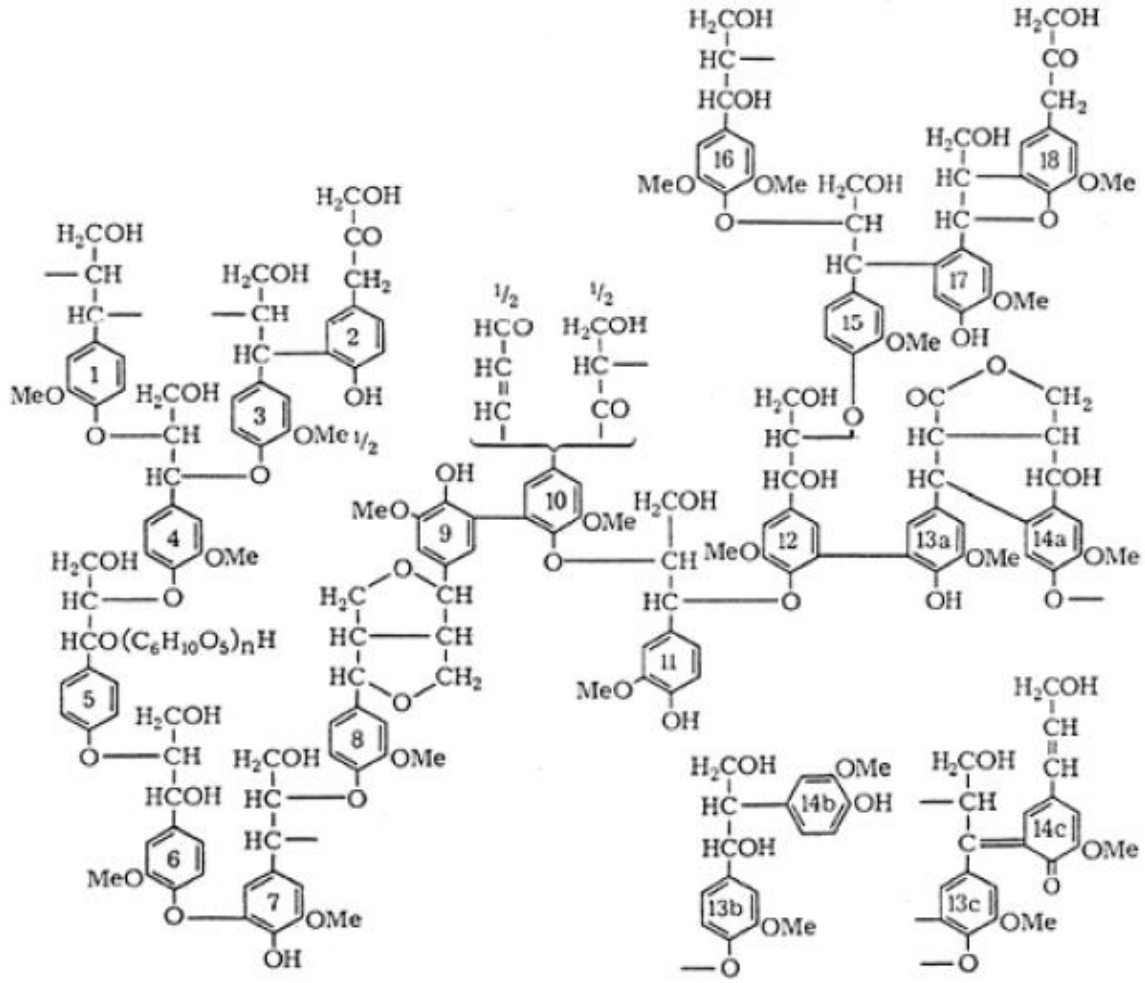
Şekil 1.8. Hemiselülozu oluşturan monosakkaritler(Wang, C., Du, Z., 2007)

1.5.3. Lignin

Lignin suda çözünmeyen, bitkide kök ve gövdenin sert ve odunsu yapısını oluşturan ve suda çözünmeyen kompleks ve odun bileşenleri içinde en karmaşık bileşik olup, farklı fenil propan birimlerinin karbon-karbon bağları ile bağlanması neticesinde oluşmuş bir polimerdir. Amorf bir yapıya sahiptir, molekül ağırlığı oldukça yüksektir. Odunsu bitkilerde fazla miktarda bulunmaktadır. Hiçbir çözücü ile hidrolizi mümkün olmayan bir yapıdır. Odun yapısında yaklaşık %25-30 oranında bulunmaktadır(Antal , M.J. 1983).

Lignin odun bileşenleri arasındaki en karmaşık ve çok az karakterize olan bir bileşen olmakla birlikte farklı fenil propan birimlerinin eter ve karbon-karbon bağları ile bağlanması neticesinde oluşan üç boyutlu bir polimerdir. Hidrofobik yapıda olması nedeniyle de odunun su almasını engellemektedir. Bu nedenle odunda sert bir görünüm sağlamaktadır(Kırcı, H. 2003).

Odunun en önemli bileşenlerinden biri olan lignin iğne yapraklı ağaç odunlarının %30'unu, yapraklı ağaç odunlarının da % 20'sini oluşturur. Fenilpropan birimlerinden oluşan lignin molekülleri üç boyutlu düzlemde dallanmış ve karmaşık yapıya sahip bir polimerdir(Kırcı, H., 2000). Lignin amorf ve aromatik yapıya sahip bir bileşik olup selüloz gibi kristal yapıya sahip değildir. Selüloz yakıldığında geniz yakıcı bir koku verirken, lignin yakıldığında hoş, aromatik bir koku verir. Lignin selüloza göre çok az polimerleşmiş olup 900-1000 arasında molekül ağırlığına sahiptir. Bu değer ekstraksiyon ürünlerinde 800-4000 arasındadır(Eroğlu, H. ve Usta, M., 2000).



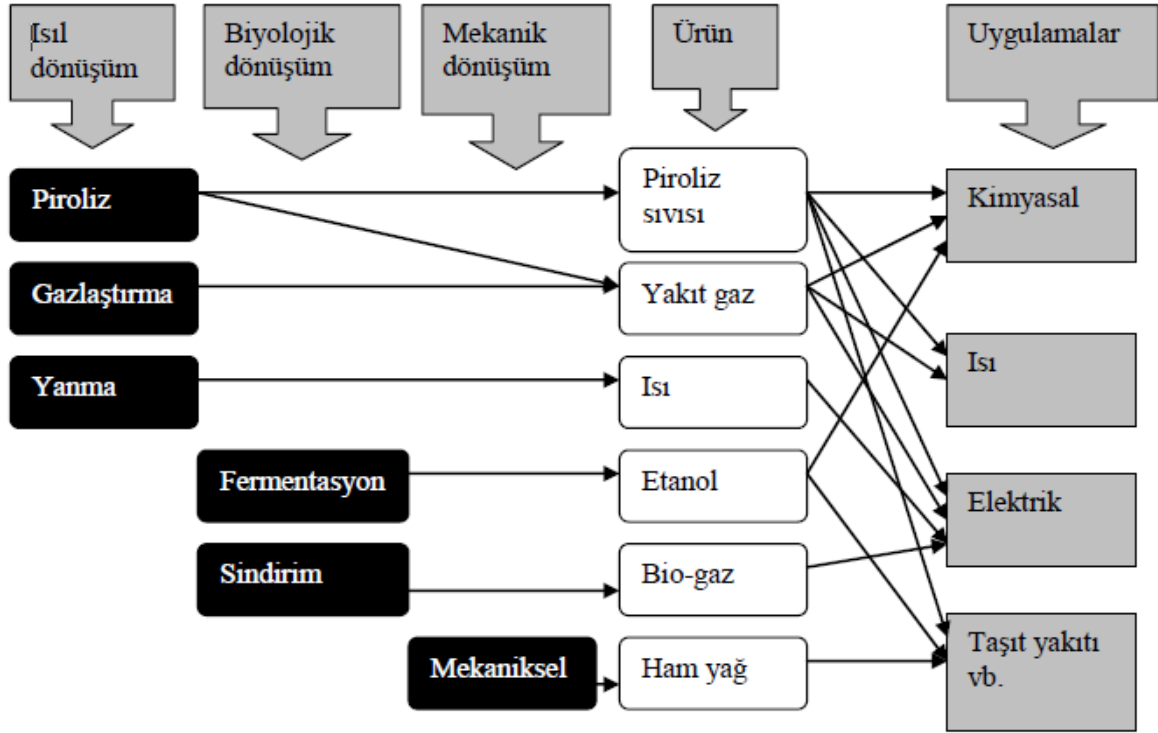
Şekil 1.9. Lignin molekülü (Antal, M.J. 1983)

1.6. İnorganik Maddeler ve Ekstraktif Maddeler

Ekstraktif kelimesinin türkçe anlamı ‘çıkarmak’ kökeninden gelmekle birlikte, biyokütleden çözücü yardımıyla ayrılan kısma ekstraktif denilmektedir. Ekstraktifler, reçine, nişasta tanen, reçine gibi oldukça farklı kimyasal bileşenlerden meydana gelmektedir. İnorganik ise organik kısmın yanması neticesinde arta kalan kül bileşimlerinden olan, ağır metaller, toprak alkali metaller ve diğer bileşikleri oluşturmaktadır (Vigouroux, R.Z. 2001.).

1.7. Biyokütleden Enerji Elde Etme Teknolojisi

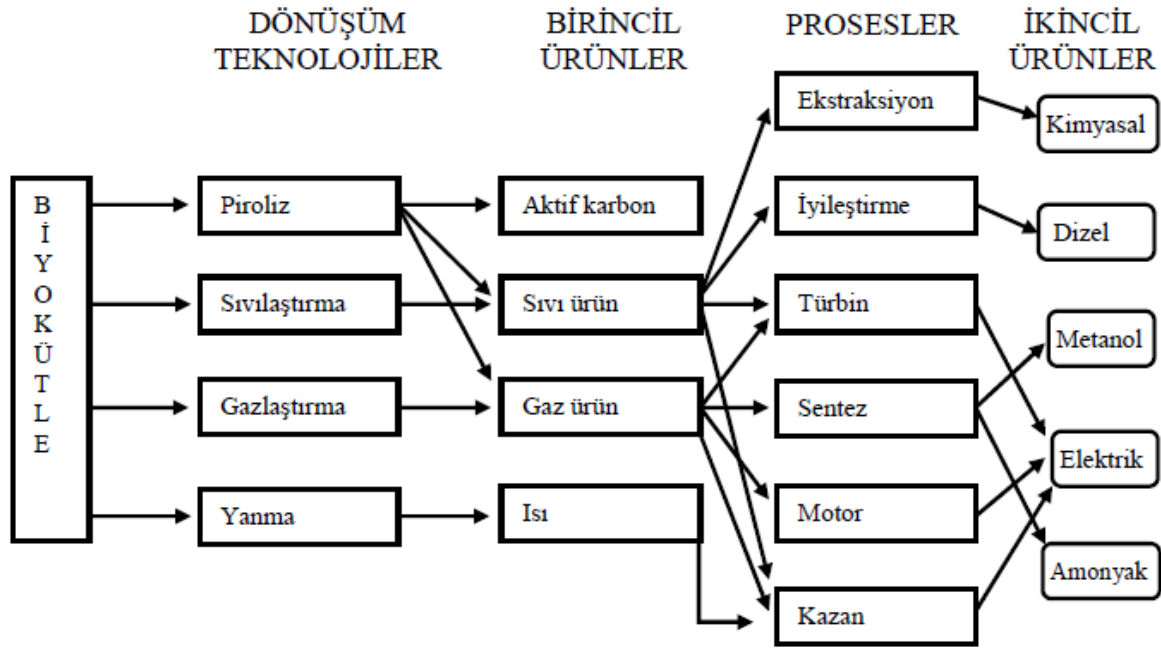
Biyokütle kaynaklarından katı, sıvı ve gaz yakıt elde etmek için çeşitli dönüşüm yöntemleri uygulanmaktadır. Biyokütle termal, biyolojik, mekanik ve fiziksel yöntemlerle enerjiye dönüştürülmektedir. Bu dönüşüm prosesleri Şekil 1.10'da özetlenmiştir(Bridgwater, T., 2006).



Şekil 1.10. Biyokütleye uygulanan dönüşüm prosesleri, ürünler ve uygulamaları

1.8. Termokimyasal Dönüşüm Süreçleri

Biyokütleye uygulanan termokimyasal dönüşüm süreçleri; yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz olmak üzere dört temel yöntemdir. Bu süreçler sonrası elde edilen birincil ve ikincil ürünler Şekil 1.11'de şematik olarak gösterilmiştir.



Sekil 1.11. Biyokütleyle uygulanan termokimyasal dönüşüm süreçleri ve elde edilen ürünler(Bridgwater, T., A.V. 1990).

1.8.1. Doğrudan Yakma

Yakma, biyokütle içindeki yanabilir maddelerin oksijenle hızlı kimyasal tepkimesi olarak tanımlanır. Örneğin saman, kayısı çekirdekleri ve ayçiçeği sapları gibi yanabilir maddeler, hidrojen, karbon gibi bazı metalik elementlerdir. Kimyasal tepkime sonucunda ortamdaki hava oksijeni tükenmekte ve ısıyla beraber ortaya karbondioksit, su buharı ve bazı metal oksitler çıkmaktadır(50).

Yakıtlar ile oksijen arasındaki kimyasal reaksiyonlara özel olarak yanma denir. Yanma reaksiyonları ekzotermik reaksiyonlardır. Hava içerisinde biyokütlenin yanması depolanmış olan kimyasal enerjinin proseslerde kullanılan çeşitli ekipmanlarla (soba, fırın, kazan, buhar türbünü ve turbo jeneratör gibi...) ısıya, mekanik güce ve elektriğe dönüştürülmesi olarak adlandırılır. Biyokütlenin yanmasıyla yaklaşık olarak 800–1000 °C sıcaklıkta sıcak gaz üretilir. Biyokütle direkt olarak havayla yakılır ve içerisinde bulunan kimyasal enerji ısı, güç ve elektriğe dönüştürülebilir. Genellikle direkt olarak yakma her çeşit biyokütleyle

uygulanabilmektedir, fakat uygulanacak biyokütlenin nem içeriğinin % 50'den düşük olması gerekmektedir. Yanma işlemi birçok dezavantaja sahiptir. Biyokütle nadiren ön işleme tabi tutulmadan direkt yakma prosesinde kullanılmaktadır, genellikle kurutma ve öğütme işlemlerinden sonra kullanılmaktadır(Goyal, H. B., Seal, D. 2008).

1.8.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma katı yakıtların ısı çevrim yöntemiyle yanabilen gaza dönüştürülmesi işlemidir. Gazlaştırma işleminde kullanılan biyokütle kaynakları tarım atıkları, ayçiçeği vb. bitki samanları kayısı çekirdekleri ve benzerlerinin işleme sonrası oluşan orman ürün atıkları şeklinde sıralamak mümkündür(Koçer, N. N., Ünlü, A.,2007).

Gazlaştırma, karbon içeren katıların yüksek sıcaklık altında bozunması neticesinde yanabilen gaz elde etme işlemidir. Bu işlem esnasında yakıt mekanizmasına verilen hava ile biyokütle yakılır ve ortaya çıkan ürünler arasında yanabilen hidrojen, metan gibi gazların dışında CO, CO₂ ve N₂ gibi gazlar da bulunur. Gazlaştırma işleminde sabit yataklı ve oynar yataklı yöntemler ile kullanılan akışkan yataklı sistemlerde kullanılabilir(Goyal, H. B., Seal, D. 2008).

Yakıt gazları, biyokütlenin kısmi oksidasyonu ve buhar veya pirolitik gazlaştırılması ile üretilir. Gazlaştırma işlemi sonucunda karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), hidrojen (H₂) ve metan (CH₄) gazlarından oluşan karışım meydana gelir. Gazlaştırma işlemi birbirini izleyen adımlardan meydana gelir;

-Nemi uzaklaştırmak için kurutma

-Katı, sıvı ve gaz ürünler elde etmek için piroliz

-Piroliz sonucu elde edilen katı (char), sıvı ve gaz ürünlerin gazlaştırılması veya kısmi oksidasyonudur.

Gazlaştırmada genellikle piroliz işlemi çok yüksek ısıtma hızlarında gerçekleştirilir. Meydana gelen katı, sıvı ve gaz ürünler daha sonra oksitleyici madde (genellikle hava) ile reaksiyona sokulur ve sonuçta CO, CO₂, H₂ ve çok az miktarda da hidrokarbon gazlar meydana gelir(Engineering Journal 2013).

1.8.3. Sıvılaştırma

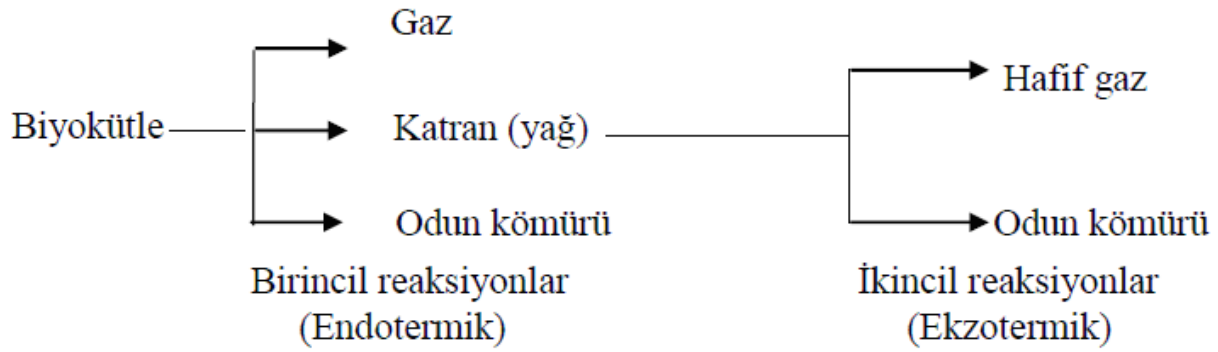
Odun veya odun bileşenlerinin sıvılaştırılması yöntemiyle yüksek değerde hidrokarbonlar ve fenollerden oluşan ürünler elde edilmektedir. Sıvılaştırma yöntemlerinin ortak özelliği, yüksek sıcaklık ve basınç altında hidrojen veya sentez gazı atmosferinde yürütülmesidir. Elde edilen düşük molekül ağırlıklı ürünler petrokimya alanında bazı yöntemler ile diğer kimyasal madde sentezlerinde elverişlidir(Alma, M.H., Yoshioka 1995).

Selüloz ve lignoselülozik artıkların sıvılaştırılmasında çözücü olarak su, aseton, alkol ve parafin kullanılarak, statik veya akışkan reaktörlerde 280 bar basınç altında 250-440°C sıcaklık aralığında Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Raney/Ni gibi katalizörler denenmiştir(Several Acids-Catalyzed 1996).

1.8.4. Piroliz

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılması neticesinde meydana gelen ısıl parçalanma olayıdır. Bu yöntem biyokütleyi daha faydalı yakıtlara dönüştürmede kullanılan temel termokimyasal işlemdir. Biyokütlenin pirolizi ile katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç farklı ürün elde edilir. Biyokütlenin pirolizinde oksijensiz ortamda yaklaşık 500 °C'de yapılan ısıtmada piroliz şartlarına bağlı olarak farklı oranlarda, sıvı ürün (biyoyağ), karbonca zengin katı ürün (char) ve gaz ürün açığa çıkar(Chen, M., Wang, J., Zhang, M.,2008).

Piroliz işleminde daha düşük proses sıcaklıkları ve daha uzun buhar alıkonma zamanı odun kömürü oluşumu lehinedir. Yüksek sıcaklıklarda ve daha uzun alıkonma zamanları ise biyokütlenin gaz ürünlere dönüşmesini sağlarken belirli sıcaklıklarda alıkonma zamanı ise sıvı ürün oluşumu lehinedir. Lignoselülozik biyokütlenin pirolizi çok sayıda birbirinden bağımsız reaksiyonlardan oluşan çok karmaşık bir reaksiyondur. Fakat bu karmaşıklık Broido-Shafizadeh mekanizması olarak bilinen bir mekanizmayla daha basite indirgenebilir(Fagbemi, L., Khezami, L. ve Capart, R.,2001).



Şekil 1.12 : Piroliz reaksiyon mekanizması

Piroliz, havasız ortamda biyokütlenin termal (ısı) bozundurulması işlemidir. Düşük proses sıcaklığı ve uzun reaksiyon süresi katı ürün (char) üretimi için idealdir. Yüksek sıcaklık ve uzun reaksiyon süresi biyokütlenin gaz ürüne dönüşümünü artırmaktadır. Orta sıcaklık ve kısa reaksiyon süresi ise sıvı ürün üretimi için optimum şartlardır (Chemical Engineering Journal, 2003). Aşağıdaki tabloda farklı piroliz teknolojilerinden elde edilen ürünlerin tipik dağılımı verilmiştir.

Tablo 1.2 Piroliz teknolojileri ve değişkenleri

Piroliz teknolojileri	Reaksiyon süresi	Isıtma hızı	Sıcaklık (°C)	Ürünler
Karbonlaştırma	Günlerce	Çok düşük	400	Katı
Yavaş piroliz	5-30 dak	Düşük	600	Sıvı, katı, gaz
Hızlı piroliz	0.5-5 sn	Çok yüksek	650	Biyo-yakıt
Flash piroliz				
Sıvı	< 1 sn	Yüksek	< 650	Biyo-yakıt
Gaz	< 1 sn	Yüksek	> 650	Kimyasal, gaz
Ultra piroliz	< 0.5 sn	Çok yüksek	1000	Kimyasallar, gaz
Vakum piroliz	2-30 sn	Orta	400	Biyo-yakıt
Hidropiroliz	< 10 sn	Yüksek	< 500	Biyo-yakıt
Metanoliz	< 10 sn	Yüksek	< 700	Kimyasallar

1.9. Pirolizden Elde Edilen Ürünler

1.9.1. Sıvı Ürün

Biyokütlenin pirolizi ile elde edilen sıvı ürün; pirolitik sıvı, piroliz yağı, biyoyağ, biyo-ham-petrol, biyoyakıt, odun sıvısı ve odun yağı gibi isimlerle adlandırılır. Sıvı ürün koyu kahve renkli, akışkan ve belirgin bir is kokusuna sahiptir. Kimyasal olarak oksijenli bileşikler içeren hidrokarbonlar ve sudan oluşan bir karışımdır. İçeriğinde bir miktar katı ürün de bulunabilir. Biyoyağların fiziksel özellikleri petrolden elde edilen yakıtlardan farklıdır. Biyoyağlar; selüloz, hemiselülozlar ve ligninin bozunma reaksiyonlarıyla meydana gelen değişik boyutlardaki moleküllerden oluşmuş bir karışımdır. Biyoyağların elementel yapısı biyokütlenin elementel yapısına benzemektedir(Bridgwater,A.V, 2004). Biyoyağları oluşturan organik bileşikler su, metoksifenoller, katekoller, siringoller, vanilin, furan karboksialdehitler, ojenoller ve izo ojenoller, pironlar, asetik asit, formik asit ve diğer karboksilik asitler şeklinde sıralanabilir. Ayrıca, hidroksi aldehitler, hidroksi ketonlar ve fenolik bileşikler katranın kimyasal yapısının büyük bir bölümünü oluşturur. Katranda bulunan oligomerik bileşiklerin büyük bir kısmı ligninin, geriye kalan kısmı ise selülozun ve hemiselülozların pirolizi sonucunda oluşur(Mohan, D., Pittman, C. U 2006-, Yanık, J., Kornmayer, C., Sağlam 2007).

Piroliz sıvı ürünü tipik olarak koyu kahve renklidir. Kullanılan hammaddeye ve piroliz tekniğine göre, renk siyah, koyu kırmızı-kahverengi ve koyu yeşil olabilir. Koyu yeşil rengi veren unsur yüksek azot içeriğidir. Sıvı ürünün belirgin keskin bir kokusu vardır. Bu kokunun sebebi düşük molekul ağırlıklı aldehit ve asitlerden dolayıdır. Sıvı ürün, formaldehit ve asetik asitten kompleks yüksek molekül ağırlıklı fenoller, şekerler ve diğer oligosakkaritlere uzanan değişik oranlarda yuzlerce farklı kimyasal içermektedir(Chemical Engineering Journal 2003)

1.9.2 Katı Ürün

Piroliz sonucu meydana gelen katı ürünün gözenekli bir yapısı olup aktif karbon gibi kullanılabilir. Odun kömürü veya char olarak adlandırılan katı ürün, inorganik kısımdan ve dönüşüme uğramayan karbonsu organik kısımdan oluşmaktadır. Katı ürünler; adsorbent, evsel ısıtma, metalürji ve kimyasal üretiminde kullanılmaktadır(Karaosmanoglu, F., TETDK, E. 1999).

1.9.3. Gaz Ürün

Gaz ürün piroliz sonucu meydana gelen ve yoğunlaşmayan doymuş ve doymamış hidrokarbon karışımlarından meydana gelmektedir. Gaz bileşimi H_2 , CO_2 , CH_4 , CO , H_2O ve organik bileşenlerin gazlarından oluşur. Gaz ürün güç santrallerinde ve ısıtma işlemlerinde enerji amaçlı kullanılabilir. Biyokütlenin pirolizinden CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , C_2H_4 ve C_2H_6 gazları elde edilebilir. Biyokütle kükürt içeriği barındırmadığından SO_x gibi çevreye zararlı ürünler piroliz işlemi sonunda meydana gelmez(Li, J., Yan, R., Xiao, B., Wang, X 2007). Gaz ürün metanla birlikte önemli miktarda CO_2 içerir(Goyal, H. B., Seal, D. and Saxena, R. C, 2008). Gaz ürün; piroliz öncesi hammadenin kurutulmasında ve ısıtma işlemlerinde kullanılabilir. Gaz bileşimi; su miktarı, reaksiyonun sıcaklığı, piroliz ürününün yükseltgenme derecesi gibi bir çok durumdan etkilenmektedir.

2. BÖLÜM

LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Piroliz ile ilgili olarak bir çok biyokütle kaynağının kullanıldığı çalışmalar vardır. Bu çalışmalarda farklı biyokütle kaynakları, farklı sıcaklıklar ve farklı katalizörler kullanılmıştır. Bu çalışmalara bakıldığında;

Xhantium strumarium bitkisi saplarının piroliz yöntemiyle sıvı ürünlere dönüştürüldüğü bir çalışmada katalizör olarak bor minerallerinden uleksit, kolemanit ve boraks kullanılmıştır. Yapılan çalışma dakikada 50 oC ısıtma hızı ile üç farklı sıcaklık aralığında (350, 450 ve 550 oC) yürütülmüştür. Elde edilen ürünler GC-MS ve FT-IR analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. En yüksek sıvı ürün verimi (%27.97) kolemanit katalizörü varlığında elde edilmiştir. Denemeler sonunda biyokütle dönüşümünde katalizör ve sıcaklığın etkili olduğu bulunmuştur(Durak H., 2016).

Yapılan bir çalışmada biyokütle kaynağı olarak Glycyrrhiza glabra L. bitkisi kullanılmıştır. Denemelerde üç farklı sıcaklık (350, 450, 550 °C) beş farklı katalizör kullanılmıştır (ZnO, FeCl₃, K₂CO₃, Al₂O₃, Na₂B₄O₇·10H₂O). Elde edilen sıvı ürünler GC-MS analiz yöntemiyle incelenmiştir. Yapılan çalışmada en yüksek dönüşüm oranına (%74.50) ve en yüksek sıvı ürün verimine (%34.35) Na₂B₄O₇·10H₂O katalizörü varlığında 550 C° de ulaşılmıştır. Deneler sonunda elde edilen sıvı ürün içerisinde, 350 C° sıcaklıkta 133, 550 C° ise 148 farklı bileşik olduğu GC-MS analizi ile tespit edilmiştir(Aysu T., Durak H, 2015).

Yapılan bir araştırmada avokado çekirdeğinden piroliz yöntemiyle katalizörlü ve katalizörsüz ortamda 400- 600 C de biyo yağ ve biyo kömür elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada en yüksek sıvı dönüşüm oranına 500 C de KOH katalizörü kullanılarak ulaşılmıştır. En yüksek ısı değerine sahip (36.07 Mj/kg) biyo yağ ise katalizörsüz ortamda 400 C de elde edilmiştir(Durak H., Aysu T. 2015).

Biyokütleden geleneksel kullanım dışında daha yüksek verimle yararlanmak amacıyla yapılan gazlaştırma ve pirolitik sıvılaştırma gibi termokimyasal yada biyolojik yöntemler ile basit monomerik kimyasallara dönüştürülebilir. Piroliz işlemi biyokütle hammaddesinden katı, sıvı ve gaz ürünlerin elde edilebildiği bir çeşit hidrokarbon geri dönüşüm sürecidir.

Piroliz sonucunda elde edilen pirolitik sıvı ise gelecekte enerji alanında yüksek oranda kullanılması düşünülen yüksek enerji değerine sahip bir üründür. Piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağlar endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Biyoyağlar ısıtmada, elektrik üretim santrallerinde, kimyasal üretiminde, fosil yakıtlara alternatif olarak araçlarda, ahşap koruyucu olarak ve yapıştırıcı olarak kullanılırlar(Qi ve ark., 2006).

Piroliz sonucu elde edilen katı ürünler preslenerek kazanlarda yüksek verimli yakıt olarak kullanılabilir. Ayrıca aktif karbon üretiminde de bu katılardan yararlanılabilir. Piroliz sonucunda elde edilen gaz ürünler ise, metanla birlikte önemli ölçüde karbondioksit içerir ve bu ürünler endüstriyel amaçlı yakıt olarak değerlendirilebilir(Goyal, H.B., Seal, D, 2008).

Kavak ve akçaağaç kabuklarının 0.5 saniye alıkonulma süresi ile yapılan flaş piroliz çalışmasında, %60-70 dönüşüm ile sıvı ürün elde edilmiştir. Çalışmanın diğer aşamasında ise buğday sapları, mısır sapları ve şeker kamışı küspesi azot ortamında, 450-650oC sıcaklık aralığında piroliz yapılmış ve elde edilen sıvı ürün veriminin %40-60 aralığında olduğu tespit edilmiştir(Scott ve ark.,1992).

Ayçiçeği küspesinin sabit yataklı reaktörde pirolizinin incelendiği bir çalışmada ısıtma hızı, piroliz sıcaklığı, tane boyutu ve azot akış hızının piroliz ürünleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda en yüksek sıvı ürün veriminin 550 °C sıcaklıkta, 7 °C.dk-1 ısıtma hızında ve 100 cm³.dk-1 azot akış hızında % 23 olarak elde edildiği bildirilmiştir(Yorgun ve ark. 2001).

Sabit yataklı reaktörde keten tohumunun hızlı pirolizinin yapıldığı bir başka çalışmada, piroliz sıcaklığı, tane boyutu, ısıtma hızı ve gaz akış hızını parametrelerinin piroliz ürünleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Maksimum sıvı ürün veriminin % 57,7 olarak 550 °C sıcaklıkta, 0,6 mm < dp < 1,8 mm tane boyutunda, 300 °C.dk-1 ısıtma hızında ve 100 cm³.dk-1 N₂ akış hızında elde edildiği bulunmuştur(Açıkgöz ve ark., 2004).

Yapılan diğer bir piroliz çalışmasında, çam odunu talaşının Al-MCM-41 katalizörleri varlığında 500 °C de pirolizi gerçekleştirilmiştir. Piroliz sonucunda elde edilen ürünler piroliz-gaz kromatografisi/kütle spektrometresi ile analiz edilmiştir. Katalizörün piroliz ürününde önemli değişikliklere neden olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışmada katalizörün

asetik asit ve furan miktarını arttırdığı fakat daha yüksek molekül ağırlıklı fenollerin miktarını azalttığı tespit edilmiştir(Adam ve ark., 2005).

Phragmites australis saplarının bir enerji kaynağı olarak değerlendirildiği bir çalışmada, Phragmites australis saplarının un haline getirilip bir otoklav içinde, basınç altında, değişik sıcaklıklar ve değişik organik çözücüler ve katalizörler (NaOH ve ZnCl₂) kullanarak sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülmesi incelemiştir. Katalizörsüz ortamda en yüksek dönüşüm 573 K sıcaklıkta % 55,1 ile aseton ortamında elde edilmiş, katalizörlü ortamda ise yine aynı sıcaklıkta metanol ve ZnCl₂ kullanılarak % 51,7 olarak gerçekleşmiştir(Küçük ve ark. 2003.).

Aspir tohumunun biyokütle kaynağı olarak kullanıldığı bir çalışmada, aspir tohumunun pres küspesinin sabit yataklı reaktörde pirolizi gerçekleştirilmiştir. Piroliz parametreleri olarak; sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı ele alınmıştır. En yüksek sıvı ürün verimi 500 °C piroliz sıcaklığında, 50 oC/dk ısıtma hızında ve 100 cm³/dk azot akış hızında % 36,06 olarak bulunmuştur. Sıvı ürünler FTIR ve H- NMR analizleri ile incelenmiş, sıvı ürünün fenol, keton, aldehit, ester ve eterlerden oluştuğu belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, maksimum katran verimine 500 °C piroliz sıcaklığında ulaşılmıştır. Isıtma hızının artmasıyla katran verimi de artmış ve en yüksek katran verimi (%33,82) 50 °C/dk ısıtma hızında, 500 °C piroliz sıcaklığında elde edilmiştir. Katranların ve katı ürünlerin yapılarını aydınlatılması için, elde edilen ürünler spektroskopik ve kromatografik yöntemlerle incelenmiştir(Angın D. 2005.).

Switchgrass bitkisinin pirolizinin incelendiği bir çalışmada, piroliz sonucu elde edilen sıvı ürünlerin fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Üç farklı nem içeriğine (% 5, % 10 ve % 15) sahip hammadde üç farklı sıcaklıkta (450, 500 ve 550 °C) 3x3 faktöriyel deney şeklinde biyoyağ özelliklerini geliştirmek için piroliz parametreleri optimize edilerek pirolizler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak uygulanan optimal piroliz koşulları ile biyoyağ verimi iki katından fazla , pH % 20.4, ısıl değer % 18.1 artmış, yoğunluk % 5.9, su miktarı % 36, viskozite % 40, katı içeriği % 57 ve kül miktarı % 41.9 azalmıştır(He ve ark.2009 He R).

Kavak ağacının hızlı pirolizini ve takiben piroliz buharlarının Py-GC-MS analitik yöntemi ile katalitik iyileştirilmesini yapıldığı bir çalışmada, katalizör olarak üç tane ticari mezo veya makro gözenekli katalizörler (TiO₂ (rutil), TiO₂ (anates) ve ZrO₂& TiO₂) ve bunların Ce, Ru veya Pd ile modifiye edilmiş halleri kullanılmıştır. Bu katalizörler, piroliz ürünleri üzerine arklı katalitik etkiler göstermişlerdir. TiO₂ (rutil) bazlı katalizörler, özellikle

Pd/Ce TiO₂ (rutil), lignin türevli oligomerleri monomerik fenolik yapılara dönüştürmede etkili olduğu belirlenmiştir. Fenol miktarı, katalitik olmayan pirolizde % 25,6 iken, Pd/Ce TiO₂ ile yapılan pirolizde % 37,2'ye yükselmiştir. Piroliz veriminde en etkili katalizörün ZrO₂& TiO₂ bazlı katalizörler olduğu bulunmuştur. Bu katalizörler önemli ölçüde fenol, asit ve şeker içeriğini düşürmüş, aynı zamanda hidrokarbon, lineer keton ve siklopentanon içeriğini artırmışlardır. En yüksek hidrokarbon içeriği % 13,1 olarak ZrO₂ ve TiO₂ kullanılarak elde edilmiştir(Lu ve ark. 2010).

Fındık, ceviz, badem ve ayçiçeği kabuklarının pirolizi üzerine sıcaklığın etkisinin incelendiği çalışmada, deneyler 500-1200oK sıcaklık aralığında silindir bir reaktörde yapılmıştır. Deney sonuçlarından sıcaklığın her bir örnekten elde edilen katı, sıvı ve gaz ürün miktarlarına etkisi araştırılmıştır. Katı ürün verimi sıcaklığın artması ile azalmıştır. En yüksek sıvı ürün 650 ile 800 K sıcaklık aralığında elde edilmiştir. Katı ürün bileşimi ve üst ısıl değerler hesaplanmış olup en yüksek ısıl değer % 32 olarak bulunmuştur. Sıcaklık ile sabit karbon içeriği ve üst ısıl değerler arasında ileri derecede doğrusal bir korelasyonunun olduğu saptanmıştır(Demirbaş, Cemek M., Küçük M., 2006).

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Biyokütle Uygulanan İşlemler

3.2 Biyokütlenin Toplanması

Kimyasal analizlerde kullanmak amacıyla alınan örnek ana kütle yani örneğin alındığı materyalin tamamını temsil etmelidir. Analizi yapılacak Lactuca Scariola bitkisi, Van ilinde Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesinde (Coğrafi koordinatlar, Enlem: 38 34' 34" K Boylam: 43 17' 78" D) toplandı ve gölgede kurutuldu.

3.3 Öğütme ve Eleme

Kimyasal analiz için lactuca scariola bitkisi sapsarı kurutma işlemi sonrasında küçük parçalara öğütüldü, öğütülen bitki saklanmak üzere ağzı kapalı torbalara konularak muhafaza edildi.

3.4. Biyokütlenin Deneysel Çalışmalarda Kullanıma Uygun Hale Getirilmesi

Kimyasal analizler için kullanılacak olan numunenin örneklenmesi ve hazırlanması TAPPI T11 m-45 standardına göre yapıldı. Örnek Willey tipi bir 74 değirmende öğütüldü. 40 ve 60 mesh'lik sarsak elek takımında eleme yapıldı. Kaba kısımlar 40 mesh'lik ince kısımlar 60 mesh'lik elekten geçerek elendi. Dolayısıyla 60 mesh'lik elek üzerinde kalan kısımlar test amacıyla kullanıldı. Burada 40 mesh'lik elek üzerinde kalan kısımlar tekrar öğütmeye tabi tutuldu. Deneylerde kullanılan $0.224 > D_p > 0.150$ mm olmak üzere parçacık boyutuna ayrıldı. Böylece hazırlanmış olan örnekler yapılacak kimyasal analizlerde kullanmak için hava geçirilmeyen siyah naylon torbalara kondu. Örneğin konulduğu naylon torbaların ağızları açık bırakılarak örneğin rutubetinin açık hava koşullarına gelmesi sağlandı ve daha sonra örnek torbalarının ağızları kapatılarak muhafaza edildi.

3.5. Biyokütle Uygulanan Analiz Yöntemleri

3.5.1 Lignin Tayini

Lignin tayini TAPPI T13 m-54 standardına göre yapıldı. Odun güçlü asitlerle muamele edildiğinde, karbonhidratlar hidrolize olur ve bunun sonrasında lignin ile birlikte çözünmeden kalması nedeniyle, öncelikle uygun çözücü kullanarak ekstraktiflerin ayrılması sağlanmalıdır. Bu deneyde çözücü olarak petrol eteri kullanıldı ve ekstraksiyon işlemi Soxhlet ekstraksiyon cihazında yapıldı. *Lactuca Scariola* sapı unundan 1 g alınarak bir behere aktarıldı ve 12-15 °C'deki 15 ml % 72'lik H₂SO₄ ilave edildikten sonra 18-20 °C'de zaman zaman karıştırılarak iki saat süre ile bekletildi. Bu sürenin sonunda beherdeki materyal yıkanarak bir litrelik erlen mayer içine alındı. Asit konsantrasyonu % 3'e düşene kadar, yani erlende bulunan sıvı miktarı 560 ml olana kadar destile su ile seyreltildi. Daha sonra eldeki karışım soğutucu altında dört saat süre ile kaynatıldı. Çözünmeyen maddeyi çöktükten sonra ağırlığı 105±3 °C'de belirlenmiş porozitesi 4 olan krozeden karışım süzüldü. Serbest asit artıkları 500 ml sıcak su ile yıkandı ve 3 nolu kroze ile 105±3 °C'de kurutulup bir desikatörde soğutulduktan sonra sabit tartıma getirildi. Elde edilen kalıntı örnek ağırlığına oranlanarak %20.4353 olarak bulundu.

3.5.2. Selüloz Tayini

Selüloz tayini TAPPI 05-2C3 71 standardına göre yapıldı. *Lactuca Scariola* sapı unundan 2 g alınarak selüloz tayini için kullanıldı. Bir beher içine 40 mL etanol ve 10 ml nitrik asit kondu. Elde edilen bu karışım *Lactuca Scariola* sapı ununun bulunduğu balon içine döküldü ve geri soğutucu altında yavaş yavaş kaynamaya bırakıldı. Bir saatlik kaynamadan sonra 2 nolu kroze yardımı ile balondaki sıvı süzüldü ve 40 mL etanol ve 10 ml nitrik asitten oluşan yeni bir karışım ile kroze üzerinde kalan numune yıkanıp balona alındı. Tekrar bir saat süreyle kaynatmaya devam edildi ve aynı işlem üç defa tekrarlandı. Bu tekrarlardan sonra krozeden süzme yapıldı, sıcak su ile kroze üzerinde kalan numune yıkandı ve 105±3°C'de kurutulup bir desikatörde soğutulduktan sonra sabit tartıma getirildi. Elde edilen kalıntı örnek ağırlığına oranlanarak %37.2854 olarak bulundu.

3.5.3. Hemiselüloz Tayini

Hemiselüloz miktarı aşağıda verilen formüle göre bulunur.

$$\% \text{Hemiselüloz} = \% \text{Holoselüloz} - \% \alpha\text{-Selüloz}$$

3.5.4. Kül Tayini

Kül tayini TAPPI T211 om-85 standardına göre yapıldı. Kül tayini için üç adet yüksek ısıya dayanıklı kroze kullanıldı. Önce krozeler, 575 ± 25 °C'de sabit tartıma getirildi ve üzerlerine kül tayini yapılacak *Lactuca Scariola* sapı unundan 2'şer g alınarak krozelere kondu. Daha sonra krozeler kül fırınına yerleştirildi, sıcaklık 575 ± 25 °C olarak ayarlandı, 2 saat sonra fırından örnek alındı, sabit bir tartım elde edilinceye kadar işleme devam edildi.

3.5.5. Nem Tayini

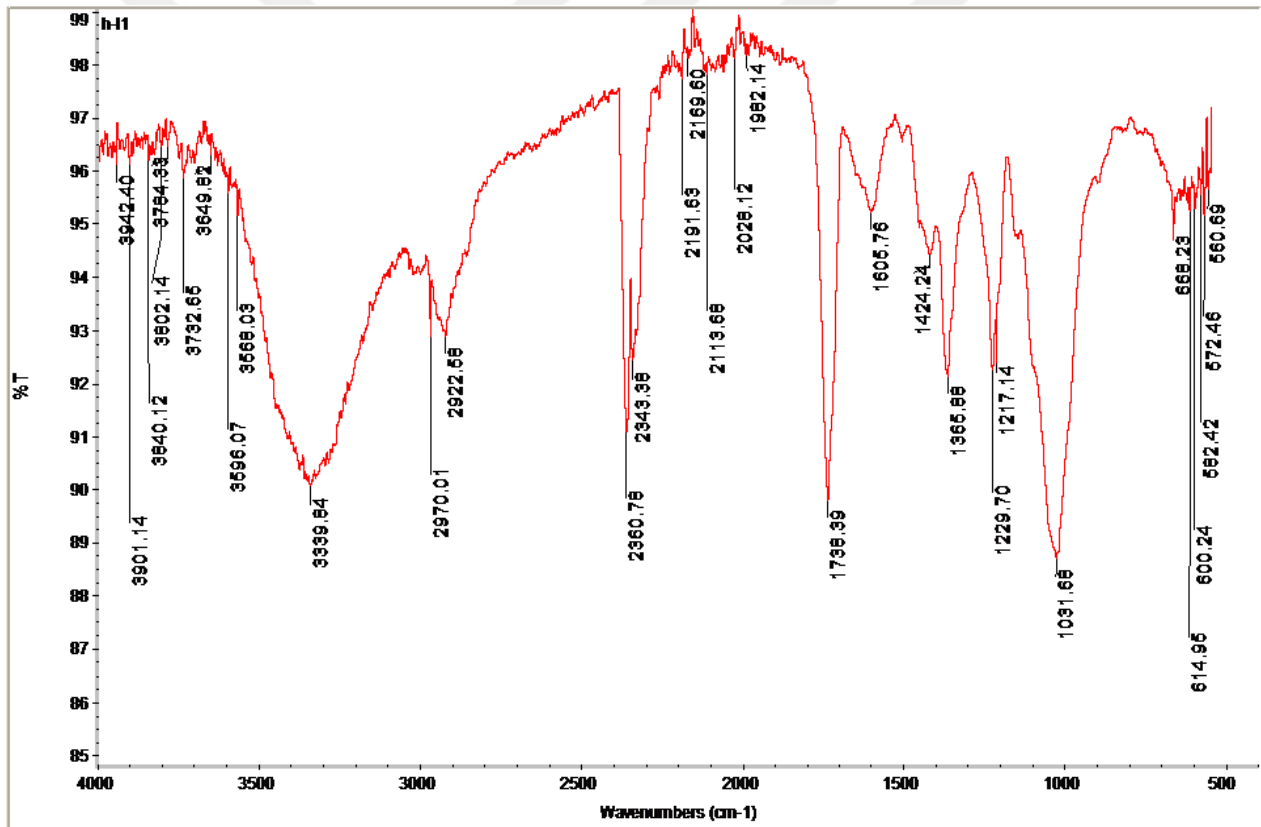
1 g ağırlığında üç adet *Lactuca Scariola* sapı unu örneği dikkatlice tartıldı. Her biri önceden rutubeti tayin edilmiş petri kaplarına kondu. Etüvde iki saat süre ile kurutuldu, desikatörde soğutuldu ve tartılarak nem oranı bulundu.

Yapılan analizler sonrasında denemelerde kullanılan *Lactuca Scariola* bitkisi bileşenleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 3.1. *Lactuca scariola* temel bileşenleri

Bileşenler	
<i>Nem</i> (%)	4.76
<i>Analizler^a</i> (%)	
Kül	4.86
Lignin	20.43
Selüloz	37.28
Hemiselüloz	31.78
Ekstraktifler (40-60 °C petrol eteri)	0.84
<i>Elementel analizler^b</i> (%)	
Karbon	43.40

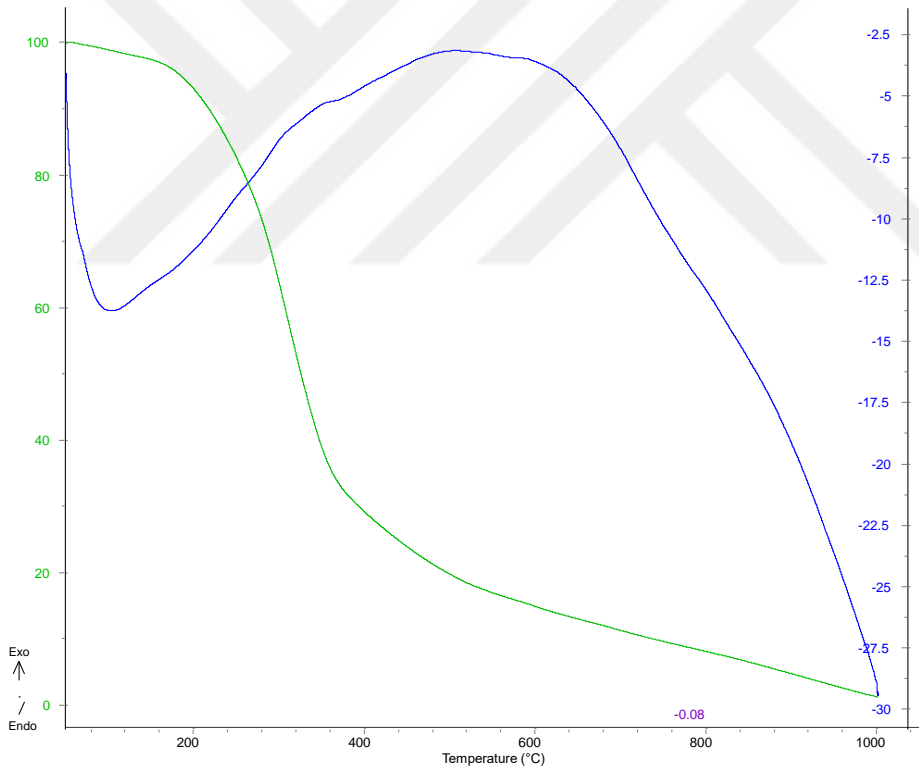
Hidrojen	5.65
Azot	0.48
Oksijen ^c	50.45
H/C molar oran	1.55
O/C molar oran	0.87
Ampirik formül	CH _{1.55} N _{0.009} O _{0.87}
<i>Isıl değeri (MJ/kg)</i>	
Dulong's formülü	13.74



Şekil 3.1. Lactuca Scariola'nın FTIR analizi

Hammaddenin (Lactuca Scariola) yapısında bulunan fonksiyonel grupların tespiti için FT-IR analiz spektrumu Şekil 13'de verilmiştir. Lactuca Scariola bitkisi saplarının FT-IR spektrumu incelendiğinde, 3339 cm⁻¹'deki O-H gerilme titreşiminden maddenin yapısında alkol, karboksilik asit veya fenol bileşiklerinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu pik aynı zamanda

ligno-selülozik olan bitki saplarındaki selüloz ve ligninde bulunan OH gruplarının varlığını göstermektedir. 2922 cm^{-1} dalga sayısındaki pik ise alifatik ve aromatik C-H gerilme titreşiminin varlığını göstermekte olup maddenin yapısında alifatik ve aromatik yapıların olduğunu göstermektedir. 1736 cm^{-1} dalga sayısındaki pik C=O gerilme titreşiminden kaynaklanmakta olup karbonil gruplarının (aldehit, keton, asit, amid, ester) varlığını göstermektedir. 1605 cm^{-1} dalga sayısındaki pik ise N-H bükülme veya C=C gerilme titreşiminden kaynaklanmakta olup amid grubunun veya aromatik yapıların varlığını göstermektedir. 1480-1420 cm^{-1} 'deki pik karbonhidratlardaki C-H grubundan kaynaklanmaktadır. 1100-1000 cm^{-1} aralığında oluşan pik aromatik yapıların varlığını göstermektedir ve lignindeki guayasil grubundan kaynaklandığı söylenebilir



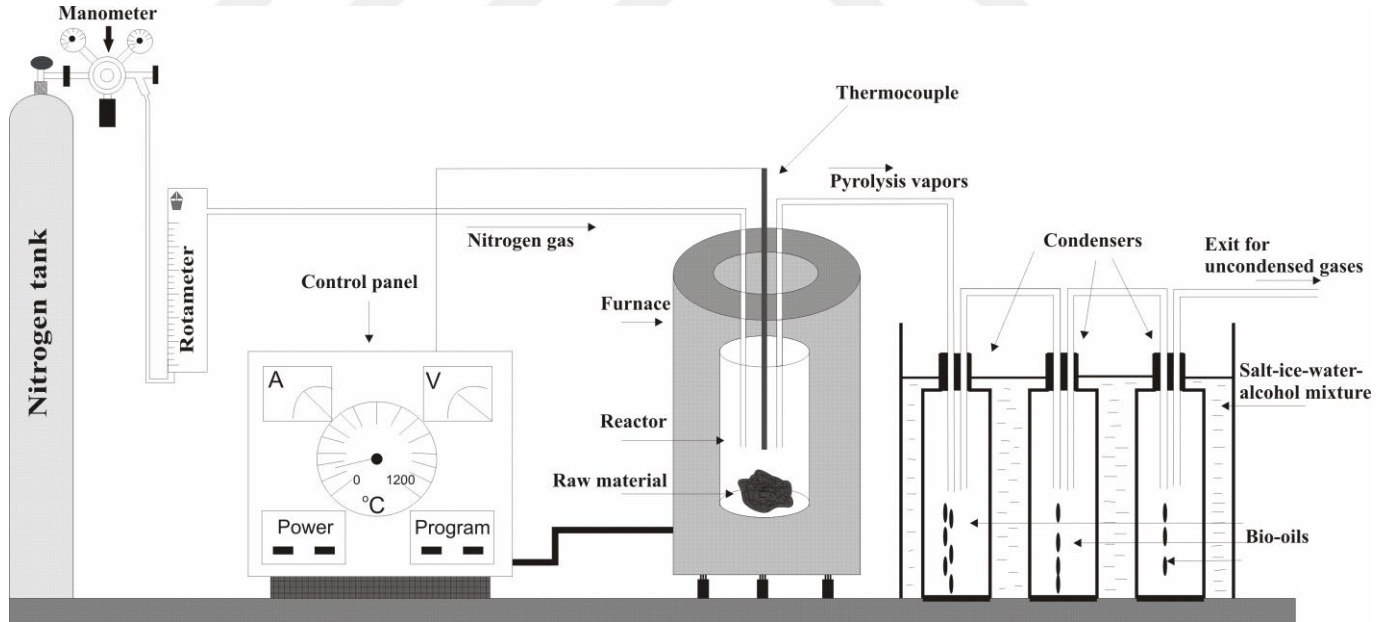
Şekil 3.2. Lactuca scariolanın TGA-DTA grafiği

Hammaddenin (Lactuca scariola) ısıl davranışının belirlenmesi amacıyla yapılan TG-DTA eğrileri Şekil 3.2'de verilmiştir. Lactuca scariola bitkisi saplarının TG eğrisi

incelendiğinde 150 °C'ye kadar olan yaklaşık % 5'lik kütle kaybının hammaddenin nem miktarını gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu değer Tablo 3.1'de bulunan nem miktarına oldukça yakındır. Hammaddeyi oluşturan temel bileşenlerin bozunmaya başladığı sıcaklık yaklaşık 240 °C'dir. Bu sıcaklıkta hammaddenin selülozik bileşenleri bozunmaya başlamıştır. Bozunmanın maksimum olduğu sıcaklık değeri ise yaklaşık 320 °C olarak tespit edilmiştir. Bu sıcaklıkta hammaddenin tüm bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve lignin hızlı bir şekilde ısıl bozunmaya uğrayarak ağırlık kaybı maksimuma ulaşmaktadır. Bozunma olayı yaklaşık olarak 400 °C' de sonlanmaya başlamakta ve 600 °C' den sonra kütle kaybı gittikçe azalarak bozunma işlemi sonlanmaktadır. Bu değerler dikkate alınarak çalışma sıcaklığı 350, 450 ve 550 °C olarak belirlenmiştir.

3.6. Biyokütlenin Pirolizi

Biyokütlenin pirolizi deneyinde kullanılan düzenek şekilde 3.3 de ayrıntılı şekilde gösterilmiştir. Azot gazı tankı, reaktörün olduğu kısım ve işlem sonrasında ürünlerin toplandığı kaplar ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Biyokütlenin pirolizinde kullanılan deney düzeneği

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Piroliz Sonuçları

Tablo 4.1 350 °C’de yapılan piroliz denemeleri sonunda elde edilen ürün oranları

	Sıvı ürün	Katı ürün	Gaz ürün	Dönüşüm Oranı
Katalizörsüz	%27.77	%31.20	%41.03	%68.80
Borik Asit	%30.20	%42.32	%27.48	%57.68
Sodyum hidroksit	%26.04	%38.53	%35.43	%61.47
Di Sodyum Tetra Borat	%28.28	%36.96	%34.76	%63.04
Çinko Klorür	%27.15	%41.19	%31.65	%58.81
Potasyum Karbonat	%23.05	%39.58	%37.36	%60.41

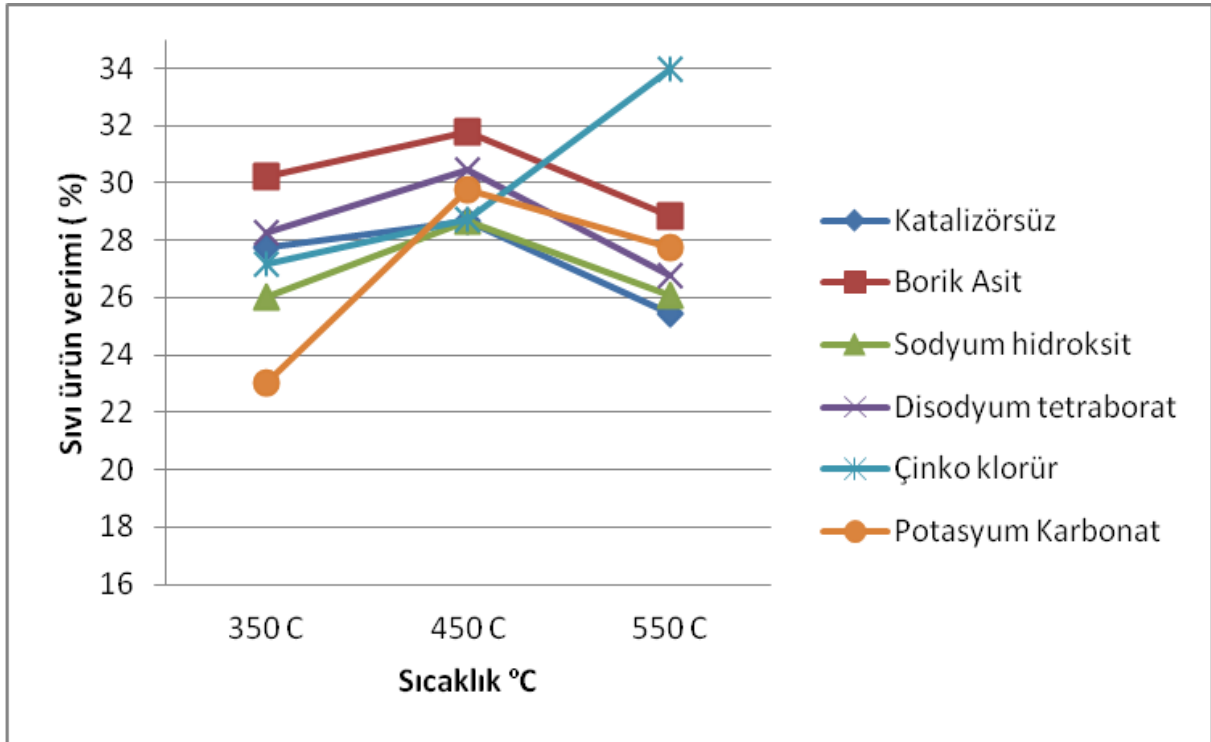
Tablo 4.2 450 °C’de yapılan piroliz işlemi sonrasında elde edilen ürün oranları

	Sıvı ürün	Katı ürün	Gaz ürün	Dönüşüm Oranı
Katalizörsüz	%28.65	%28.62	%42.73	%71.38
Borik Asit	%31.79	%38.56	%29.65	%61.44
Sodyum hidroksit	%28.69	%36.07	%35.23	%63.93
Di Sodyum Tetra Borat	%30.43	%35.20	%34.36	%64.80
Çinko Klorür	%28.74	%36.93	%34.32	%63.07
Potasyum Karbonat	%29.74	%36.09	%34.16	%63.90

Tablo 4.3 550 °C’de yapılan piroliz işlemi sonrasında elde edilen ürün oranları

	Sıvı ürün	Katı ürün	Gaz ürün	Dönüşüm Oranı
Katalizörsüz	%25.47	%26.65	%47.88	%73.35
Borik Asit	%28.83	%37.58	%33.59	%62.42
Sodyum hidroksit	%26.05	%34.46	%39.48	%65.54
Di Sodyum Tetra Borat	%26.76	%34.03	%39.21	%65.97
Çinko Klorür	%33.97	%33.22	%32.81	%66.78
Potasyum Karbonat	%27.75	%34.25	%38,00	%65.75

4.1.1 Sıvı Ürün Verimi Üzerine Sıcaklık Etkisi

**Şekil 4.1.** Sıvı ürün verimi üzerine sıcaklık etkisi

Katalizörsüz denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir noktaya kadar artmış daha sonra ise azalmıştır. En yüksek sıvı ürün verimine 450 C de 28.65 olarak ulaşılmıştır.

Borik asit katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir noktaya kadar artmış daha sonra ise azalmıştır. En yüksek sıvı ürün verimine 450 C de 31.79 olarak ulaşılmıştır.

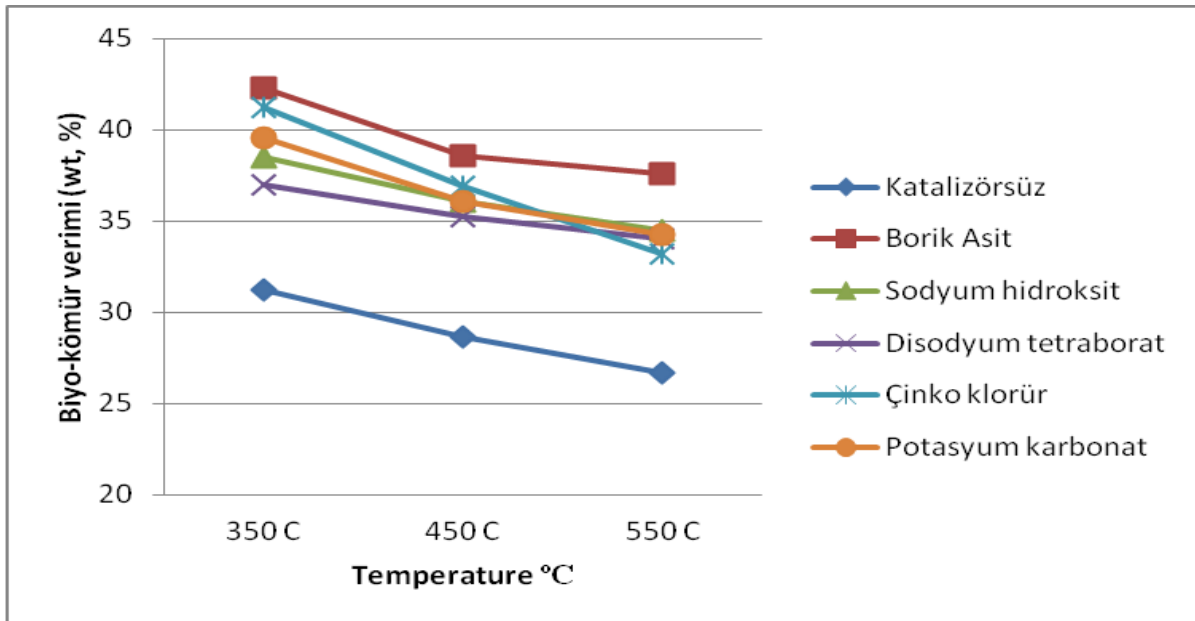
Sodyum Hidroksit katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir noktaya kadar artmış daha sonra ise azalmıştır. En yüksek sıvı ürün verimine 450 C de 28.697 olarak ulaşılmıştır.

Di Sodyum Tetra Borat katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir noktaya kadar artmış daha sonra ise azalmıştır. En yüksek sıvı ürün verimine 450 C de 30.431 olarak ulaşılmıştır.

Çinko Klorür katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi 450 °C'ye kadar yavaş bir şekilde artmış 450 °C 'den sonra ise daha yüksek bir sıçrama ile artış göstermiştir. En yüksek sıvı ürün verimine 550 C de 33.97 olarak ulaşılmıştır.

Potasyum Karbonat katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir noktaya kadar artmış daha sonra ise azalmıştır. En yüksek sıvı ürün verimine 450 C de 29.74 olarak ulaşılmıştır.

4.1.2 Katı Ürün Verimi Üzerine Sıcaklık Etkisi



Şekil 4.2. Katı ürün verimi üzerine sıcaklık etkisi

Katalizörsüz denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak azalmıştır. En yüksek katı ürün verimine 350 C de 31.2 olarak ulaşılmıştır.

Borik asit katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak azalmıştır. En yüksek katı ürün verimine 350 C de 42.5 olarak ulaşılmıştır.

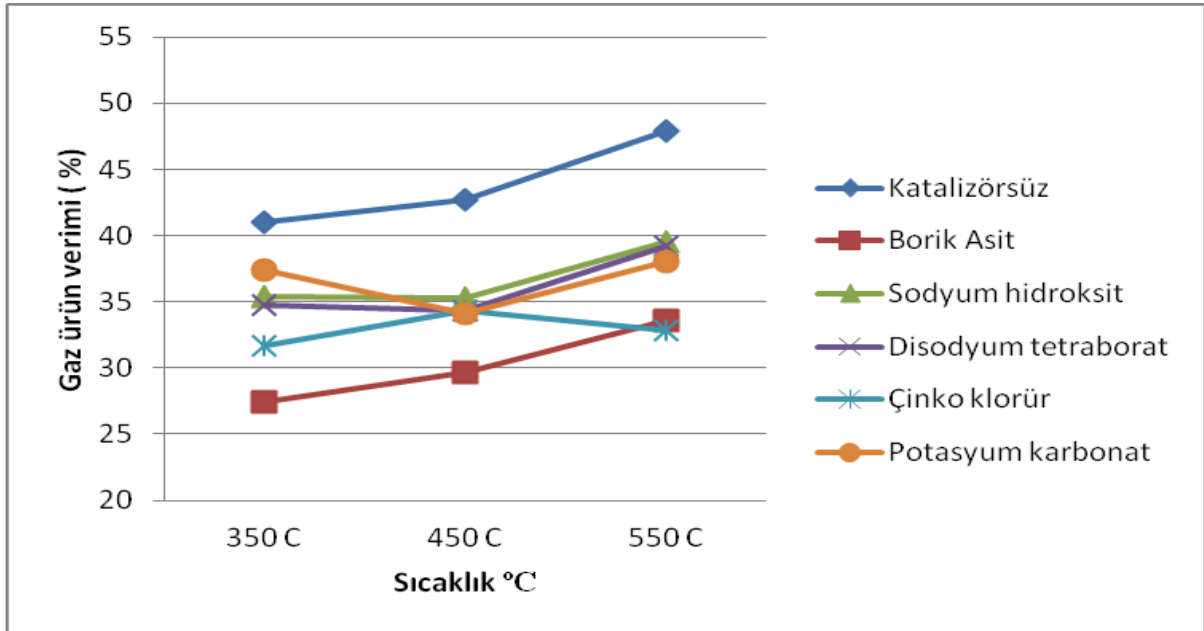
Sodyum Hidroksit katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak azalmıştır. En yüksek katı ürün verimine 350 C de 38.53 olarak ulaşılmıştır.

Di Sodyum Tetra Borat katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak azalmıştır. En yüksek katı ürün verimine 350 C de 36.96 olarak ulaşılmıştır.

Çinko Klorür katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak azalmıştır. En yüksek katı ürün verimine 350 C de 41.19 olarak ulaşılmıştır

Potasyum Karbonat katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak azalmıştır. En yüksek katı ürün verimine 350 C de 39.581 olarak ulaşılmıştır.

4.1.3 Gaz Ürün Verimi Üzerine Sıcaklığın Etkisi



Şekil 4.3. Gaz ürün verimi üzerine sıcaklık etkisi

Katalizörsüz denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak artmıştır. En yüksek gaz ürün verimine 550 C de 47.88 olarak ulaşılmıştır.

Borik asit katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak artmıştır. En yüksek gaz ürün verimine 550 C de 33.59 olarak ulaşılmıştır.

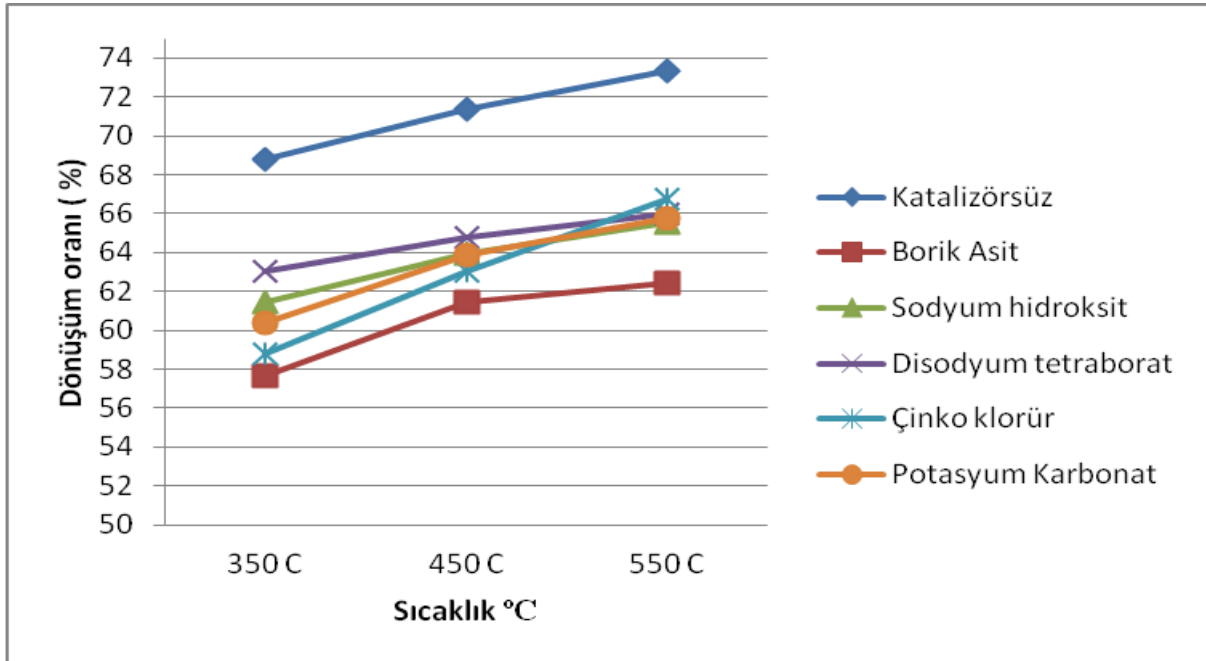
Sodyum Hidroksit katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak artmıştır. En yüksek gaz ürün verimine 550 C de 39.482 olarak ulaşılmıştır.

Di Sodyum Tetra Borat katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak artmıştır. En yüksek gaz ürün verimine 550 C de 39.21 olarak ulaşılmıştır.

Çinko Klorür katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir noktaya kadar artmış daha sonra azalmıştır. En yüksek gaz ürün verimine 450 C de 34.326 olarak ulaşılmıştır.

Potasyum Karbonat katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir noktaya kadar azalmış daha sonra tekrar artmıştır. En yüksek gaz ürün verimine 550 C de 38 olarak ulaşılmıştır.

4.1.4 Dönüşüm Oranı Üzerine Sıcaklığın Etkisi



Şekil 4.4. Dönüşüm oranı verimi üzerine sıcaklık etkisi

Katalizörsüz denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi sürekli bir sürekli olarak artmıştır. En yüksek dönüşüm ürün verimine 550 C de 47.88 olarak ulaşılmıştır.

Borik asit katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi sürekli olarak artmıştır. En yüksek dönüşüm ürün verimine 550 C de 62.42 olarak ulaşılmıştır.

Sodyum Hidroksit katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi sürekli olarak artmıştır. En yüksek dönüşüm ürün verimine 550 C de 65.54 olarak ulaşılmıştır.

Di Sodyum Tetra Borat katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi bir sürekli olarak artmıştır. En yüksek dönüşüm ürün verimine 550 C de 65.97 olarak ulaşılmıştır.

Çinko Klorür katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi sürekli olarak artmıştır. En yüksek dönüşüm ürün verimine 450 C de 66.78 olarak ulaşılmıştır.

Potasyum Karbonat katalizörü ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlara göre grafikten de görüldüğü üzere sıcaklık ile ürün verimi sürekli olarak artmıştır. En yüksek dönüşüm ürün verimine 550 C de 65.75 olarak ulaşılmıştır.

4.2 Elementel Analiz ve Enerji Değeri Sonuçları

4.2.1 Sıvı Ürün Elementel Analiz ve Enerji Değeri Sonuçları

Tablo 4.4 350 °C’de elde edilen sıvı ürünlerin elementel analiz ve enerji değerleri

350°C	Katalizörsüz	Borik Asit	Sodyum Hidroksit	Di Sodyum Tetra Borat	Çinko Klorür	Potasyum Karbonat

C	%55.81	%46.92	%59.27	%47.79	%45.62	%58.95
H	% 8.14	% 6.97	% 6.99	% 6.48	% 7.37	% 7.03
N	% 0.56	% 0.36	% 1.00	% 0.71	% 0.31	% 0.97
O	%35.49	%45.75	%32.75	%45.02	%46.70	%33.06
H/C	% 1.73	% 1.77	% 1.40	% 1.61	% 1.92	% 1.42
O/C	% 0.47	% 0.73	% 0.41	% 0.70	% 0.76	% 0.42
HHV	%24.23	%17.68	%24.22	%17.39	%17.65	%24.12

Tablo 4.5 450 °C’de elde edilen sıvı ürünlerin elementel analiz ve enerji değerleri

450°C	Katalizörsüz	Sodyum Hidroksit	Borik Asit	Di Sodyum Tetra Borat	Çinko Klorür	Potasyum Karbonat
C	%48.23	%62.55	%49.29	%51.82	%50.50	%58.44
H	% 6.81	% 6.61	% 7.00	% 6.36	% 7.24	% 6.18
N	% 0.58	% 1.54	% 0.39	% 1.17	% 0.28	% 1.55
O	%44.39	%29.29	%43.32	%40.64	%41.98	%33.83
H/C	% 1.68	% 1.25	% 1.69	% 1.46	% 1.70	% 1.26
O/C	% 0.69	% 0.35	% 0.65	% 0.58	% 0.62	% 0.43
HHV	%18.13	%25.42	%18.96	%1.37	%19.95	%22.59

Tablo 4.6 550 °C’de elde edilen sıvı ürünlerin elementel analiz ve enerji değerleri

550°C	Katalizörsüz	Sodyum Hidroksit	Borik Asit	Di Sodyum Tetra Borat	Çinko Klorür	Potasyum Karbonat
C	%55.13	%54.38	%44.69	%44.52	%47.18	%46.49
H	% 7.52	% 8.20	% 7.67	% 7.20	% 7.17	% 6.67
N	% 0.54	% 0.82	% 0.43	% 0.34	% 0.89	% 0.72

O	%36.81	%36.60	%47.21	%47.94	%44.76	%46.12
H/C	% 1.62	% 1.79	% 2.04	% 1.92	% 1.80	% 1.71
O/C	% 0.50	% 0.50	% 0.79	% 0.80	% 0.71	% 0.74
HHV	%22.85	%23.63	%17.67	%16.80	%18.22	%17.03

4.2.2 Katı Ürün Elementel Analiz ve Enerji Değerleri Sonuçları

Tablo 4.7 350 °C’de elde edilen katı ürünlerin elementel analiz ve enerji değerleri

350°C	Katalizörsüz	Borik Asit	Sodyum Hidrooksit	Di Sodyum Tetra Borat	Çinko Klorür	Potasyum Karbonat
C	%70.95	%72.98	%57.67	%62.04	%56.50	%54.54
H	% 2.35	% 1.86	% 1.68	% 2.35	% 2.43	% 3.13
N	% 0.38	% 0.43	% 0.50	% 0.51	% 0.59	% 0.99
O	%26.32	%24.72	%40.15	%35.10	%40.48	%41.34
H/C	% 0.39	% 0.30	% 0.34	% 0.45	% 0.51	% 0.68
O/C	% 0.27	% 0.25	% 0.52	% 0.42	% 0.53	% 0.56
HHV	%22.64	%22.91	%14.68	%18.04	%15.31	%15.51

Tablo 4.8 450 °C’de elde edilen katı ürünlerin elementel analiz ve enerji değerleri

450°C	Katalizörsüz	Sodyum Hidrooksit	Borik Asit	Di Sodyum Tetra Borat	Çinko Klorür	Potasyum Karbonat
C	%76.14	%59.29	%78.47	%57.40	%63.70	%69.82
H	% 2.51	% 1.36	% 1.93	% 2.04	% 2.34	% 2.06
N	% 0.55	% 0.44	% 0.52	% 0.53	% 0.70	% 0.82
O	%20.80	%38.90	%19.07	%40.03	%33.26	%27.30

H/C	% 0.39	% 0.27	% 0.29	% 0.42	% 0.43	% 0.35
O/C	% 0.20	% 0.49	% 0.18	% 0.52	% 0.39	% 0.29
HHV	%25.63	%15.00	%25.89	%15.13	%18.92	%21.67

Tablo 4.9 550 °C’de elde edilen katı ürünlerin elementel analiz ve enerji değerleri

550°C	Katalizörsüz	Sodyum Hidroksit	Borik Asit	Di Sodyum Tetra Borat	Çinko Klorür	Potasyum Karbonat
C	%74.46	%59.03	%69.74	%64.45	%59.59	%63.38
H	% 1.63	% 1.02	% 1.98	% 1.50	% 1.20	% 1.68
N	% 0.37	% 0.46	% 1.43	% 0.53	% 0.45	% 0.65
O	%23.53	%39.48	%26.86	%33.53	%38.77	%34.28
H/C	% 0.26	% 0.20	% 0.33	% 0.27	% 0.23	% 0.31
O/C	% 0.23	% 0.50	% 0.28	% 0.39	% 0.48	% 0.40
HHV	%23.29	%14.31	%21.59	%17.91	%14.88	%17.68

Tablo 4.10. 350°C’de elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları

No		Formül	Katalizörsüz	H ₃ BO ₃	NaOH	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	ZnCl ₂	K ₂ CO ₃
1	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl	C ₆ H ₈ O ₂	2.29	2.64	2.09	-	2.19	1.04
2	2,4-dinitro-6-(trifluoromethyl, 1,3-Benzenediamine	C ₇ H ₅ F ₃ N ₄ O ₄	-	-	0.51	-	-	-
3	3-methyl Phenol	C ₇ H ₈ O	8.72	21.82	8.9	-	7.51	3.58
4	2-methoxy Phenol	C ₇ H ₈ O ₂	5.81	-	7.20	-	6.46	3.33
5	2-methoxy-5-nitro Benzenamine	C ₇ H ₈ N ₂ O ₃	-	-	-	11.78	-	-
6	1-one2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-	C ₇ H ₁₀ O	0.73	-	-	-	0.82	-
7	2,5-Diacetylfuran	C ₈ H ₈ O ₃	-	-	4.95	-	-	2.13
8	2,6-dimethyl Phenol,	C ₈ H ₁₀ O	-	-	-	-	-	1.78

9	3,5-dimethyl Phenol,	C ₈ H ₁₀ O	1.70	-	2.12	-	1.65	1.03
10	2,3-dimethyl Phenol	C ₈ H ₁₀ O	2.10	2.71	4.71	-	-	
11	2-Methoxy-4-methylphenol	C ₈ H ₁₀ O ₂	3.00	3.10	3.29	-	5.18	3.24
12	2,6-dimethoxy-Phenol	C ₈ H ₁₀ O ₃	-	-	-	29.43	-	
13	2-Methoxy-3-methylhydroquinone	C ₈ H ₁₀ O ₃	16.62	7.93	21.37	-	11.19	14.83
14	3-Hydroxy-4-methoxybenzoic acid	C ₈ H ₈ O ₄	2.10	-	6.60	-	3.30	
15	2-ethenyl Benzaldehyde	C ₉ H ₈ O	0.83	-	-	-	-	
16	2-Methoxy-4-vinylphenol	C ₉ H ₁₀ O ₂	6.49	-	4.51	-	-	2.89
17	4-hydroxy-3,5-dimethoxy Benzaldehyde	C ₉ H ₁₀ O ₄	2.10	-	-	-	-	
18	4-ethyl-2-methoxy Phenol,	C ₉ H ₁₂ O ₂	-	-	-	20.82	-	
19	9-HYDROXY-1-METHYL-1,2,3,4-TETRAHYDRO-8H-PYRIDO(1,2-A)PYRAZIN-8-ONE	C ₉ H ₁₂ N ₂ O ₂	1.94	-	-	-	-	
20	4-isopropenyl-5-methyl-1-hexen-1-ol	C ₉ H ₁₄ O ₂	-	-	-	-	4.33	
21	1-Methyl-5-tert-butyluracil	C ₉ H ₁₄ N ₂ O ₂	-	-	-	-	7.19	
22	2-methoxy-6-(1-propenyl) Phenol,	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	7.74	-	-	-	-	5.10
23	2,3,5-Trimethoxytoluene	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	9.90	-	7.49	10.98	-	5.86
24	N'-(5-Acetyl-6H-thiopyran-2-yl)-N,N-dimethylformamide	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₃ S	2.23	-	-	5.25	2.77	1.75
25	Ascaridole	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	-	-	5.09	-	-	2.29
26	5-HYDROXY-2-DECENOIC ACID LACTONE	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	1.20	-	-	-	-	
27	Ascaridole epoxide	C ₁₀ H ₁₆ O ₃	-	-	-	-	3.02	-
28	2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl) Phenol	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	2.64	-	1.34	19.58	-	
29	2,2,8-trimethyl-2H-chromene-6-Hydroxy-	C ₁₂ H ₁₄ O ₂	-	-	-	-	-	4.16
30	Bicyclo[4.3.0]nonan-7-one, 1-(2-methoxyvinyl)-	C ₁₂ H ₁₈ O ₂	-	-	-	-	2.27	
31	MOLYBDENUM, TETRAKIS(3-PROPENYL)	C ₁₂ H ₂₀ Mo	-	-	-	-	-	0.51
32	3H-4-naphtho[3,4-b]p	C ₁₃ H ₁₀ O	-	-	-	-	-	5.29

	gran								
33	3H-4-naphtho[3,4-b]pyran	C ₁₃ H ₁₀ O	-	-	0.77	-	-		
34	1-Ethynyl-1,2,3,4-tetrahydro- α -carboline	C ₁₃ H ₁₂ N ₂	-	-	1.24	-	-		
35	1-Ethynyl-1,2,3,4-tetrahydro- α -carboline	C ₁₃ H ₁₂ N ₂	-	-	-	-	-	1.97	
36	5-Acetyl-2,8,8-trimethyl-5,6,7,8-tetrahydro-4H-cycloheptano(b)furan	C ₁₄ H ₂₀ O ₂	-	-	-	-	-	0.37	
37	2,4-bis(1,1-dimethylthyl)-Phenol	C ₁₄ H ₂₂ O	-	-	-	-	-	-	4.89
38	7 α -acetyl-4 $\alpha\alpha$ -methyl-1 $\alpha\alpha$ -decahydrocyclopropa[d]naphthalene	C ₁₄ H ₂₂ O	-	-	-	-	-	1.24	
39	2,4-bis(1,1-dimethylthyl)-Phenol,	C ₁₄ H ₂₂ O	6.39	-	-	-	-	-	
40	6-Isopropyl-1-oxaspiro[2.5]octane-4,5-dicarboxylic acid, dimethyl ester	C ₁₄ H ₂₂ O ₅	0.39	-	-	-	-	0.79	
41	Tetradecanoic acid	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	2.14	-	-	-	-	-	
42	1,2-Diphenylpropan-2-one	C ₁₅ H ₁₄ O	-	-	1.94	-	-	-	
43	Benzothieno[2,3-d]azepino[1,2-a]pyrimidin-5-one, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-decahydro-	C ₁₅ H ₁₈ N ₂ O S	-	-	-	-	-	-	1.62
44	[15-13CD ₃]-5,6-Dihydroartemisinic acid	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	1.54	-	-	-	-	-	
45	1,1'-BIPHENYL, 3,4-DIETHYL	C ₁₆ H ₁₈	-	-	0.28	-	-	-	
46	4-Methoxy-7H-pyrido[2,3,4-k]acridine	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O	-	-	-	-	-	-	8.49
47	4-N-(4'-Fluorophenyl)amino-6,7-dimethoxyquinazoline	C ₁₆ H ₁₄ FN ₃ O ₂	-	-	-	-	-	-	0.29
48	2-(Diphenylthiomethyl)imidazole	C ₁₆ H ₁₄ N ₂ S ₂	-	-	-	-	-	-	1.41
49	Acetic acid, (1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-3,8,8-trimethylnaphth-2-yl)methyl	C ₁₆ H ₂₆ O ₂	-	0.74	-	-	-	-	

	ester							
50	1,1-Diethyl-2,2-bis(p henylsulfonyl)hydrazine	C ₁₆ H ₂₀ N ₂ O 4S ₂	-	-	-	-	-	0.70
51	Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	2.41	12.05	1.03	-	6.15	3.35
52	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11, 11,13,13,15,15-HEX ADECAMETHYLO CTASILOXANE #	C ₁₆ H ₅₀ O ₇ Si 8	-	-	0.02	-	-	
53	2-[2'-(p- Methoxyphen yl)-1'- methylethenyl]-b	C ₁₇ H ₁₆ N ₂ O	-	-	-	-	0.58	
54	9-Oxabicyclo[4.3.0]n on-6-en-8-one, 9-[2- methylenebicyclo [3.3.0]octane-3,6- dion e-1-yl]	C ₁₇ H ₁₈ O ₄	0.08	-	-	-	-	
55	9-Octadecenoic acid (Z)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	4.06	-	-	-	6.13	1.31
56	N-Benzylidene-4- phenoxyaniline	C ₁₉ H ₁₅ NO	-	-	-	-	-	0.52
57	2-(2-Methyl-9-acridin ylamino)pyridine	C ₁₉ H ₁₅ N ₃	-	-	-	-	-	1.30
58	3-(4-Fluorophenyl)- 5- phenyl-4-(pyrimidin- 2-yl)isoxazole	C ₁₉ H ₁₆ FN ₃ O	-	-	-	-	-	2.64
59	Curan, 16,17-didehydro-, (20.xi.)	C ₁₉ H ₂₄ N ₂	1.12	-	-	-	-	
60	Antiriline	C ₁₉ H ₂₄ N ₂ O	0.11	1.86	-	-	1.64	
61	5,19-Cyclo-5á- androst -6-ene-3,17-dione	C ₁₉ H ₂₄ O ₂	-	-	0.37	-	-	
62	Ethanone, 2-(2,2,4,6,6-pentamet hylcyclohexylidene)- 1 -phenyl-	C ₁₉ H ₂₆ O	1.36	-	-	0.87	-	
63	Chiapin B	C ₁₉ H ₂₆ O ₆	-	-	-	0.03	-	
64	METHYL TRISPORATE C	C ₁₉ H ₂₈ O ₄	-	-	-	-	-	0.34
65	Gibberellin A3	C ₂₀ H ₂₄ O ₆	-	-	0.07	-	-	
66	Vitamin A alcohol	C ₂₀ H ₃₀ O	-	-	-	0.21	-	
67	Pregna-5,16-dien-20- one, 3-hydroxy-, (3á)-	C ₂₁ H ₃₀ O ₂	-	0.39	0.20	-	-	0.40
68	7,10,13-Eicosatrienoi c acid, methyl ester	C ₂₁ H ₃₆ O ₂	0.51	-	-	-	-	
69	(1'S,2S/R)-N-[o-(1'- Hy droxy-1'-(á-naphthyl) methyl)benzenesulfo n yl]-2- hydroxymethylp	C ₂₂ H ₂₃ NO ₄ S	-	0.95	-	-	-	

	yrrolidine							
70	(S,S)-1,1-Bis(ethoxycarbonyl)-2,2-bis-p-tolylsulfinyl-1-ethanol	C ₂₂ H ₂₆ O ₇ S ₂	0.12	-	-	-	-	
71	5H-Cyclopropa[3,4]benz[1,2-e]azulen-5-one, 9a-(acetyloxy)-1,1a,1b,4,4a,7a,7b,8,9,9a-decahydro-4a,7b,9-trihydroxy-3-(hydroxymethyl)-1,1,6,8-tetramethyl-, [1aR-(1aà,1bá,4aá,7aà,7bà,8à,9á,9aà)]-	C ₂₂ H ₃₀ O ₇	-	0.09	-	-	-	
72	Benzenedodecanoic acid, 3-methoxy-2-(methoxycarbonyl)-, methyl ester	C ₂₂ H ₃₄ O ₅	4.67	-	-	-	-	
73	(4'R,5'R)-2-(4',5'-dimethyl-1',3'-dioxolan-2'-yl)-4-hydroxy-1-methoxy-3-(prop-2'-enyl)anthraquinone	C ₂₃ H ₂₂ O ₆	-	0.73	-	-	-	
74	1,4,9(11)-Pregnatriene-3,20-dione, 21-acetoxy-17-hydroxy-	C ₂₃ H ₂₈ O ₅	-	-	0.06	-	-	
75	Butanoic acid, 1a,2,5,5a,6,9,10,10a-octahydro-5a-hydroxy-4-(hydroxymethyl)-1,1,7,9-tetramethyl-6,11-dioxo-1H-2,8a-methanocyclopenta[a]cyclopropa[e]cyclodec-5-yl ester, [1aR-(1aà,2à,5á,5aá,8aà,9à,10aà)]-	C ₂₄ H ₃₂ O ₆	-	-	-	0.12	0.12	
76	medrol acetate	C ₂₄ H ₃₂ O ₆	-	-	-	-	0.40	
77	5-HYDROXY-4A,6A-DIMETHYL-2-OXO-8-PROPYL-2,4A,4B,5,6,6A,9A,10,10A,10B,11,12-DODECAHYDRO-6BH-NAPHT	C ₂₄ H ₃₂ O ₆	-	-	-	-	0.63	

	HO[2',1':4,5]INDEN O[1,2-D][1,3]DIOXO LE-6B- CARBOXYLI C ACID								
78	Hexanoic acid, 2-ethyl-, oxybis(2,1-ethanediyl oxy-2,1-ethanediyl) ester	C ₂₄ H ₄₆ O ₇	-	-	-	-	3.16		
79	3-(3",4",5"-Trimetho xyphenyl)diosmetin--	C ₂₅ H ₂₂ O ₉	-	-	2.32	-			
80	Obscurinervinediol	C ₂₅ H ₃₄ N ₂ O ₅	-	-	-	0.10	-		
81	1-(1- Adamantylidene- 1-phenylmethyl)- 3,3,4 ,4,5,5-hexafluoro-2-(3- thienyl)cyclopentene	C ₂₆ H ₂₂ F ₆ S	-	-	-	-	-	1.30	
82	(1R*,2R*,8S*)-1,2- cis -1,8-trans-2,8- Dimethy l-1-[(E)-2-(2- nitrophen yl)ethenyl]-2-phenyl- 1,2-dihydroazeto[2,1- b]quinazoline	C ₂₆ H ₂₃ N ₃ O ₂	0.23	0.07	-	-	-		
83	Androst-4-en-3-one, 17-(acetyloxy)-19-[(methylthio)methoxy]- , (17 α)-	C ₂₇ H ₃₈ O ₃	-	-	-	-	-	0.93	
84	Lucenin 2	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	0.12	-	-	0.03	2.69		
85	24,25- Dihydroxychole calciferol	C ₂₇ H ₄₄ O ₃	0.31	0.85	-	-	-		
86	9,12,15- Octadecatrien oic acid, 2,3-bis[(trimethylsilyl oxy]propyl ester, (Z,Z,Z)	C ₂₇ H ₅₂ O ₄ Si ₂	-	0.69	-	0.01	-		
87	α -D-Glucopyranosidu ronic acid, 3-(5-ethylhexahydro- 2,4,6-trioxo-5-pyrimi diny)-1,1- dimethylpro pyl 2,3,4-tris-O-(trimethy lsilyl)-, methyl ester	C ₂₇ H ₅₂ N ₂ O ₁₀ Si ₃	-	-	-	0.05	-		
88	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, 2,3-bis[(trimethylsilyl oxy]propyl ester	C ₂₇ H ₅₄ O ₄ Si ₂	-	1.13	0.11	-	-		
89	10aH-2,12a-Methano -1H,4H-	C ₂₈ H ₄₀ O ₆	-	-	0.22	0.03	1.37	0.17	

	cyclopropa[5,6][1,3]dioxolo[2',3']cyclopenta[1',2':9,10]cyclodeca[1,2-d][1,3]dioxin-15-ol, 1a,2,7a,13,14,14a-hexahydro-1,1,6,6,9,9,11,13-octamethyl-, acetate, [1aR-(1aà,2à,7aà,7bR*,10aà,12aà,13à,14aà,15S*)]-							
90	1,3-Dioxolane-2-acetic acid, 2-methyl-	C ₂₉ H ₄₄ O ₄	-	-	-	-	0.94	
91	Stigmast-5-en-3-ol, (3à)-	C ₂₉ H ₅₀ O	0.77	1.81	0.24	0.14	-	0.57
92	3à-[(Methylmercurio)methyl]-5-vinyl-A,B-bisnor-5à-cholestane	C ₂₉ H ₅₀ Hg	-	-	-	-	0.28	
93	2,4-Octadienoic acid, 9a-(acetyloxy)-1a,1b,4,4a,5,7a,7b,8,9,9a-decahydro-4a,7b-dihydroxy-3-(hydroxymethyl)-1,1,6,8-tetramethyl-5-oxo-1H-cyclopropa[3,4]benz[1,2-e]azulen-9-yl ester, [1aR-[1aà,1bà,4aà,7aà,7bà,8à,9à(2Z,4E),9a]]-	C ₃₀ H ₄₀ O ₈	-	-	-	-	0.98	
94	9-Desoxo-9-oxi-hydroxy-3,7,8,9,12-pentaacetate ingol	C ₃₀ H ₄₂ O ₁₁	-	-	-	-	-	0.15
95	7aH-Cyclopenta[a]cyclopropa[f]cycloundecene-2,4,7,7a,10,11-hexol, 1,1a,2,3,4,4a,5,6,7,10,11,11a-dodecahydro-1,1,3,6,9-pentamethyl-, 2,4,7,10,11-pentaacetate	C ₃₀ H ₄₄ O ₁₁	-	0.11	-	-	-	
96	Betulin	C ₃₀ H ₅₀ O ₂	0.19	-	0.26	-	-	
97	R1-Barrigenol	C ₃₀ H ₅₀ O ₆	0.10	-	-	0.16	4.1	
98	METHYL	C ₃₁ H ₅₀ O ₃	-	9.77	0.26	-	-	

	COMMATE B							
99	Lup-20(29)-en-28-oic acid, 3-hydroxy-, methyl ester, (3â)	C ₃₁ H ₅₀ O ₃	-	0.14	-	-	-	
100	Androstan-17-ol, acetate, (5â,17â)-	C ₃₁ H ₅₀ O ₃	-	-	-	-	1.10	
101	METHYL COMMATE D	C ₃₁ H ₅₀ O ₄	0.31	-	-	0.08	-	
102	METHYL COMMATE C	C ₃₁ H ₅₀ O ₄	-	-	0.12	-	-	
103	Lupeyl acetate	C ₃₂ H ₅₂ O ₂	5.86	9.32	5.24	0.32	9.47	8.61
104	Stearic acid, 3-(octadecyloxy)propyl ester	C ₃₉ H ₇₈ O ₃	-	-	-	-	-	0.21
105	Astaxanthin	C ₄₀ H ₅₂ O ₄	-	0.18	-	--	-	
106	5-Hydroxy-2-heptanone	C ₇ H ₁₄ O ₂	-	-	1.05	-	-	

Tablo 4.11. 450°C’de elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları

No		Formül	Katalizörsüz	H ₃ BO ₃	NaOH	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	ZnCl ₂	K ₂ CO ₃
1	Phenol	C ₆ H ₆ O	--	--	-	2.26	-	
2	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	C ₆ H ₈ O ₂	2.67	3.03	1.11	1.36	2.31	1.51
3	3-methyl- Phenol	C ₇ H ₈ O	8.72	22.63	5.9	-	5.65	3.90
4	2-methyl, Phenol	C ₇ H ₈ O	-	-	-	3.57	2.70	2.06
5	2-methoxy, Phenol	C ₇ H ₈ O ₂	6.34	-	2.32	11.33	7.68	5.42
6	1,2-BENZENEDIOL, 3-METHOXY	C ₇ H ₈ O ₃	3.53	-	-	-	-	
7	1,2-diol 4-Methoxybenzene	C ₇ H ₈ O ₃	-	--	3.16	-	-	
8	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C ₇ H ₁₀ O				-	0.95	0.70
9	ETHYLCYCLOPENTENOLONE	C ₇ H ₁₀ O ₂	-	-	-	-	-	0.69
10	5-Hydroxy-2-heptanone	C ₇ H ₁₄ O ₂	-	1.51	-	-	-	
11	2,5-Diacetylfuran	C ₈ H ₈ O ₃	5.27	-	3.32	-	4.66	
12	3-Hydroxy-4-methoxy benzoic acid	C ₈ H ₈ O ₄	6.61	3.18	7.41	-	3.74	4.85
13	2,4-dimethyl Phenol	C ₈ H ₁₀ O	2.47	-	-	-	-	
14	3,5-dimethyl Phenol	C ₈ H ₁₀ O	1.69	1.93	3.68	3.83	3.26	1.49
15	3,4-dimethyl Phenol	C ₈ H ₁₀ O		2.81	-	-	-	2.01
16	2,3-dimethyl Phenol	C ₈ H ₁₀ O	-	-	-	-	-	2.01
17	2-Methoxy-4-methylphenol	C ₈ H ₁₀ O ₂	5.64	3.18	4.15	4.17	3.52	2.46
18	2-Methoxy-3-methylhydroquinone	C ₈ H ₁₀ O ₃	17.30	9.19	-	-	12.00	12.54

19	2,6-dimethoxy- Phenol,	C ₈ H ₁₀ O ₃	-	-	20.38	-	-	-
20	2,6-dimethoxy- Phenol,	C ₈ H ₁₀ O ₃	-	-	-	9.45	-	-
21	2-Methoxy-4-vinylphenol	C ₉ H ₁₀ O ₂	5.73	-	4.27	-	3.47	3.18
22	Benzaldehyde, 4-hydroxy-3,5-dimethoxy-	C ₉ H ₁₀ O ₄	1.95	-	-	-	-	-
23	4-ethyl-2-methoxy-Phenol,	C ₉ H ₁₂ O ₂	-	-	-	2.58	-	-
24	4-Methoxy-3-(methoxymethyl)phenol	C ₉ H ₁₂ O ₃	-	-	-	3.85	-	-
25	4-isopropenyl-5-methyl-4-hexen-1-ol	C ₉ H ₁₄ O ₂	-	1.92	-	-	-	5.35
26	1-(2-Amino-5-hydroxy-1H-indole-3-yl)ethanone	C ₁₀ H ₁₀ N ₂ O ₂	2.03	-	-	--	-	-
27	Cyclohexanone, 2-(2-butynyl	C ₁₀ H ₁₄ O	-	-	-	1.42	-	-
28	2,3,5-Trimethoxytoluene	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	6.67	4.71	-	-	-	-
29	N'-(5-Acetyl-6H-thiopyran-2-yl)-N,N-dimethylformamide	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₂ S	1.94	-	2.87	-	1.97	1.91
30	5-HYDROXY-2-DECENOIC ACID LACTONE	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	-	1.36	-	-	-	-
31	Ascaridole epoxide	C ₁₀ H ₁₆ O ₃	-	1.42	-	-	-	-
32	1-Heptanol, 2-propyl	C ₁₀ H ₂₂ O	-	-	0.90	-	-	-
33	2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl) Phenol,	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	2.99	-	-	-	1.65	1.91
34	1-(5-Pentyl-2-furyl)ethanol	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	-	-	11.10	-	-	6.06
35	6-Hydroxy-2,2,8-trimethyl-2H-chromene	C ₁₂ H ₁₄ O ₂	-	-	-	-	5.98	2.59
36	MOLYBDENUM, TETRAKIS(ü3-2-PROPENYL	C ₁₂ H ₂₀ Mo	-	-	-	-	-	0.37
37	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-DODECAMETHYL-HEXASILOXANE	C ₁₂ H ₃₈ O ₅ Si ₆	0.15	-	0.84	2.01	0.57	-
38	1-Ethynyl-1,2,3,4-tetrahydro-á-carboline	C ₁₃ H ₁₂ N ₂	-	1.28	2.69	-	-	-
39	1-(2-Methylphenyl)-3-aldoximido-2(1H)-pyridinethione	C ₁₃ H ₁₂ N ₂ O ₂ S	-	-	-	-	-	0.58
40	2-Allyl-5-tert-butylhydroquinone	C ₁₃ H ₁₈ O ₂	-	-	-	-	-	3.29
41	2-(4-Biphenyl)acetylene	C ₁₄ H ₁₀	-	0.54	-	-	-	-
42	1,3-bis(1,1-dimethyl-ethyl)- Benzene,	C ₁₄ H ₂₂	-	-	-	12.22	-	-
43	2,4-bis(1,1-dimethyl-ethyl) Phenol,	C ₁₄ H ₂₂ O	-	-	-	19.91	-	-
44	2,5-bis(1,1-dimethyl-ethyl	C ₁₄ H ₂₂ O	-	-	2.07	-	11.47	-

	hyl) Phenol,								
45	7á-acetyl-4áá-methyl-1 áá-decahydrocycloprop a[d]naphthalene	C ₁₄ H ₂₂ O	2.09	0.77	-	-	-	-	
46	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11, 11,13,13-TETRADE CAMETHYL-HEPT ASILOXANE	C ₁₄ H ₄₄ O ₆ Si ₇	-	-	-	-	-	0.90	
47	1,1'-BIPHENYL, 3,4-DIETHYL	C ₁₆ H ₁₈	-	-	-	-	-	0.94	
48	Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	3.25	7.65	5.78	5.78	5.67	3.06	
49	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11, 11,13,13,15,15-HEX ADECAMETHYLO CTASILOXANE	C ₁₆ H ₅₀ O ₇ Si ₈	0.49	0.32	1.62	0.19	-	-	
50	3-Ethyl-6,7-dihydroin dolo[2,3-a]quinolizin- 5(12H)-ium perchlorate	C ₁₇ H ₁₆ N ₂	-	-	-	-	-	-	6.14
51	Tetraneurin A	C ₁₇ H ₂₂ O ₆	-	0.64	-	-	-	-	
52	7,9-di-tert-butyl-1-ox aspiro[4.5]deca-6,9-d iene-2,8-dione	C ₁₇ H ₂₄ O ₃	-	-	0.28	-	-	-	
53	Dihydroxanthin	C ₁₇ H ₂₄ O ₅	-	-	-	-	-	0.08	
54	(3SR,4SR)-4-[(RS)-1 -Hydroxy-3-bentenyl] -1-(p-methoxyphenyl)- 3-(propenyl)-2-azetidi none methanesulfonate	C ₁₈ H ₂₃ NO ₅ S	-	2	-	-	-	-	
55	2-Methoxy-6,10-dime thyl-dodeca-2E,6Z,10 Z-trienoic acid, 12-acetoxy-, methyl ester	C ₁₈ H ₂₈ O ₅	-	-	-	-	-	1.67	
56	METHYL 7-ETHYL-10-HYDRO XY-11-HYDROXY(1 8O)-3,11-DIMETHY L-2,6-TRIDECADIE NOATE	C ₁₈ H ₃₂ O ₄	-	-	-	0.39	-	-	
57	Octadecanoic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	1.32	3.27	5.10	1.74	2.05	0.93	
58	3-(4-Fluorophenyl)-5- phenyl-4-(pyrimidin- 2-yl)isoxazole	C ₁₉ H ₁₆ FN ₃ O	-	-	-	-	-	-	1.77
59	Antirliine	C ₁₉ H ₂₄ N ₂ O	0.9	0.38	1.31	0.50	0.42	0.06	
60	12à-HYDROXYAND ROSTA-1,4-DIEN-3,1 7-DIONE	C ₁₉ H ₂₄ O ₃	-	-	-	0.17	-	-	
61	6,9-Octadecadienoic acid, methyl ester	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	0.51	-	-	--	-	-	
62	Effusanin E	C ₂₀ H ₂₈ O ₆	-	-	-	-	-	-	0.56
63	Eicosane	C ₂₀ H ₄₂	-	-	-	0.77	-	-	
64	Phenanthro[1,2-b]oxi rene-4-carboxylic acid, tetradecahydro-1b,9-d ihydroxy-4,7a-dimeth yl-9a-(1-methylethyl) -, methyl ester,	C ₂₁ H ₃₄ O ₅	-	-	-	-	-	0.47	

	[1ar-(1aà,1bá,3aá,4á,7aà,7bá,9á,9aà)							
65	3,18-Epoxyandrosta-5,7-dien-17-ol, 4,4-dimethyl-3-methoxy- (13á)	C ₂₂ H ₃₂ O ₃	-	-	0.13	-	-	
66	1b,4a-Epoxy-2H-cyclopenta[3,4]cyclopropa[8,9]cycloundec[1,2-b]oxiren-5(6H)-one, 7-(acetyloxy)decahydro-2,9,10-trihydroxy-3,6,8,8,10a-pentamethyl-	C ₂₂ H ₃₂ O ₈	-	-	-	-	-	1.41
67	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	-	-	-	-	-	11.14
68	Cyclopentanepentanoic acid, 2-(3-oxooctyl)-3,5-bis[(trimethylsilyl)oxy]-, methyl ester, [1R-(1à,2á,3à,5à)	C ₂₅ H ₅₀ O ₅ Si ₂	-	-	-	-	0.73	
69	Bis[6-dihydro-2,2,4-trimethylquinolyl]malononitrile	C ₂₇ H ₂₈ N ₄	0.1	-	-	0.54	-	
70	Lucenin 2	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	-	-	-	3.46	2.14	0.50
71	Androst-4-ene-3,20-dione	C ₂₇ H ₃₆ O ₈	-	-	0.26	-	-	
72	Spirost-8-en-11-one, 3-hydroxy-, (3á,5á,14á,20á,22á,25R)	C ₂₇ H ₄₀ O ₄	0.21	-	-	-	-	0.63
73	Cholan-24-oic acid, 3-(acetyloxy)-7,12-dioxo-, methyl ester, (3á,5á)	C ₂₇ H ₄₀ O ₆	-	0.58	-	-	-	
74	24,25-Dihydroxycholecalciferol	C ₂₇ H ₄₄ O ₃	-	-	-	-	0.40	
75	9,12,15-Octadecatrienoic acid, 2,3-bis(trimethylsilyloxy)propyl ester, (Z,Z,Z)-	C ₂₇ H ₅₂ O ₄ Si ₂	-	-	0.11	-	-	0.55
76	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, 2,3-bis(trimethylsilyloxy)propyl ester	C ₂₇ H ₅₄ O ₄ Si ₂	-	0.21	-	4.42	3.54	0.57
77	10aH-2,12a-Methano-1H,4H-cyclopropa[5,6][1,3]dioxolo[2',3']cyclopenta[1',2':9,10]cyclodeca[1,2-d][1,3]dioxin-15-ol, 1a,2,7a,13,14,14a-hexahydro-1,1,6,6,9,9,11,13-octamethyl-, acetate, [1aR-(1aà,2à,7aà,7bR*,10aà,12aà,13á,14aà)	C ₂₈ H ₄₀ O ₆	-	-	-	-	0.39	

	,15S*)							
78	Ergosterol	C ₂₈ H ₄₄ O	0.26	-	-	-	-	
79	STIGMAST-5-EN-3-OL, (3 α ,24S)-	C ₂₉ H ₅₀ O	0.55	2.5	-	-	-	
80	3 α -[(Methylmercurio)methyl]-5-vinyl-A,B-bisnor-5 α -cholestane	C ₂₉ H ₅₀ Hg	-	0.07	-	-	-	
81	2,6,10,14,18,22-Tetraacosahexaene, 2,6,10,15,19,23-hexamethyl-, (all-E)-, didehydro deriv.	C ₃₀ H ₄₈	0.09	-	-	-	-	
82	2,4-Octadienoic acid, 9 α -(acetyloxy)-1 α ,1 β ,4,4 α ,5,7 α ,7 β ,8,9,9 α -decahydro-4 α ,7 β -dihydroxy-3-(hydroxymethyl)-1,1,6,8-tetramethyl-5-oxo-1H-cyclopropa[3,4]benz[1,2-e]azulen-9-yl ester, [1 α R-[1 α α ,1 β α ,4 α α ,7 α α ,7 β α ,8 α ,9 α (2Z,4E),9 α α]]	C ₃₀ H ₄₀ O ₈	-	-	0.51	-	-	
83	7 α H-Cyclopenta[a]cyclopropa[f]cycloundecene-2,4,7,7 α ,10,11-hexol, 1,1 α ,2,3,4,4 α ,5,6,7,10,11,11 α -dodecahydro-1,1,3,6,9-pentamethyl-, 2,4,7,10,11-pentaacetate	C ₃₀ H ₄₄ O ₁₁	-	-	-	-	0.20	
84	GERMANICOL - CIN	C ₃₀ H ₅₀ O	-	2.30	-	-	1.03	
85	R1-Barrigenol	C ₃₀ H ₅₀ O ₆	-	-	-	-	2.76	
86	Pregnane-3,11,20-trione, (5 α)-	C ₃₁ H ₅₀ O ₃	0.40	1.21	-	0.15	-	0.85
87	METHYL COMMATE B	C ₃₁ H ₅₀ O ₃	-	2.5	-	-	-	
88	Lup-20(29)-en-28-oic acid, 3-hydroxy-, methyl ester, (3 α)	C ₃₁ H ₅₀ O ₃	-	-	1.65	-	-	
89	3 α -Acetoxy-swerta-7,9(11)-diene	C ₃₂ H ₅₀ O ₂	0.18	-	-	-	-	
90	Lupeyl acetate	C ₃₂ H ₅₂ O ₂	8.95	16.94	2.73	2.87	5.01	8.64
91	Dotriacontane	C ₃₂ H ₆₆	-	-	-	1.04	-	
92	Stearic acid, 3-(octadecyloxy)propyl ester (C ₃₉ H ₇₈ O ₃	-	-	0.60	-	-	

Tablo 4.12. 550°C’de elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları

No								
		Formül	Katalizörsüz	H ₃ BO ₃	NaOH	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	ZnCl ₂	K ₂ CO ₃
1	2-Cyclopenten -1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	C ₆ H ₈ O ₂	2.30	-	2.11	3.44	2.02	1.54
2	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃	-	-	-	0.18		-
3	3-methyl Phenol,	C ₇ H ₈ O	6.56	-	6.81	-	4.85	3.04
4	2-methoxy Phenol,	C ₇ H ₈ O ₂	7.90	13.51	7.89	20.32	8.47	6.29
5	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	C ₇ H ₁₀ O	0.94	-	-	1.83		-
6	ETHYLCYCLOPENTENOLONE	C ₇ H ₁₀ O ₂	-	-	0.97	-		0.83
7	5-Hydroxy-2-heptanone	C ₇ H ₁₄ O ₂	-	-	0.95	-	0.77	0.85
8	3,5-dimethyl Phenol,	C ₈ H ₁₀ O	3.43	-	1.53			
9	2-Methoxy-4-methylphenol	C ₈ H ₁₀ O ₂	2.73	-	2.34	7.45	3.38	1.49
10	2,5-Diacetyl furan	C ₈ H ₈ O ₃	-	-	3.75	-		-
11	3-Hydroxy-4-methoxy benzoic acid	C ₈ H ₈ O ₄	-	-	6.97	-	4.81	-
12	3-dimethyl Phenol,	C ₈ H ₁₀ O	-	-	4.16	-		-
13	2,6-dimethoxy Phenol,	C ₈ H ₁₀ O ₃	16.80	-	-	-		15.44
14	2-Methoxy-3-methylhydroquinone	C ₈ H ₁₀ O ₃	-	-	20.81	16.74	10.83	-
15	4-Acetyl-1,3,5-trimethylpyrazole	C ₈ H ₁₂ N ₂ O	-	-	-	-	3.98	-
16	2-Methoxy-4-vinylphenol	C ₉ H ₁₀ O ₂	4.84	-	4.41	4.73		3.27
17	4-ethyl-2-methoxyphenol,	C ₉ H ₁₂ O ₂	-	-	-	-		2.15
18	5-ACETOXY-3,4-DIMETHYL-2-CYCLOPENTEN-1-ONE	C ₉ H ₁₂ O ₃	-	-	-	-		1.77
19	Bicyclo[2.2.1]heptane-1,2-dicarboxylic acid	C ₉ H ₁₂ O ₄	-	-	-	-		2.20
20	4-isopropenyl-5-methyl-4-hexen-1-al	C ₉ H ₁₄ O ₂	7.09	-	-	4.41		-
21	1-(2-Amino-5-hydroxy-1H-indole-3-yl)ethanone	C ₁₀ H ₁₀ N ₂ O ₂	-	-	-	-	2.73	-
22	2-Allyl-6-methoxyphenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	-	9.38	-	-		-
23	2-methoxy-4-(1-propenyl), Phenol,	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	7.15	-	-	-		5.32
24	N'-(5-Acetyl-6H-thio	C ₁₀ H ₁₄ N ₂	2.21	-	1.51	-		-

	pyran-2-yl)-N,N-dime thylformamidine	OS						
25	2,3,5-Trimethoxytolu ene	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	8.20	-	7.73	-		6.09
26	1,7-Dimethyl- 4,4a,5,6- -tetrahydropyrido- 1H- [1,2-b]pyridazin-2(3 H)-one	C ₁₀ H ₁₆ N ₂ O	-	-	4.65	-		-
27	Ascaridole	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	3.79	-	1.52	-		-
28	Ascaridole epoxide	C ₁₀ H ₁₆ O ₃	-		-	-	2.42	-
29	p-Menth-4(8)-en-9-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	-	-	2.67	-		-
30	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2- pr openyl)	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	4.58	-	4.17	2.76		5.36
31	1,4-Dimethoxy-2,3,6- trimethylbenzene	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	3.81	-		-		-
32	(1,1-dimethylethyl)-4 -methoxy Phenol,	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	-		-	-		1.70
33	1-(5-Pentyl-2-furyl)et han-1-ol	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	-	8.01	-	-		-
34	(S)-2- Benzyloxycarbo nylaminobutane-1-sul fonyl chloride	C ₁₂ H ₁₆ C ₁ NO ₄ S	-		-	-	1.75	-
35	MOLYBDENUM, TETRAKIS(ü3-2- PRO PENYL)-	C ₁₂ H ₂₀ M o	-		-	-		0.63
36	5,7-Octadien-3-ol, 2,4,4,7-tetramethyl-, (E)-	C ₁₂ H ₂₂ O	-		-	-	0.71	-
37	á-D-Xylofuranose, 1,2-bis-O- (trimethylsil yl)-, cyclic methylboronate	C ₁₂ H ₂₇ B O ₅ Si ₂	-	0.19	-	-		-
38	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11, 11-DODECAMETH YL- HEXASILOXANE	C ₁₂ H ₃₈ O ₅ Si ₆	-	1.11	-	0.28		0.23
39	1-Ethynyl-1,2,3,4-tetr ahydro-á-carboline	C ₁₃ H ₁₂ N ₂	2.43	-	2.57	-		-
40	Naphthalene, 2,3,6-trimethyl-	C ₁₃ H ₁₄	-	2.21	-	-		-
41	2-(4- Biphenyl)acety lene	C ₁₄ H ₁₀	-	1.51	-	-		-
42	1,1'-Biphenyl, 2,2'-dimethyl-6,6'- dini tro-	C ₁₄ H ₁₂ N ₂ O ₄	-	-	0.07	-		--
43	7á-acetyl-4aá-methyl- 1 aá- decahydrocycloprop	C ₁₄ H ₂₂ O					10.73	-

	a[d]naphthalene							
44	1'-O-Acetylsucrose	C ₁₄ H ₂₄ O ₁₂	-	0.71	-	-		-
45	2-[5-(2-Hydroxypropyl)-tetrahydrofuran-2-yl]-propionic acid, t-butyl este	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	-	5.00	-	-		
46	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13-TETRADECAMETHYL-HEPTASILOXANE	C ₁₄ H ₄₄ O ₆ Si ₇	0.12	-	-	-	1.76	
47	4a,10a-Methanophenanthren-9á-ol, 11-syn-bromo-1,2,3,4,9,10-hexahydro-	C ₁₅ H ₁₇ BrO	-		-	-	1.34	-
48	Benzothieno[2,3-d]azepino[1,2-a]pyrimidin-5-one, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-decahydro-	C ₁₅ H ₁₈ N ₂ OS	-		-	-		1.18
49	d-Xylitol, pentaacetate	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₀	-		-	0.60		0.54
50	Arabinitol, Pentaacetate	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₀	-		-	0.85		-
51	4-Methoxy-7H-pyrido[2,3,4-k]acridine	C ₁₆ H ₁₂ N ₂ O	-		-	-		13.79
52	2,2-Dimethyl-4-(1'-methyl-2'-propenyl)-3-phenyl-2,5-dihydrofuran	C ₁₆ H ₂₀ O	-		-	-		1.40
53	Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	2.14	10.97	0.85	2.21	5.12	1.55
54	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15-HEXADECAMETHYLOCTASILOXANE	C ₁₆ H ₅₀ O ₇ Si ₈	-	1.38	0.18	3.31	1.13	0.40
55	6-Amino-5-cyano-4-(5-cyano-2,4-dimethyl-1H-pyrrol-3-yl)-2-methyl-4H-pyran-3-carboxylic acid ethyl ester	C ₁₇ H ₁₈ N ₄ O ₃	-		-	-		0.70
56	Naphtalene-1,3-dicarbonitrile, 5,6,7,8-tetrahydro-2-hydroxy-4-phenyl-	C ₁₈ H ₁₄ N ₂ O	-		-	-		0.59
57	(3SR,4SR)-4-[(RS)-1-Hydroxy-3-bentenyl]-1-(p-methoxyphenyl)-3-(propenyl)-2-	C ₁₈ H ₂₃ NO ₅ S	0.45	14.41	-	-	6.1	-

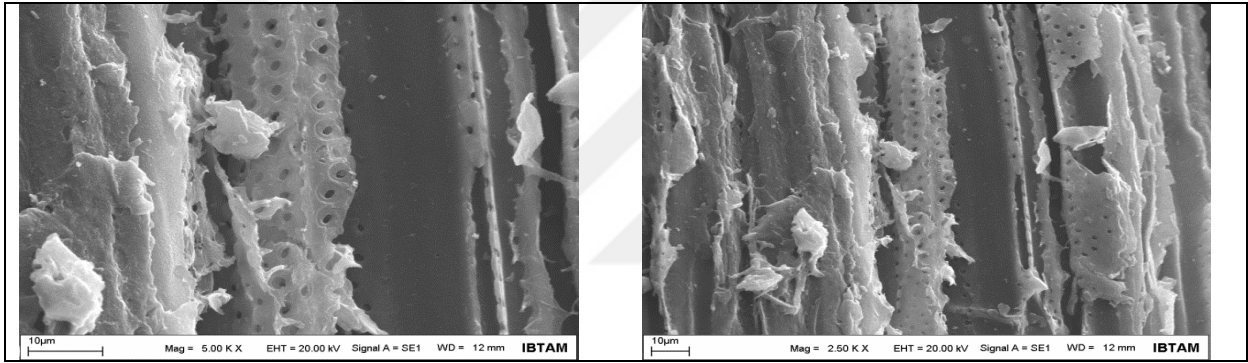
	azetidinone methanesulfonate							
57	Hexadecanoic acid, 14-methyl-, methyl Ester	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	-		-	-	1.70	-
58	Octadecanoic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	1.23	3.32	-	1.15		0.84
59	Anhydro 6-(4-Methylphenyl)aminopyrido[1,2-d]quinazolin-7-ium hydroxide	C ₁₉ H ₁₅ N ₃	-		-	-		0.98
60	3-(4-Fluorophenyl)-5-phenyl-4-(pyrimidin-2-yl)isoxazole	C ₁₉ H ₁₆ FN ₃ O	-		-	-		2.51
61	Antiriline	C ₁₉ H ₂₄ N ₂ O	0.23	-	0.85	0.19		-
62	1-Ethynyl-1,2,3,4-tetrahydro- α -carboline	C ₁₉ H ₂₄ O ₂	-	-	0.68	-		-
63	Phenanthrene, 1,2,3,4,4a,9,10,10a-octahydro-1,1,4a-trimethyl-7-(1-methylethyl)-, (4aS-trans)	C ₂₀ H ₃₀	1.33	-	-	-		-
64	Androstan-17-one, 3-ethyl-3-hydroxy-, (5 α)-	C ₂₁ H ₃₄ O ₂	0.34		-	-		-
65	Methyl 5,7-bis(O-benzyl)-2,3-dideoxy-D-xylo-hept-2-enonate	C ₂₂ H ₂₈ O ₆	-	0.37	-	-		-
66	18-3-Epoxyandrosta-5,,7-dien-17-one, 4,4-dimethyl-3 α -methoxy- (10 α ,13 α)	C ₂₂ H ₃₀ O ₃	-	0.72	-	-		-
67	Pregn-5-ene-3,20-diol-1-carboxylic acid, 3-acetate-18,20-lactone	C ₂₃ H ₃₂ O ₄	-		-	-		2.08
68	Hydrocortisone Acetate	C ₂₃ H ₃₂ O ₆	0.10		-	-		-
69	Cyclopentanepentanoic acid, 2-(3-oxooctyl)-3,5-bis[(trimethylsilyl)oxy]-, methyl ester, [1R-(1 α ,2 α ,3 α ,5 α)]-	C ₂₅ H ₅₀ O ₅ Si ₂	-		-	0.85	1.86	-
70	Lucenin 2	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	0.82		-	-		-
71	Cholan-24-oic acid, 3-(acetyloxy)-7,12-di	C ₂₇ H ₄₀ O ₆	-		-	-	1.25	-

	oxo-, methyl ester, (3à,5à)-							
72	24,25-Dihydroxychole Calciferol	C ₂₇ H ₄₄ O ₃	0.52	-	-	0.72		0.69
73	9,12,15-Octadecatrien oic acid, 2,3-bis[(trimethylsilyl oxy]propyl ester, (Z,Z,Z	C ₂₇ H ₅₂ O ₄ Si ₂	-	-	0.48	-		-
74	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, 2,3-bis[(trimethylsilyl oxy]propyl ester	C ₂₇ H ₅₄ O ₄ Si ₂	-	1.93	-	-		-
75	10aH-2,12a-Methano -1H,4H- cyclopropa[5, 6][1,3]dioxolo[2',3']c y clopenta[1',2':9,10]cy clodeca[1,2-d][1,3]di oxin-15-ol, 1a,2,7a,13,14,14a-he xahydro-1,1,6,6,9,9,1 1,13-octamethyl-, acetate, [1aR-(1aà,2à,7aà,7bR *,10aà,12aà,13à,14aà ,15S*)	C ₂₈ H ₄₀ O ₆	0.33	-	-	-		-
76	Stigmast-5-en-3-ol, (3à	C ₂₉ H ₅₀ O	-	5.98	-	-		-
77	A-Neoleana-3(5),12 -diene	C ₃₀ H ₄₈	-	3.11	-	-		-
78	Anodendroside E1	C ₃₀ H ₄₀ O ₁ 1	-		-	-		0.76
79	GERMANICOL – CIN	C ₃₀ H ₅₀ O	0.81	5.51	-	1.16		-
80	Taraxasterol	C ₃₀ H ₅₀ O	-		-	-	1.35	-
81	Betulin	C ₃₀ H ₅₀ O ₂	-	3.18	-	-		-
82	2-Picenol, 4,4,6a,6b,8a,11,11,14 b -octamethylperhydro	C ₃₀ H ₅₂ O	-		-	-		3.96
83	Pregnane-3,11,20-trio ne, (5à)-	C ₃₁ H ₅₀ O ₃	-	-	0.38	-	2.23	-
84	METHYL COMMATE D	C ₃₁ H ₅₀ O ₄	-	-	2.65	-		-
85	Lupa-13(18),22-dien- 3-ol, acetate	C ₃₂ H ₅₀ O ₂	-	-	1.03	-		-
86	Lupeyl acetate	C ₃₂ H ₅₂ O ₂	5.71	20.69	5.32	4.58	13.83	6.34
87	Urs-12-ene-3à,11à-di ol, diacetate	C ₃₄ H ₅₄ O ₄	0.29	-	-	-		-
88	Astaxanthin	C ₄₀ H ₅₂ O ₄	0.39	-	-	-		-

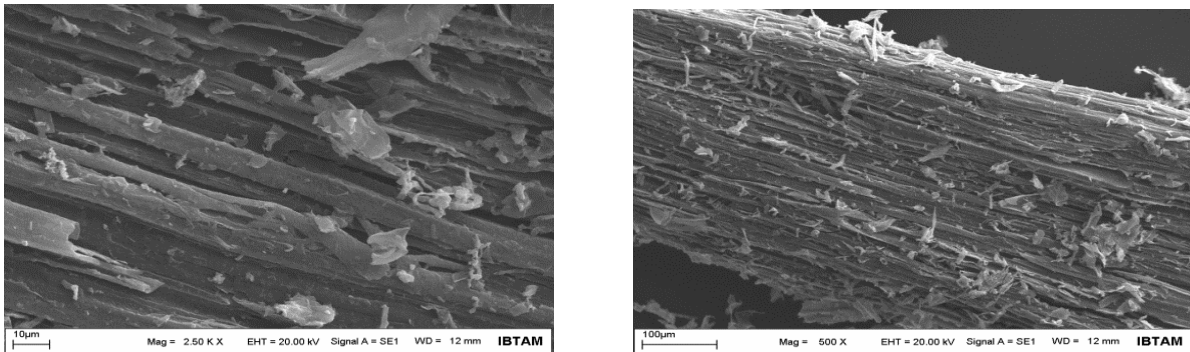
Sıvılaştırma prosesinde elde edilen biyoyağlar içerisinde çok sayıda C, H, O, N, F, S, Si içeren bileşik mevcuttur. Sıvılaştırma prosesinde aseton ile yapılan denemelerde elde edilen biyoyağ içerisinde 6-40 (C₆-C₄₀) karbonlu bileşikler mevcuttur. Elde edilen bileşiklerin büyük bölümünde O ve N bulunmaktadır. Elde edilen biyoyağ içerisinde yer alan bileşiklerden 350, 450 ve 550 C° de sırasıyla en yüksek karbon sayısına sahip bileşikler C₄₀H₅₂O₄, C₃₉H₇₈O₃, C₄₀H₅₂O₄ 'dir. En düşük karbon sayılı bileşikler ise C₆H₈O₂, C₆H₆O, C₆H₈O₂'dir.

4.3. Sem Analizleri

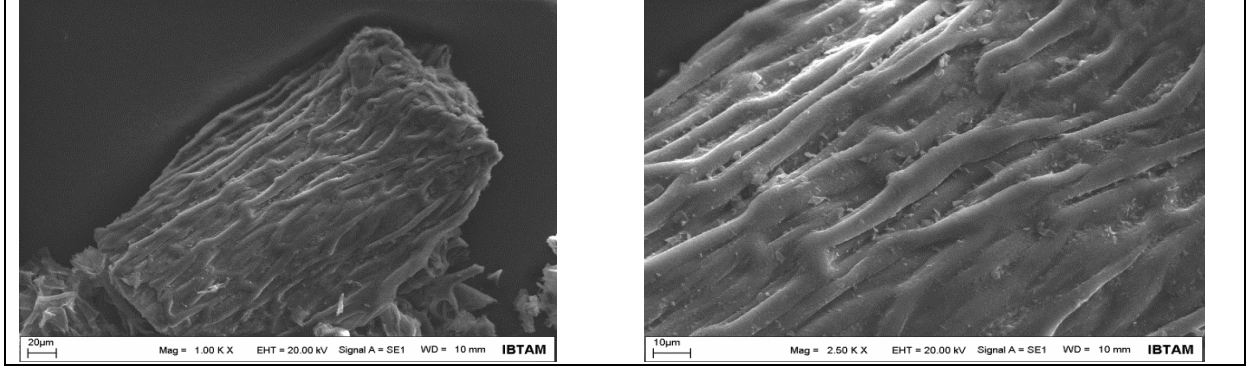
4.3.1. 550 °C'de Katı Numunelerin Sem Görüntüsü



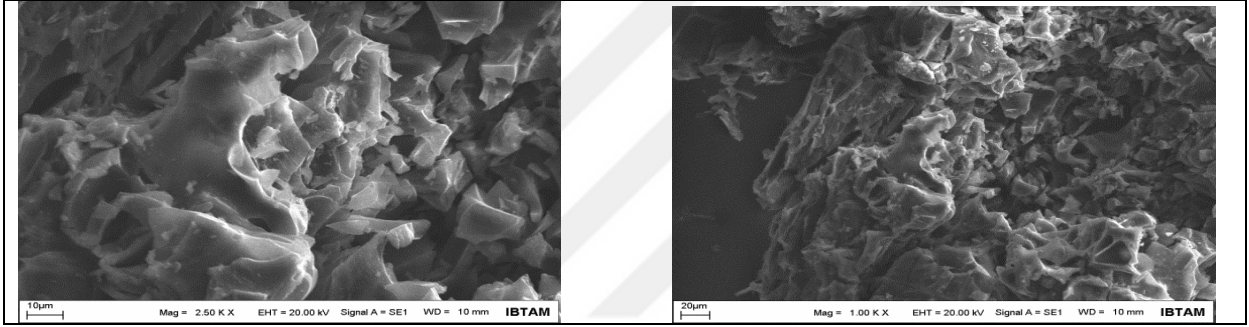
Şekil 4.5. Saf numune sem görüntüsü



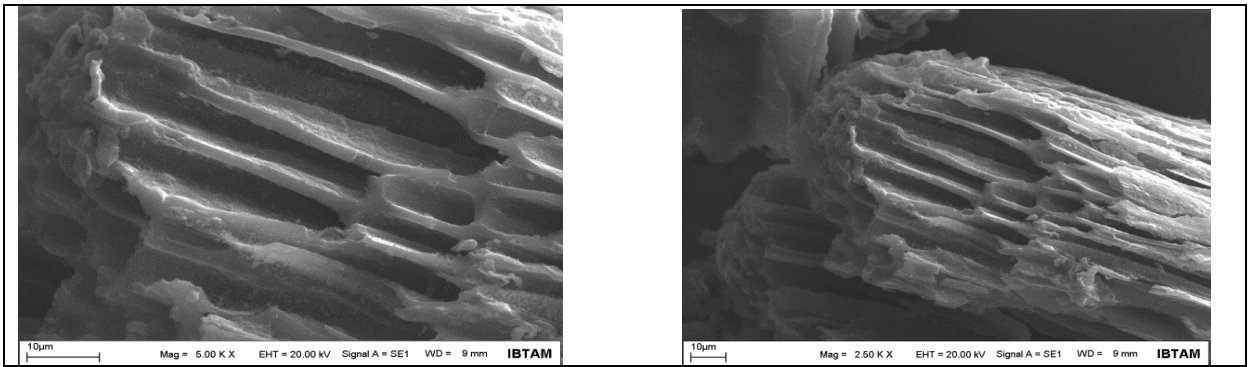
Şekil 4.6. Katalizörsüz 550 °C'de SEM görüntüsü



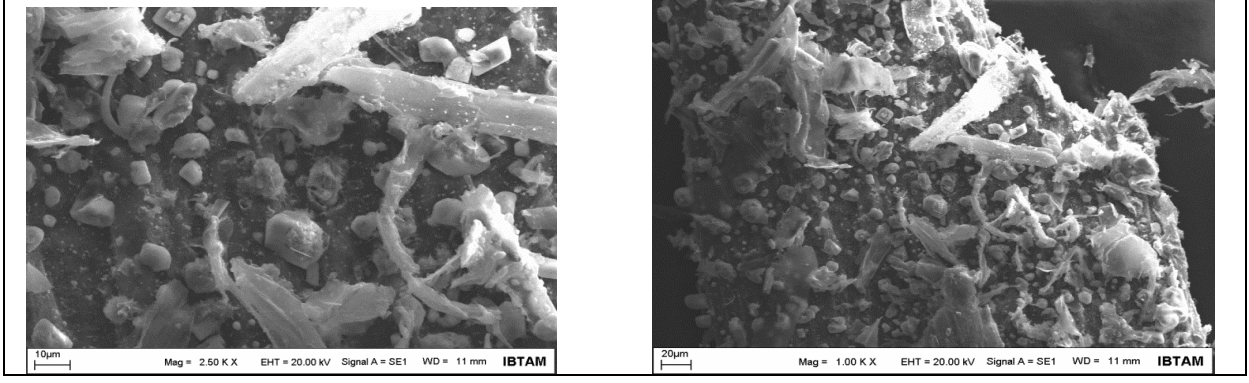
Şekil 4.7. Sodyum hidroksit katalizörlüğünde 550 °C’de SEM görüntüsü



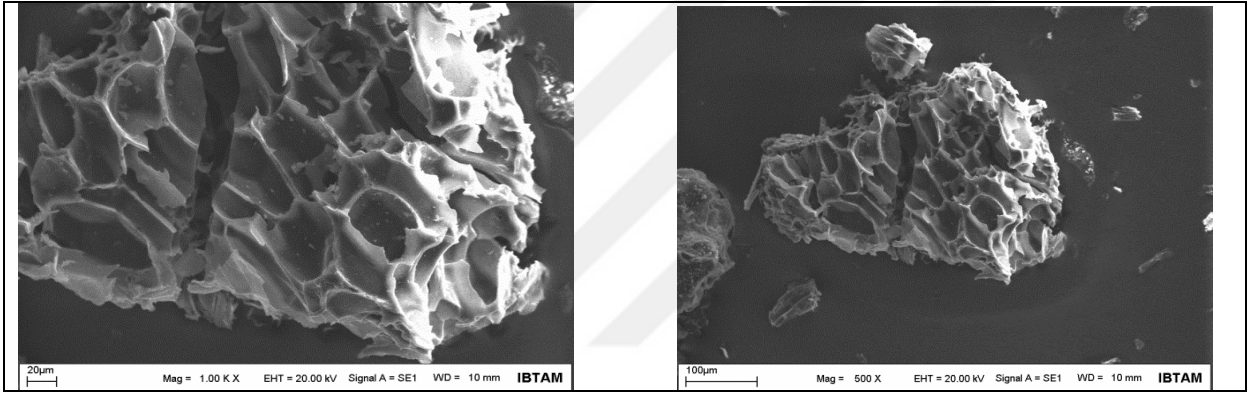
Şekil 4.8. Borik asit katalizörlüğünde 550 °C’de SEM görüntüsü



Şekil 4.9. Di sodyum tetraborat katalizörlüğünde 550 °C’de SEM görüntüsü



Şekil 4.10. Çinkoklorür katalizörlüğünde 550 °C’de SEM görüntüsü



Şekil 4.11 Potasyum karbonat katalizörlüğünde 550 °C’de SEM görüntüsü

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada *Lactuca Scariola* biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Bu hammaddeden maksimum katı,sıvı ve gaz ürün elde edebilmek amacı ile piroliz parametrelerinin etkisini araştırmak üzere piroliz işlemleri üç farklı sıcaklıkta yürütülmüştür. (350°-450°-550°) Yapılan deneylerde biyokütlenin piroliz sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ortalama parçacık boyutundaki hammaddeler belirli bir azot akış hızı, 300°C/dak ısıtma hızında, 350, 450, 550 °C piroliz sıcaklıklarında pirolizlenmiştir.Farklı piroliz sıcaklıklarında termal ve katalitik pirolizleri gerçekleştirilmiştir. Piroliz sonucu elde edilen sıvı ve katı ürünlerin kimyasal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre düşük sıcaklıkta, düşük piroliz verimi sağlanmış olup, sıcaklık yükseldikçe piroliz verimi de kademeli olarak artmış, dolayısı ile katı ürün verimi azalmıştır. Sıvı ürün verimi ise orta sıcaklıklarda (550°C) maksimum seviyesine ulaşmıştır. Piroliz ürün verimlerini sıcaklık etkilemektedir. Piroliz deneylerinde sıcaklık artışıyla birlikte tüm biyokütle kaynaklarından elde edilen sıvı ve gaz ürün veriminin arttığı, katı ürün veriminin ise azaldığı belirlenmiştir.

Bu tür çalışmalar, endüstriyel değeri olmayan diğer atık biyokütleleri kapsayacak şekilde genişletilerek sürdürülmelidir. Ayrıca, gerekli fizibilite çalışması yapılarak endüstriyel boyutta bir reaktörde farklı katalizörler ve farklı biyokütle kaynakları kullanılarak araştırmalar yapılmalıdır. Bu çalışmada, Türkiye'nin giderek artan enerji ihtiyacının karşılanması ve bu anlamda dışa olan bağımlılığın azaltılması amacıyla fosil yakıtlara alternatif sağlayacak, enerji açısından verimli, çevresel performans açısından ise doğa dostu yakıt teknolojilerinin girdisini oluşturacak, kolay ulaşılabilmesinin yanı sıra tabiatta bol miktarda var olan ve değerlendirilmeden atıl kalmaya terk edilmiş veya sahip olması gereken ilgiyi görememiş biyokütlelerin piroliz özellikleri incelenerek yakılmaları veya gazlaştırılmaları durumunda enerji üretim sistemleri için teknik veri sağlayacak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin bu alanda mevcut veya gelecekte uygulanabilecek çalışmalara ışık tutacağı ve teoride kalmayıp pratikte de hayata geçirilebileceği düşünülmektedir. Gazlaştırıcıların ve yakıcıların özellikle kritik sıcaklık parametreleri veya uçucu madde salınımları bakımından elde edilen veriler sistem tasarımlarında ışık tutacak niteliktedir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan biyokütle potansiyelinin değerlendirilmesi üzerine daha sonra yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

- Açıkgöz ve ark., (2004) Açıkgöz, C., Onay, O. ve Kockar, O.M.,2004. Fast pyrolysis of linseed: product yields and compositions, J. Anal. Appl. Pyrolysis,71,402-429.
- Adam ve ark., (2005) Adam J, B.M.ve Me'sza'ros, E., 2005. Pyrolysis of biomass in the presence of Al-MCM- 41 type catalysts. Fuel, 84,494–502.
- Akgün, H. C.,(2005) *Anadolu kestanesi odununun kimyasal bileşimi ve kağıt yapımına uygunluğu*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 12-74
- Aksoğan Korkmaz A., (2007) *Şırnak asfaltının piroliz özelliklerinin termal analiz yöntemiyle belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Alma, M.H., Yoshioka, M., YAO, Y., SHIRAISHI, N. (1995). *Some characterizations of hydrochloric acid catalyzed phenolated wood-based materials*. Mokuzai Gakkaishi, 41 (8):741-748.
- Angın D. (2005)., *Aspir (Charthamus tinctorius L.) tohumu pres küspesinin alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi* (doktora tezi), Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir,
- Anonim, (2006). TMMOB Enerji Raporu. Ankara, 122s.
- Anonim b, (2013), *Youth for habitat biyokütle kaynaklarında kullanılan çevrim teknikleri, elde edilyakıtlar ve uygulama alanları*,Url: <http://youthforhab.org.tr>
- Anonim, (2013), 29 Aralık 2013 sayısı. URL1 ; www.eie.gov.tr/yenilenebilir_enerji

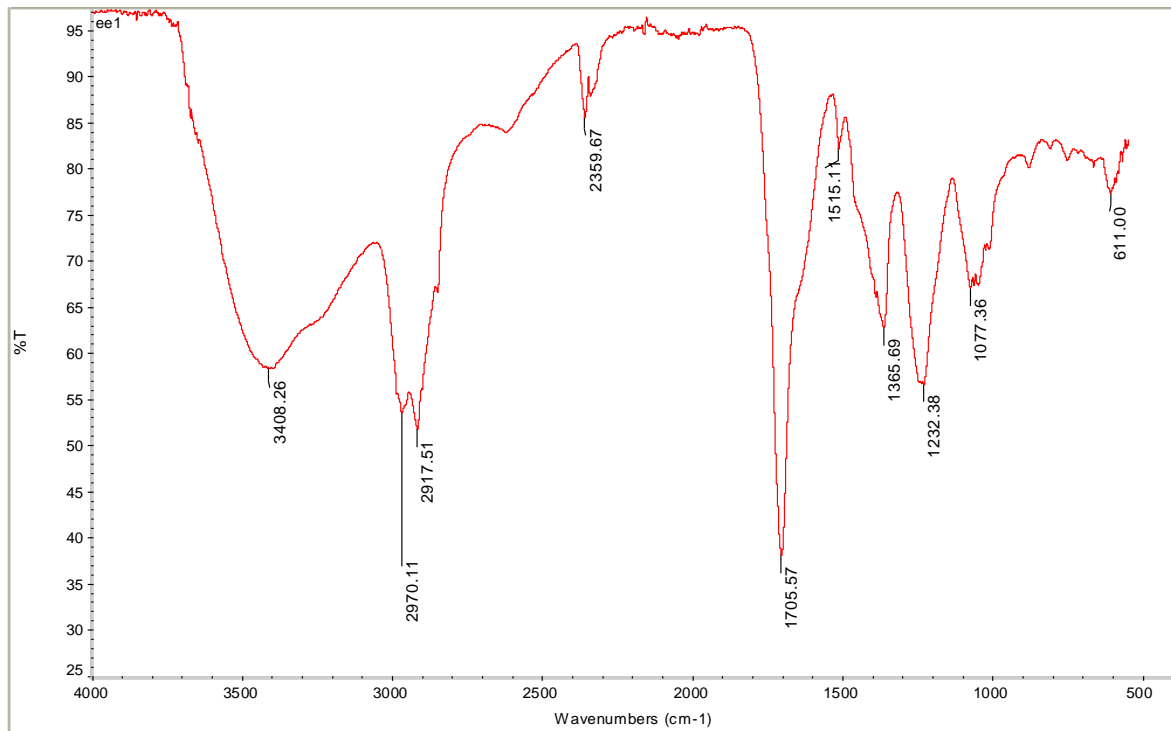
- Anonim,(1998). *Tappi test methods*. *tappi press, Atlanta, Georgia.*, TMMOB Enerji Raporu 2006. Ankara, 122s.
- Antal, M.J. (1983). *Biomass pyrolysis: a review of the literature part 1- carbohydrate pyrolysis* (K. W. Boer and J. A. Duffie editor). *Advances in Solar Energy*, New York, s. 61-109.
- Arno P., (1989) *Thermal Degradation, Concise encyclopedia of wood & wood-based materials*, Schneiwind.
- Aysu T., Durak H., (2015) *Catalytic pyrolysis of liquorice (Glycyrrhiza glabra L. in a fixed-bed reactor: Effects of pyrolysis parameters on product yields and character*, *journal of analytical and applied pyrolysis*, vol.111, pp.156-172,
- Basu, P., (2010) *Biomass gasification and pyrolysis practical design and theory*, Academic Press is an imprint of Elsevier, USA, 75-78
- Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, (2012). *Biyokütle sektör raporu* , Baka, Antalya, Eylül
- Benedict, M. Pigford T. H., Levi H.W (1981), *nuclear chemical engineering*, McGraw-Hill Book Company, Second Edition, USA
- Bridgwater, A. V. (2004) *Biomass fast pyrolysis*, *Thermal Science*, 8 (2): 21-49
- Bridgwater, T., (2006) *Review biomass for energy, journal of the science of food and agriculture*, 86,1755-1768.
- Bridgwater, T., A.V. (1990). *Biomass pyrolysis technology, Biomass for energy and industry* (G. Grassi. G. Gosse and G. Dos Santos editors). 5th E.C. Conference, Elsevier Applied. Sci., London and New York, 2, s. 489-496.
- Chemical Engineering Journal *Renewable Fuels and chemicals by thermal processing of biomass.*, 91 (2-3):87-102.
- Chemical Engineering Journal, (2003). *Renewable Fuels and chemicals by thermal processing of biomass.* 91 (2-3):87-102

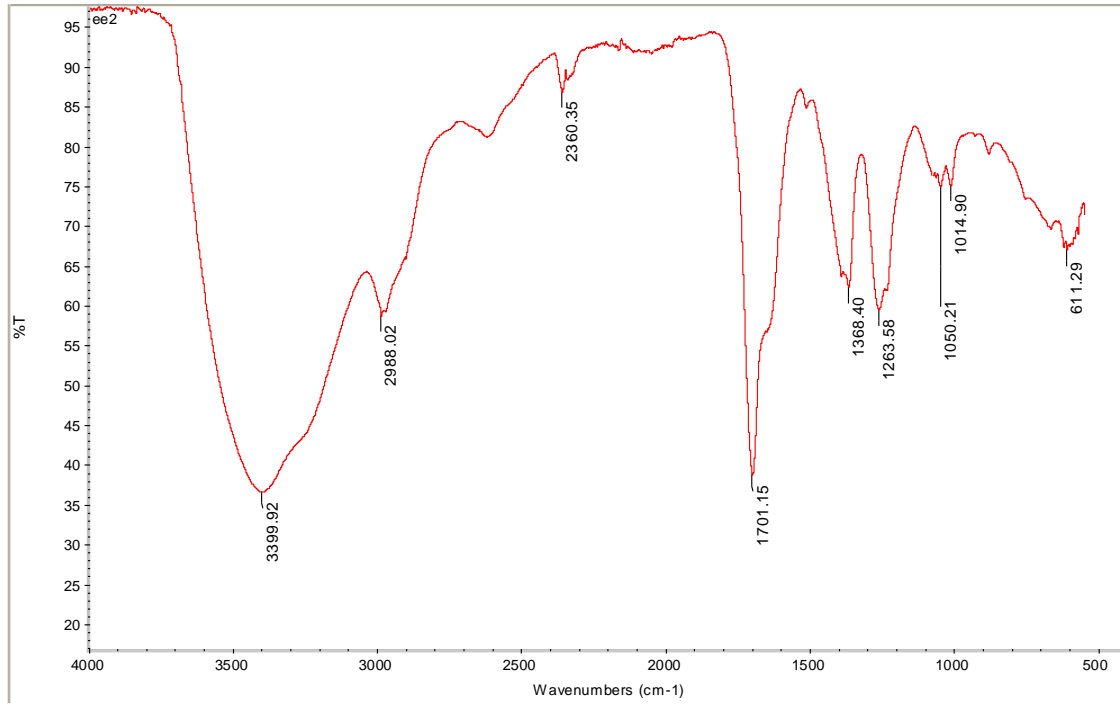
- Chen, M., Wang, J., Zhang, M., Chen, M., Zhu, X., Min, F. and Tan, Z., (2008). *Catalytic effects of eight inorganic additives on pyrolysis of pine wood sawdust by microwave heating*, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 82 (1): 145-150.
- Demirbaş, Cemek M., Küçük M., 2006 *Supercritical fluid extraction of verbascum stalk, energy conversion and management*, 42, 125-130, (2001).
- Durak H., Aysu T. (2008). *Effect of pyrolysis temperature and catalyst on production of bio-oil and bio-char from avocado seeds*, research on chemical intermediates vol.41, pp.8067-8097,
- Durak H., (2016) *Pyrolysis of Xanthium strumarium in a fixed bed reactor: Effects of boron catalysts and pyrolysis parameters on product yields and character. Energy sources part a-recovery utilization and environmental effects*, vol.38, pp.1400-1409,
- Duzenli, D. (2002) *Yenilenebilir enerji kaynağı olarak defne (Laurus Nobilis L.) çekirdeğinden Sıvı Yakıt üretimi*. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 127s
- Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı, (2012) *2011 yılı enerji dengesi*, son erişim tarihi: 19.12.2012. Url; <http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI>
- Engineering Journal (2013), *renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass*. Chemical, 91 (2-3):87-102.
- Eroğlu, H. ve Usta, M. (2000)., *Lif levha üretim teknolojisi*, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon, 30-34,
- Fagbemi, L., Khezami, L. ve Capart, R.,(2001) *Pyrolysis products from different biomasses*, applied energy, 69 ,293-306.
- Goyal, H. B., Seal, D. and Saxena, R. C, (2008). *Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 (2): 504-517

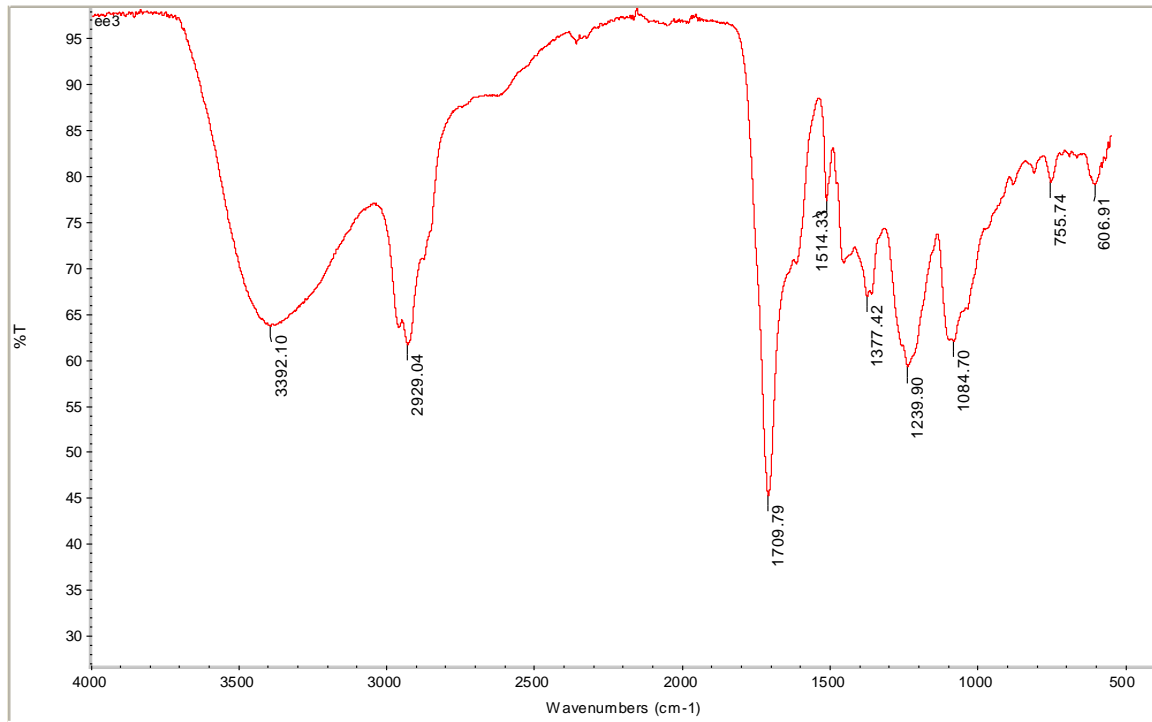
- Goyal, H. B., Seal, D. and Saxena, R. C, (2008). *Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 (2): 504-517
- Goyal, H.B., Seal, D. Saxsena, R.C., (2008).. *Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review, renewable and sustainable energy reviews*, 504-517.
- Harker, J.H. Backhurst, J.R.,(1981) *Fuel and energy*, London, Academic, Press,
- He ve ark. (2009) He R., Ye XP., English BC., Satrio JA., *Influence of pyrolysis condition on switchgrass bio-oil yield and physicochemical properties, bioresource technology*, 100, 5305-5311,
- İstanbul Ticaret Üniversitesi (2010) Cilt:9 Sayı:18 Güz Fen Bilimleri Dergisi Makale Koleksiyonu, URL <http://hdl.handle.net/11467/476>
- K.Q Tran. X. Luo G.Seisenbaeva R. (2013) Jirjis. *Stump torrefaction for bioenergy application*. Appl. Energy sy. 112, 539-546
- Karaosmanoglu, F. (2003). *Türkiye enerji profili ve hidrojen* (F.Karaosmanoğlu, M. Cetinkaya, E. Orkun editorler). II. Hidrojen Kongresi, Ankara, s. 25-40.
- Karaosmanoglu, F., TETDK, E.(1999). *Charcoal from the pyrolysis of rapeseed plant straw-stalk*. Energy Sources, 21:503-510.
- Kırcı, H. (2003). *Kağıt hamuru endüstrisi ders notları*. 2. Baskı. KTU, Orman Fakültesi, Yayın no:72, Trabzon, 291s.
- Kırcı, H., (2000) *Kağıt hamuru endüstrisi ders notları*, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon, 6-80.
- Koç, E., Kaplan, E. (2008) *Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu-II Türkiye değerlendirmesi*. Termodinamik Dergisi, sayı:188, s.106-118.
- Koç, E., Kaplan, E. (2008) *Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu-I dünya değerlendirmesi*. Termodinamik Dergisi, sayı: 187, s.70-8

- Koçer, N. N., Ünlü, A., (2007). *Doğu Anadolu bölgesinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi* , Doğu Aandolu Bölgesi Araştırmaları, 175-181
- Küçük ve ark. (2003),. Ağırtaş S., Küçük MM., *Liquefaction of phragmites australis by supercritical gas extraction, bioresource Technology*, 69, 141-143.
- Li, J., Yan, R., Xiao, B., Wang, X. and Yang, H., (2007) *Influence of temperature on the formation of oil from pyrolyzing palm oil wastes in a fixed bed reactor*, Energy and Fuels, 21 (4): 2398-2407
- Lim, JS., (2012). *Areview on utilization of biomass from rice industry as a source of renewable energy*, Renevable And Sustainable Energy Reviews, 16 ,3084-3094.
- Lu ve ark. (2010) , İstanbul Ticaret Üniversitesi 2010 Cilt:9 Sayı:18
- McKendry, P., (2002). *Energy production from biomass (part II) conversion technologies*, Bioresource Technology, 83 (2): 147-154 (2002).
- Mohan, D., Pittman, C. U. and Steele, P. H.(2006), *Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil*, A critical review, Energy Fuels, 20 (3): 848-889
- Mohan, D., Pittman, J., Charles, U. ve Steele, P.H., (2006). *Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review*, Energy & Fuels, 20, 848 – 889.
- Qi ve ark., (2006).
- Saxena, R. C., Adhikari, D. K. and Goyal, H. B., (2009). *Biomass-based energy fuel through biochemical routes: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (1): 167-178
- Scott ve ark.,(1992). Scott, D. S., Piskorz, J. and Radlein, D. A. G.,*Pyrolysis of agricultural and forest wastes*, Emerging Technologies for Materials and Biomass, 24: 422 436
- Several Acids-Catalyzed. (1996). *Phenolation of wood and its application to molding materials*. Kyoto University, Kyoto, PhD Thesis, Japan.

- Tiftik B. E., (2006). *Çay Fabrikası Atığının pirolizi ve piroliz ürünlerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,
- TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara, MMO, (2012). *Türkiye'nin enerji görünümü*, Yayın No: MMO/588
- Topal, M., Arslan, I., (2008). *Biyokütle enerjisi ve Türkiye*, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul, 241-247
- Vigouroux, R.Z. (2001). *Pyrolysis of biomass. royal institue of technology, Chemical Technology*, Stockholm, Sweden,113s.
- Wang, C., Du, Z., Pan, J., Li, J. and Yang, Z., (2007). *Direct conversion of biomass to bio-petroleum at low temperature*, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 78 (2): 438-444
- Yanık, J., Kornmayer, C., Sağlam, M. and Yüksel, M., (2007). *Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products*, *Fuel Processing Technology*, 88 (10): 942-947
- Yorgun ve ark., Cemek M., Küçük M.,(2001). *Supercritical fluid extraction of verbascum stalk, energy conversion and management*, 42, 125-130,

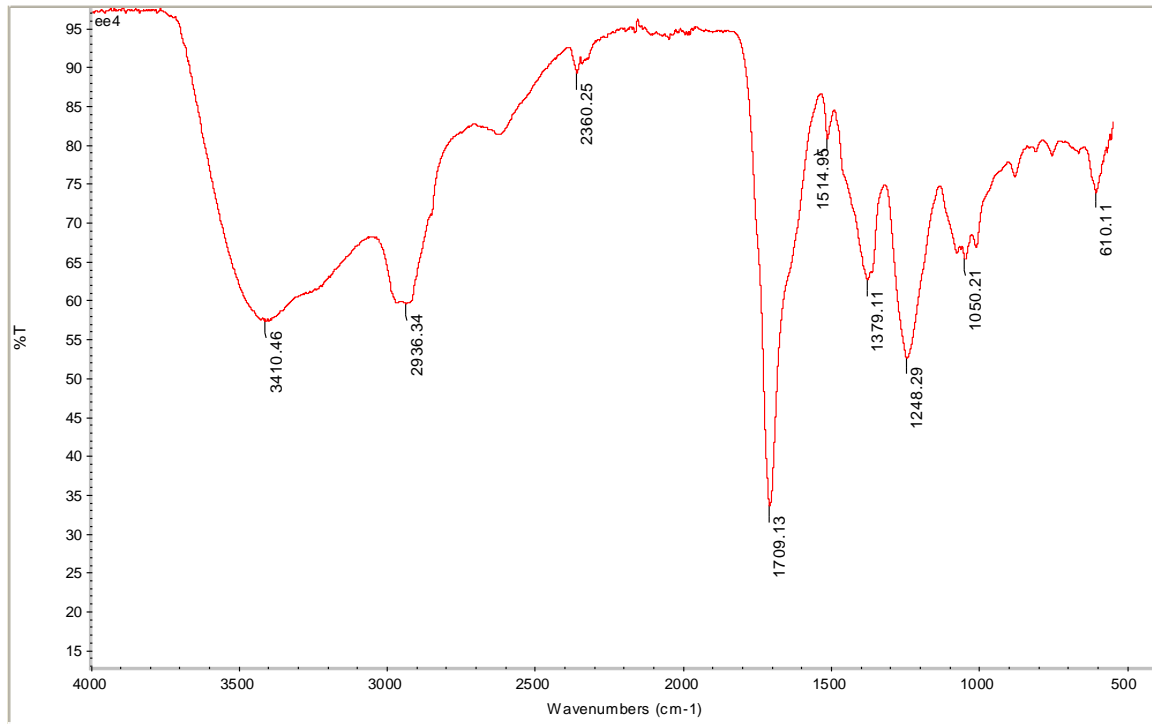
EKLER**EK-1** 350 °C'de Katalizörsüz denemelerde elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

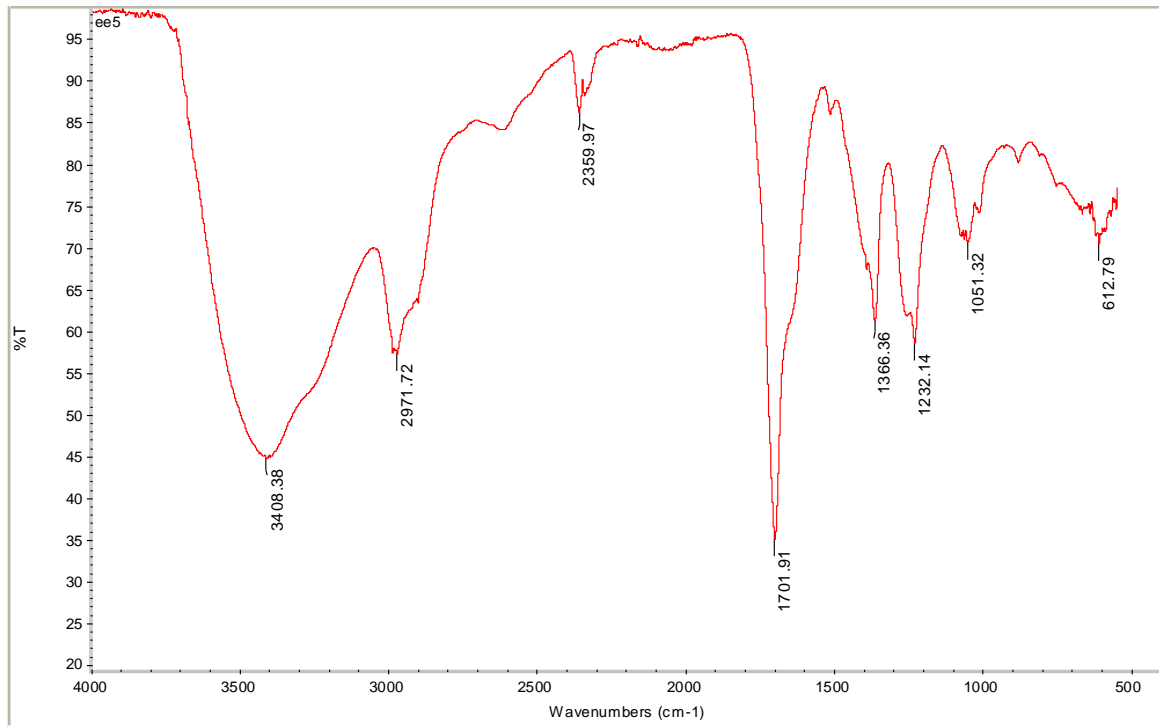
EK-2 350 °C'de Borik Asit Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

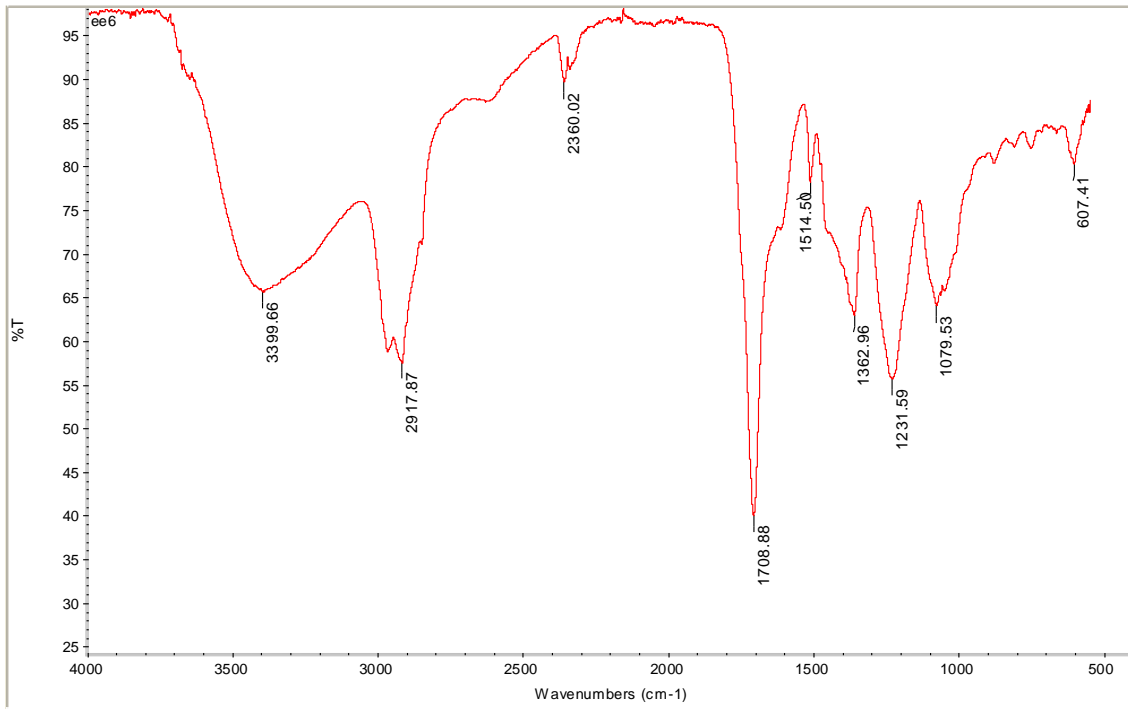
EK-3 350 °C’de Sodyum Hidroksit katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR**Spektrumu**

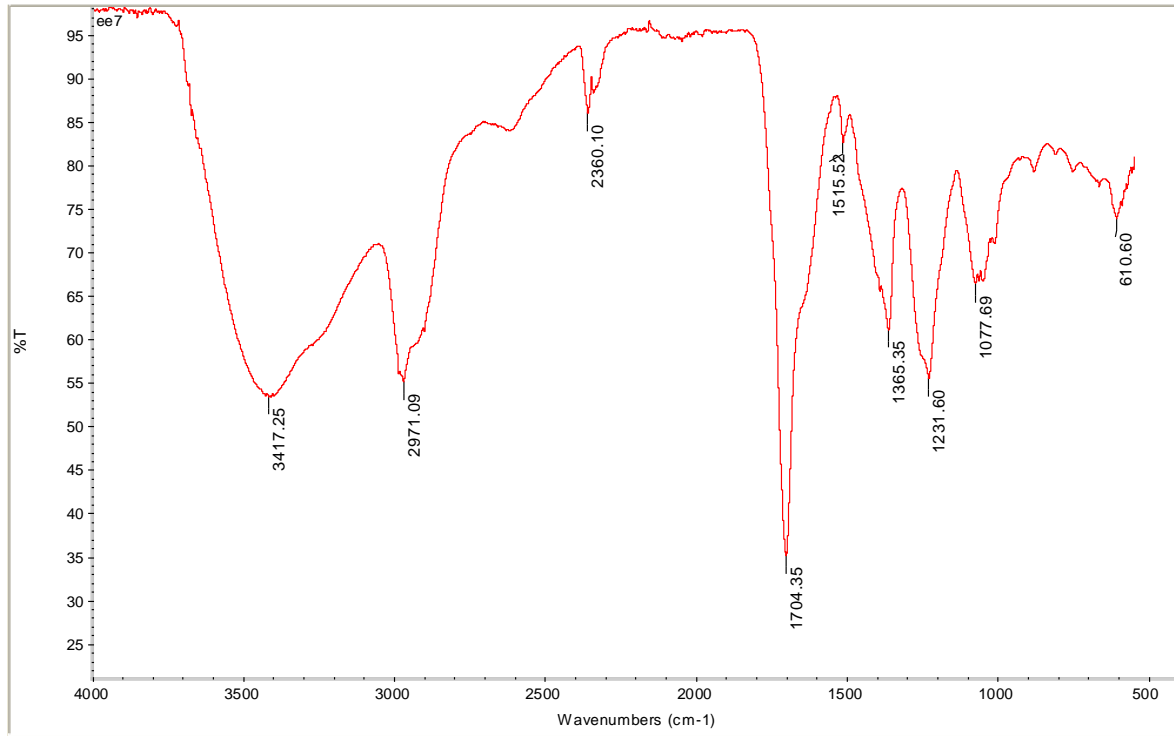
EK-4 350 °C'de Di Sodyum Tetraborat Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR

Spektrumu



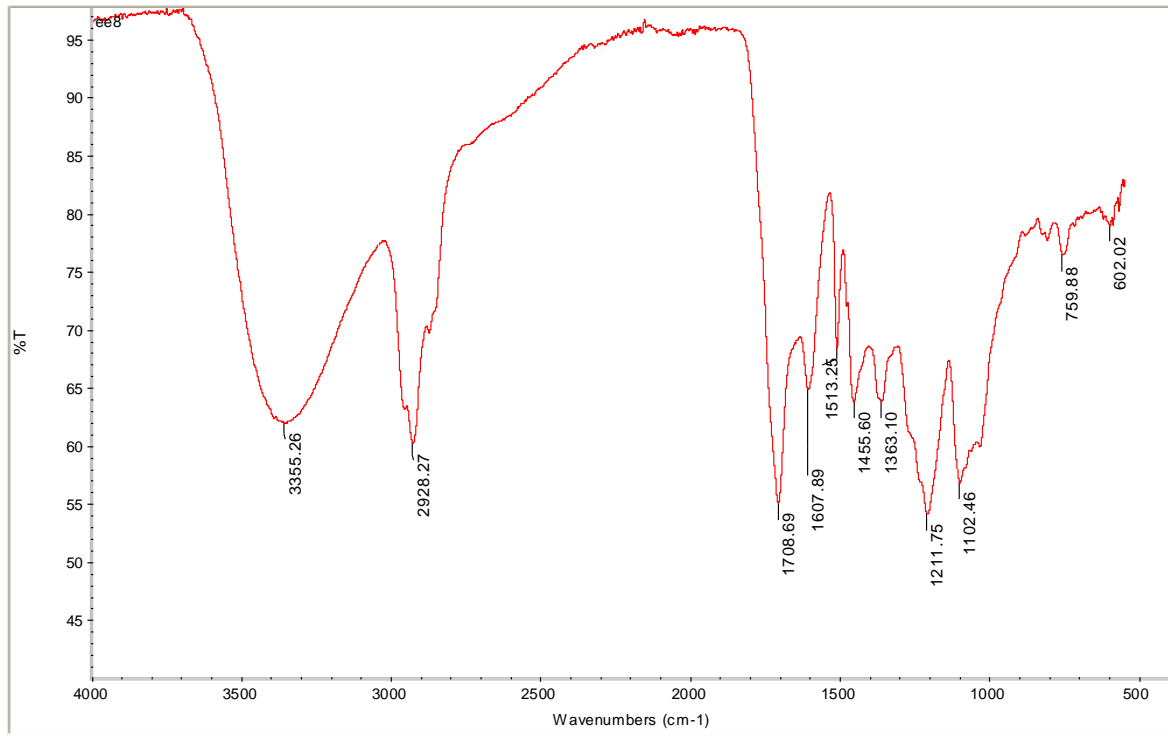
EK-5 350 °C'de Çinko Klorür Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

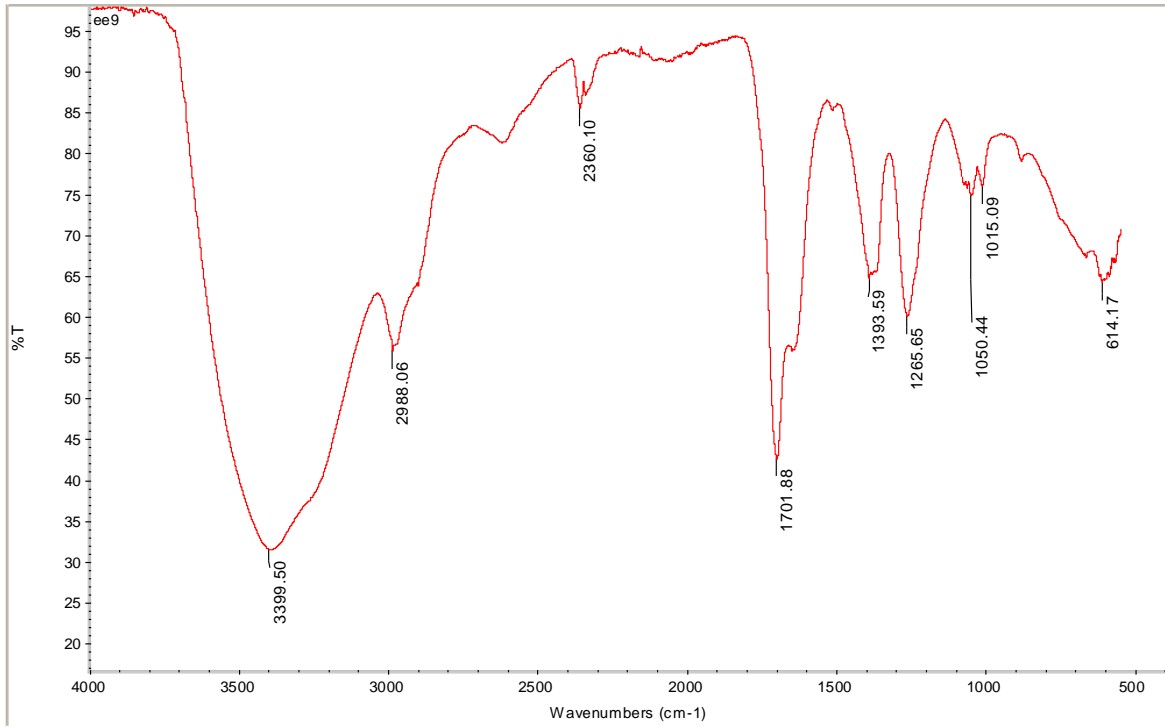
EK-6 350 °C'de Potasyum Karbonat Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR**Spektrumu**

EK-7 450 °C’de Katalizörsüz denemelerde ekde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

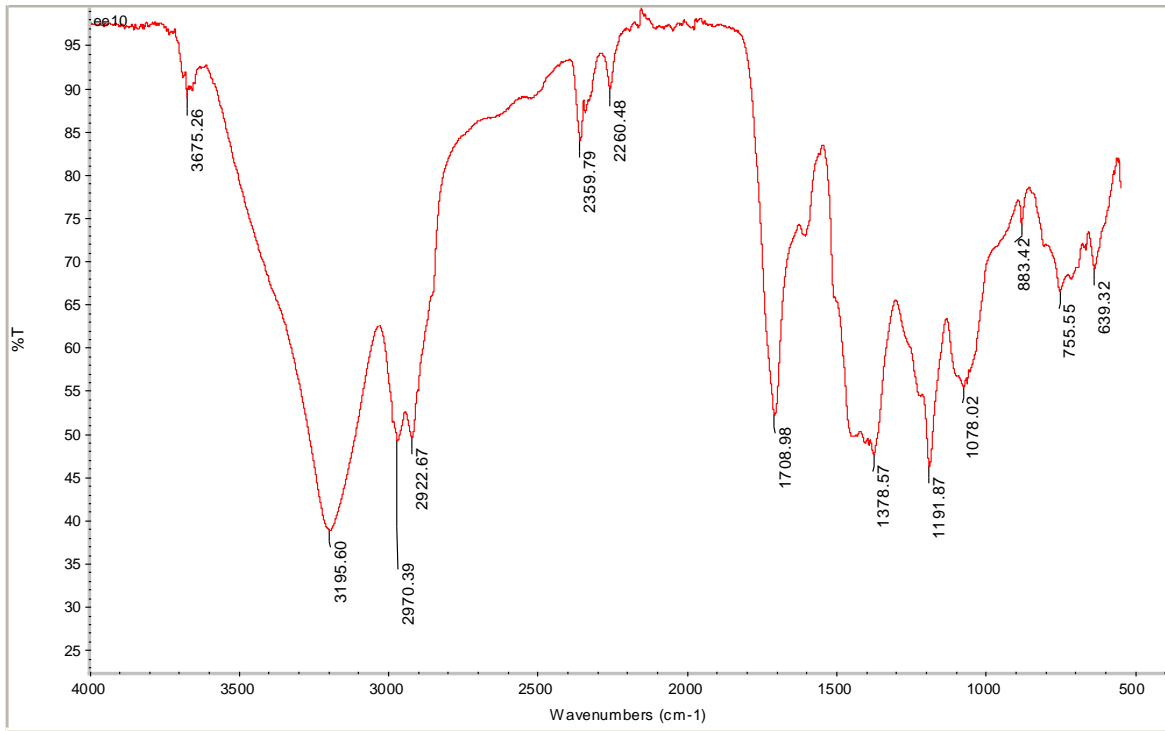
EK-8 450 °C'de Sodyum Hidroksit Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR

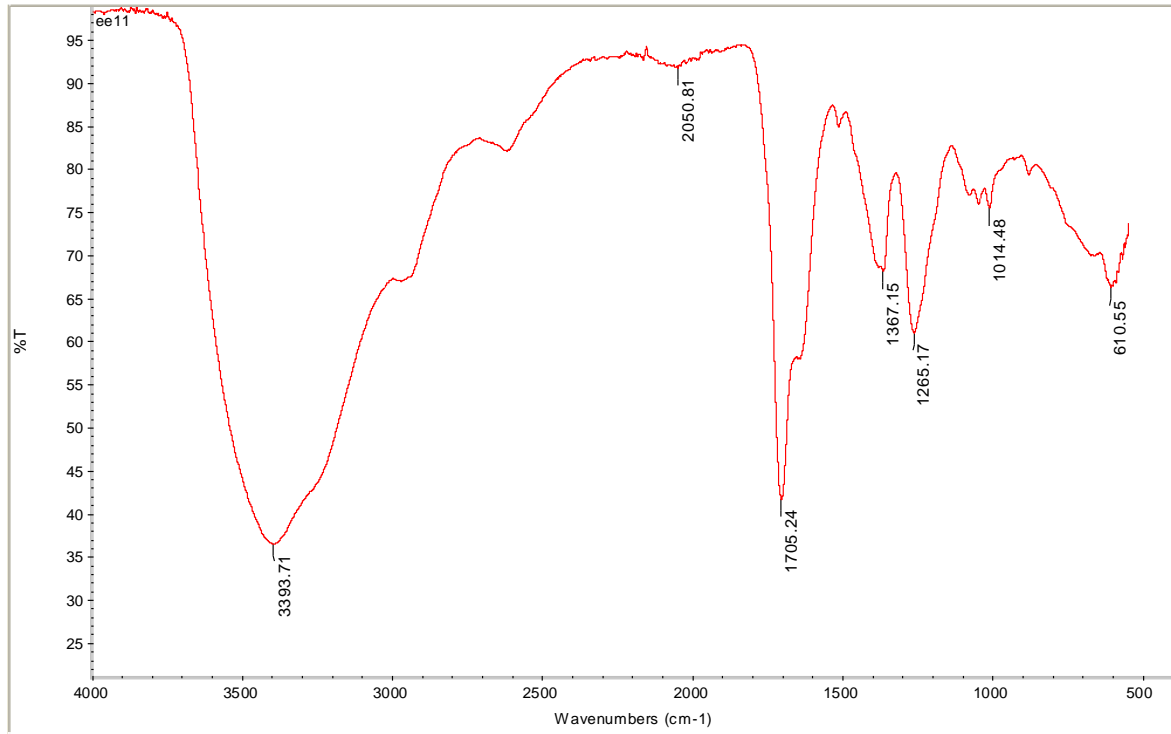
Spektrumu

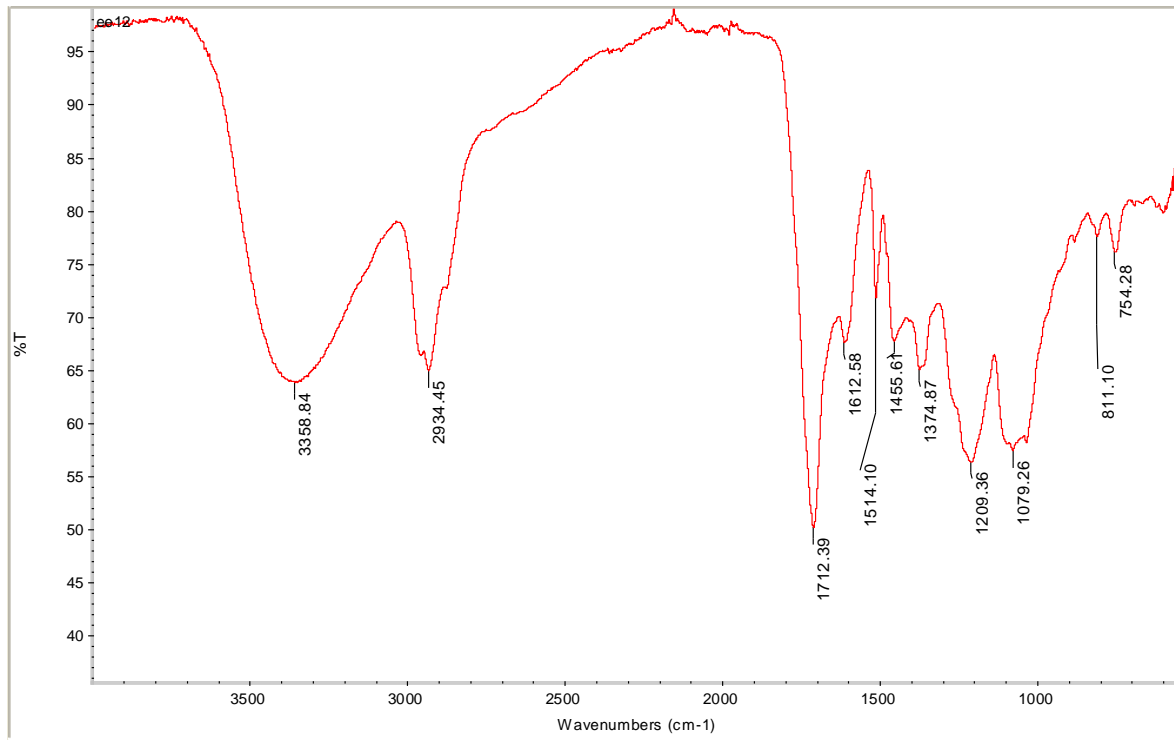


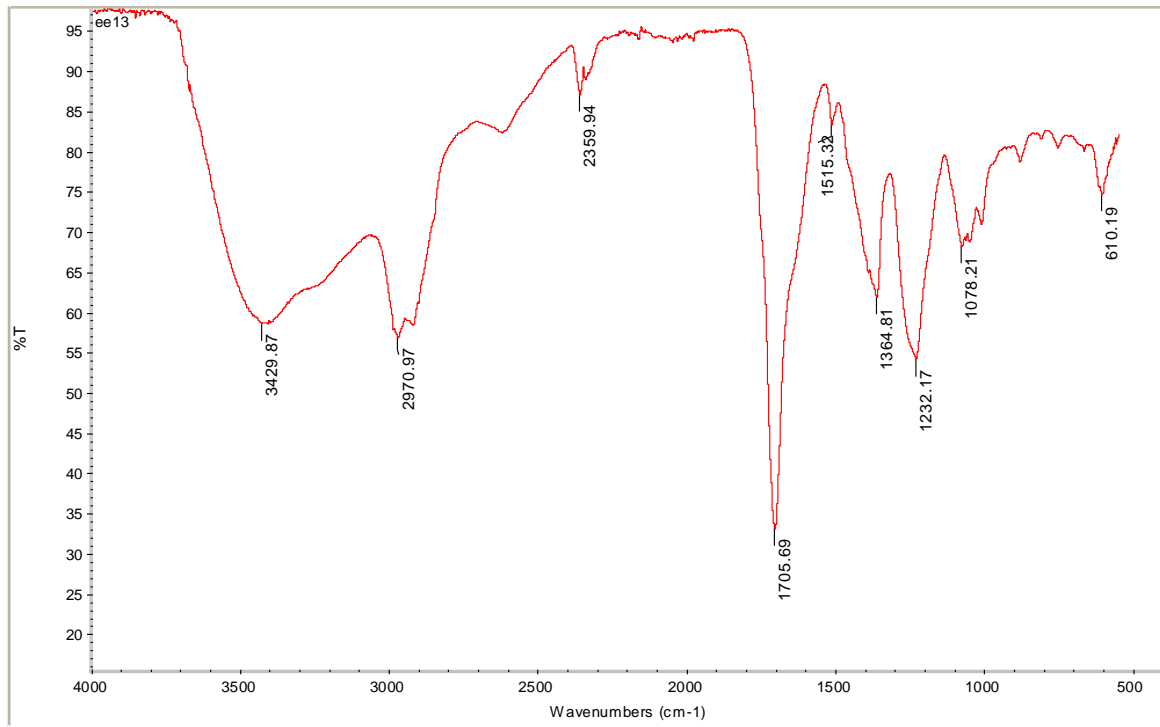
EK-9 450 °C'de Borik asit Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

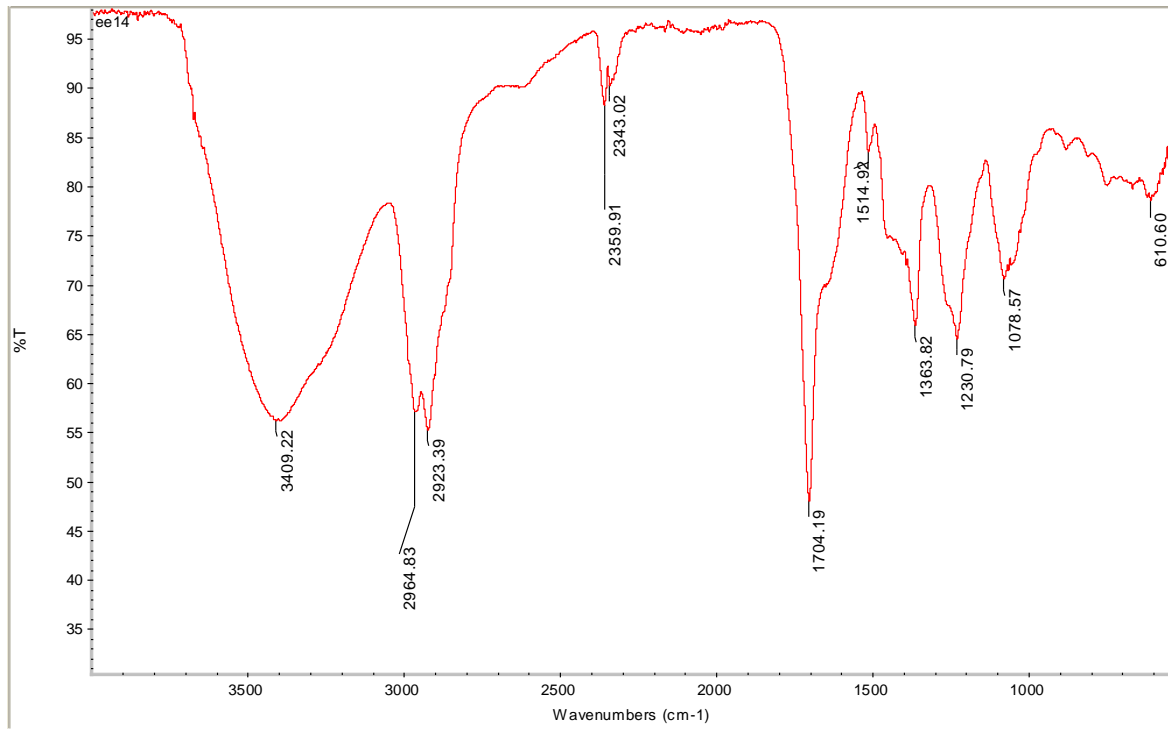
EK-10 450 °C'de Di Sodyum Tetraborat Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

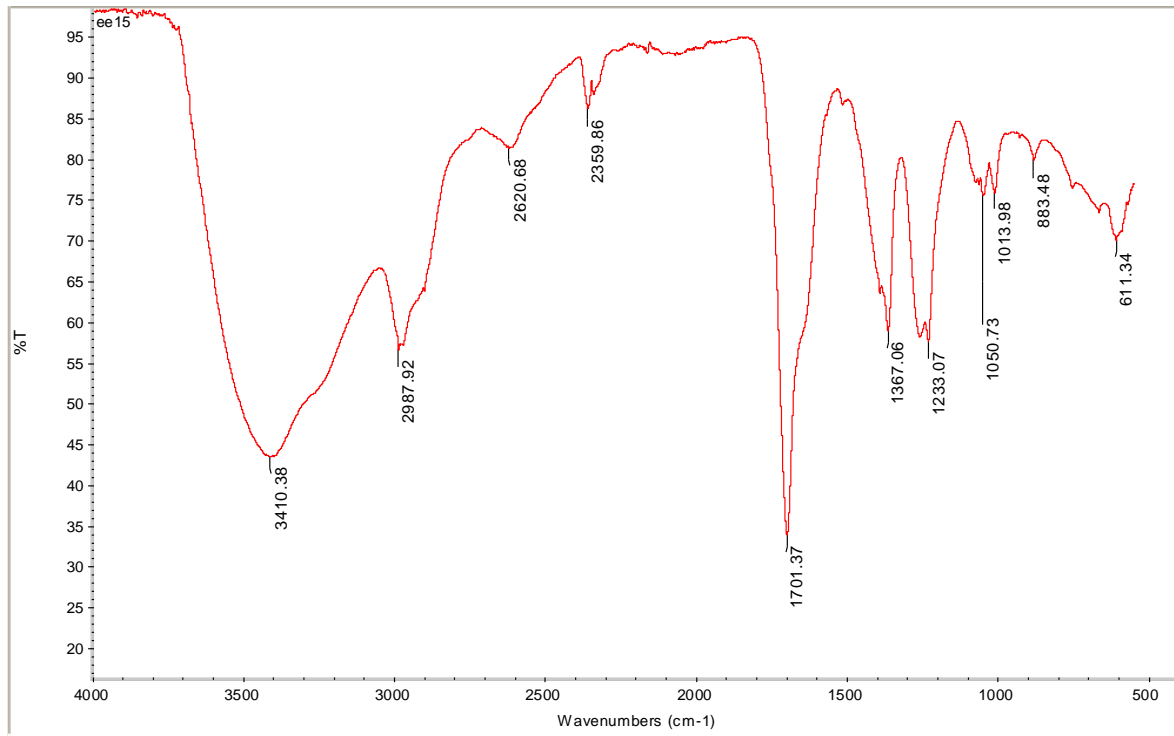


EK-11 450 °C'de Çinko Klorür Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

EK-12 450 °C'de Potasyum Karbonat Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

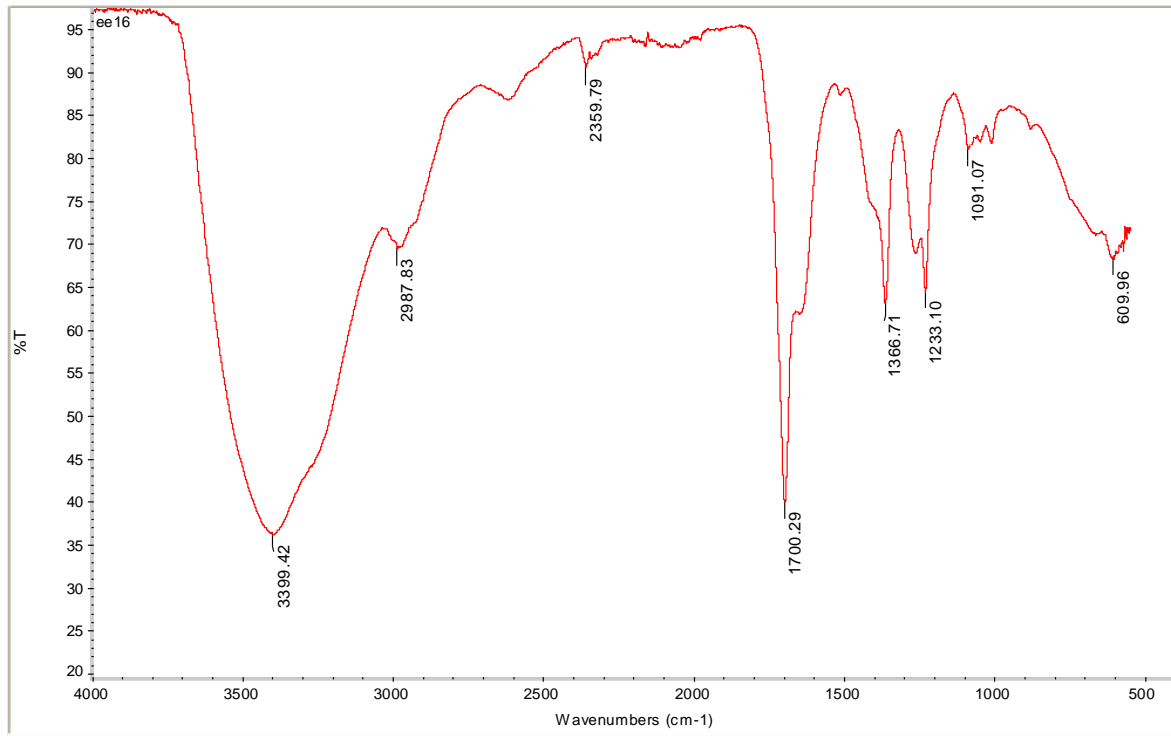
EK-13 550 °C'de Katalizörsüz denemelerde elde edilen sıvı FT-IR Spektrumu

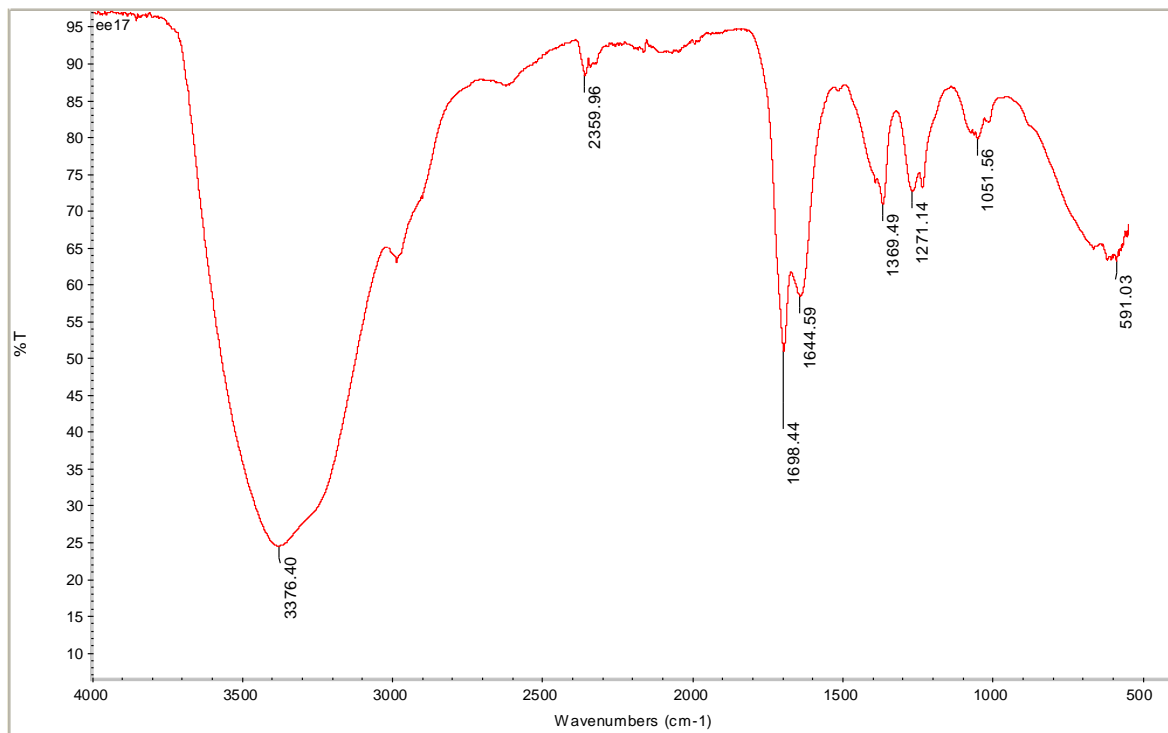
EK-14 550 °C'de Sodyum Hidroksit Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

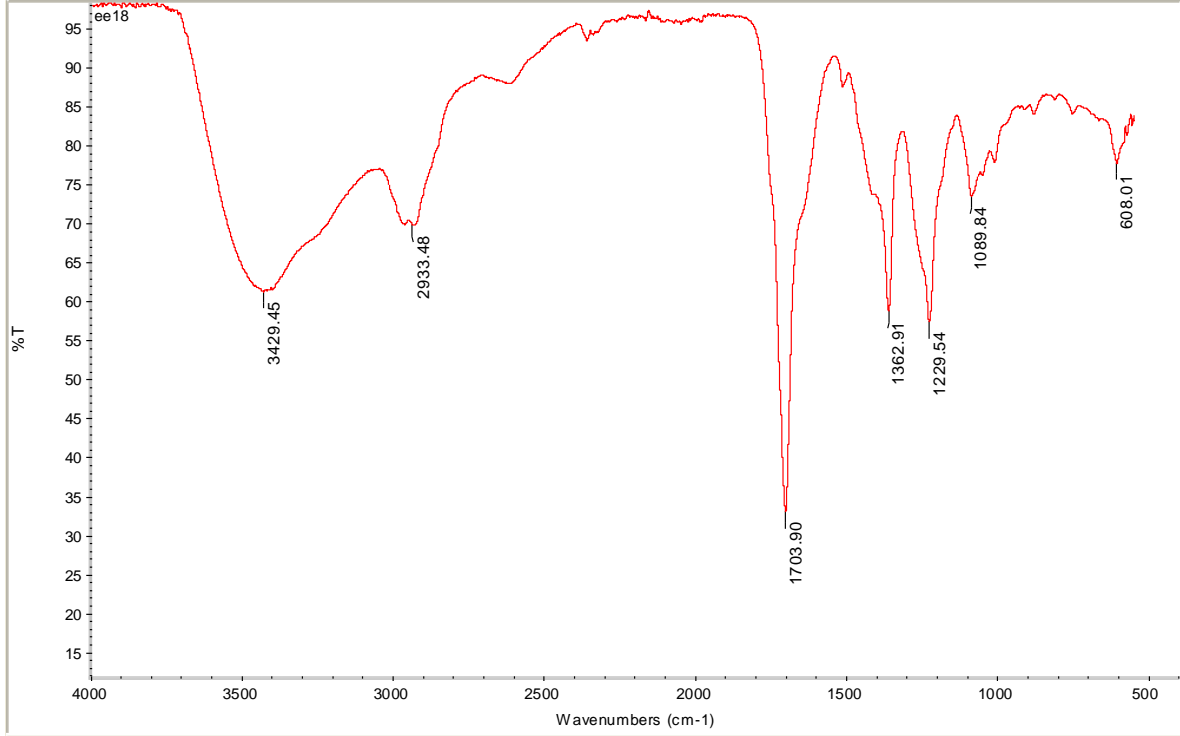
EK-15 550 °C'de Borik Asit Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

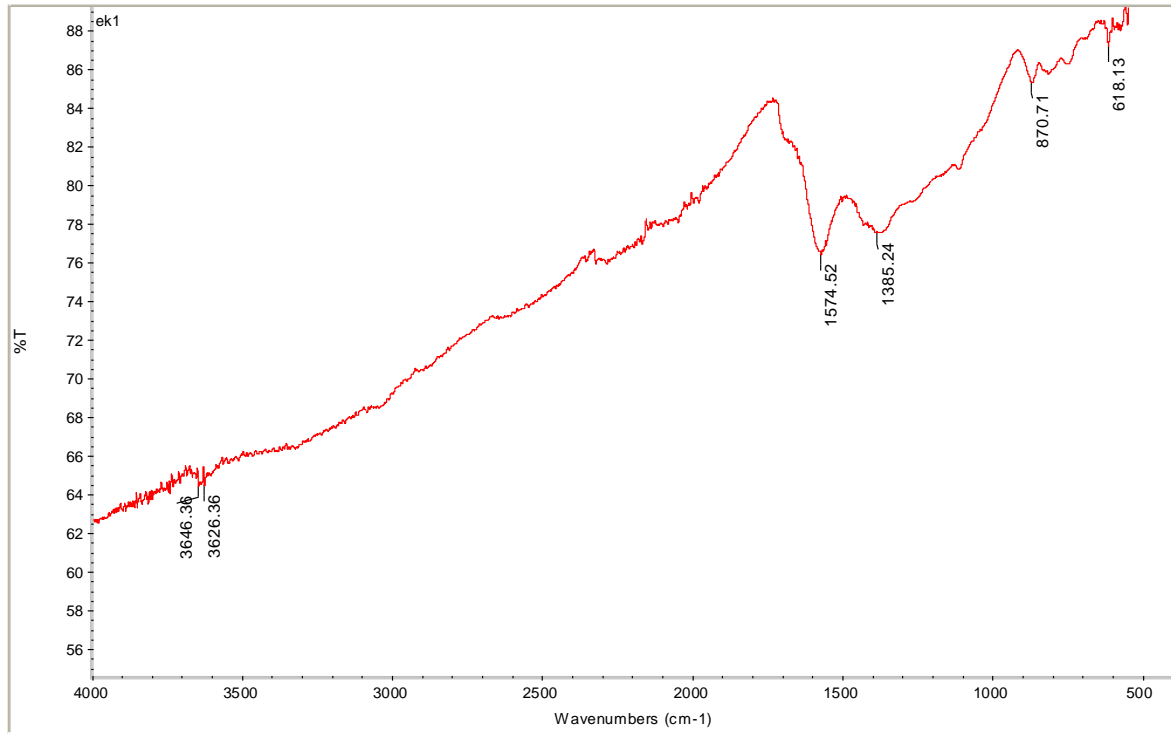
EK-16 550 °C'de Di Sodyum Tetraborat Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR

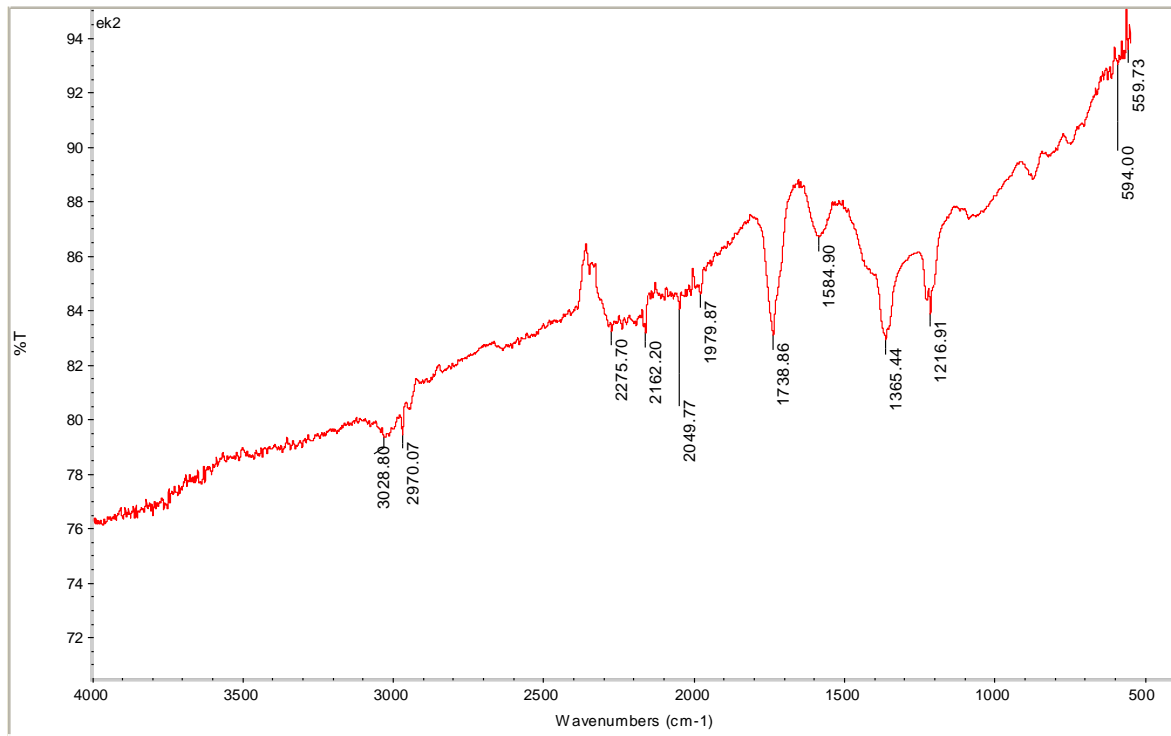
Spektrumu

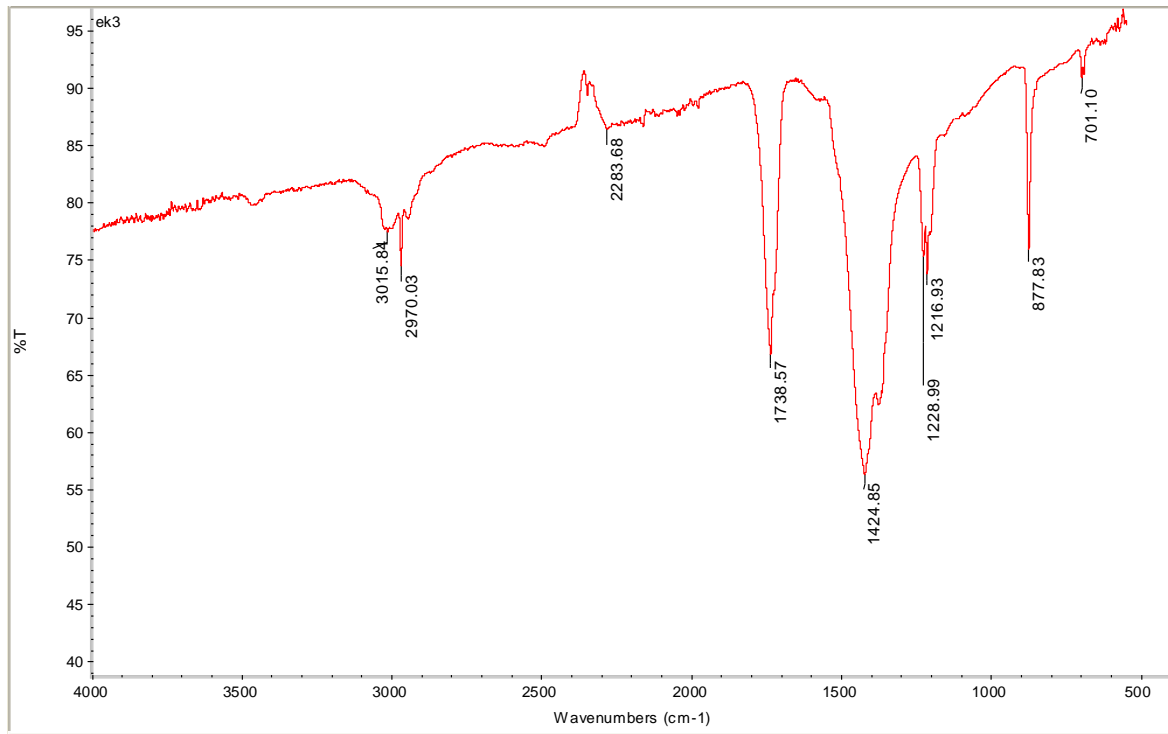


EK-17 550 °C'de Çinko Klorür Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

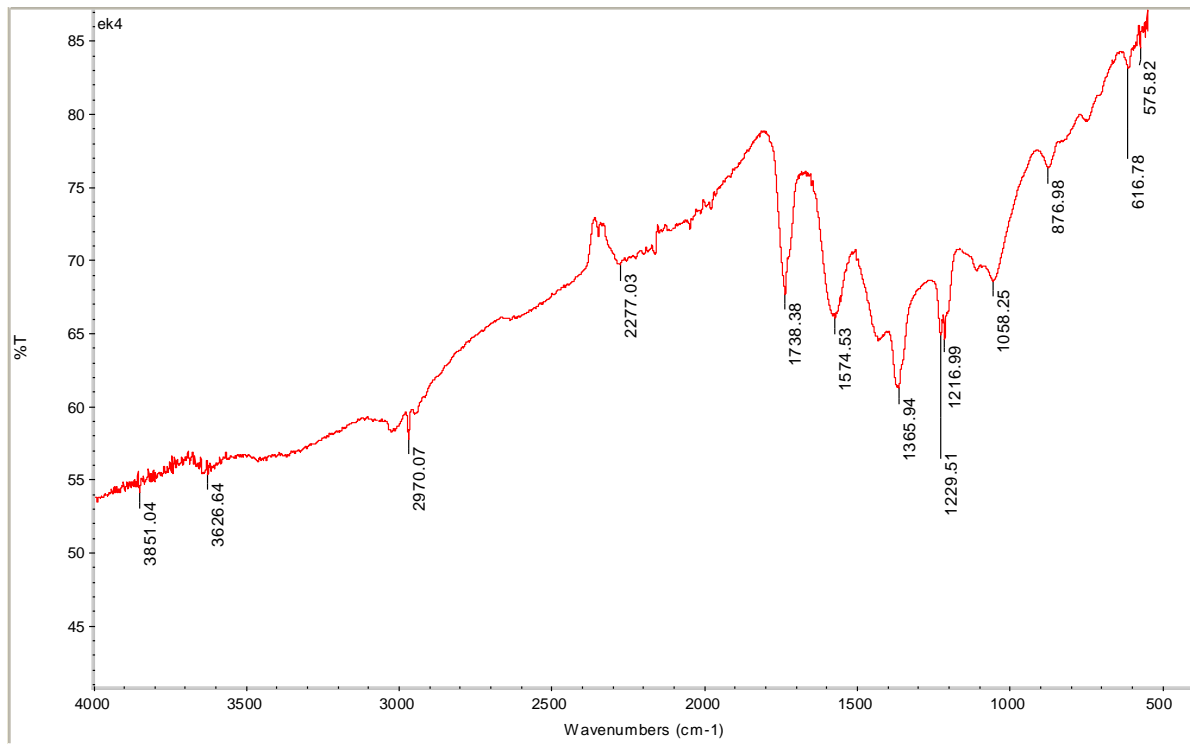
EK-18 550 °C’de Potasyum Karbonat Katalizöründe elde edilen sıvı ürün FT-IR Spektrumu

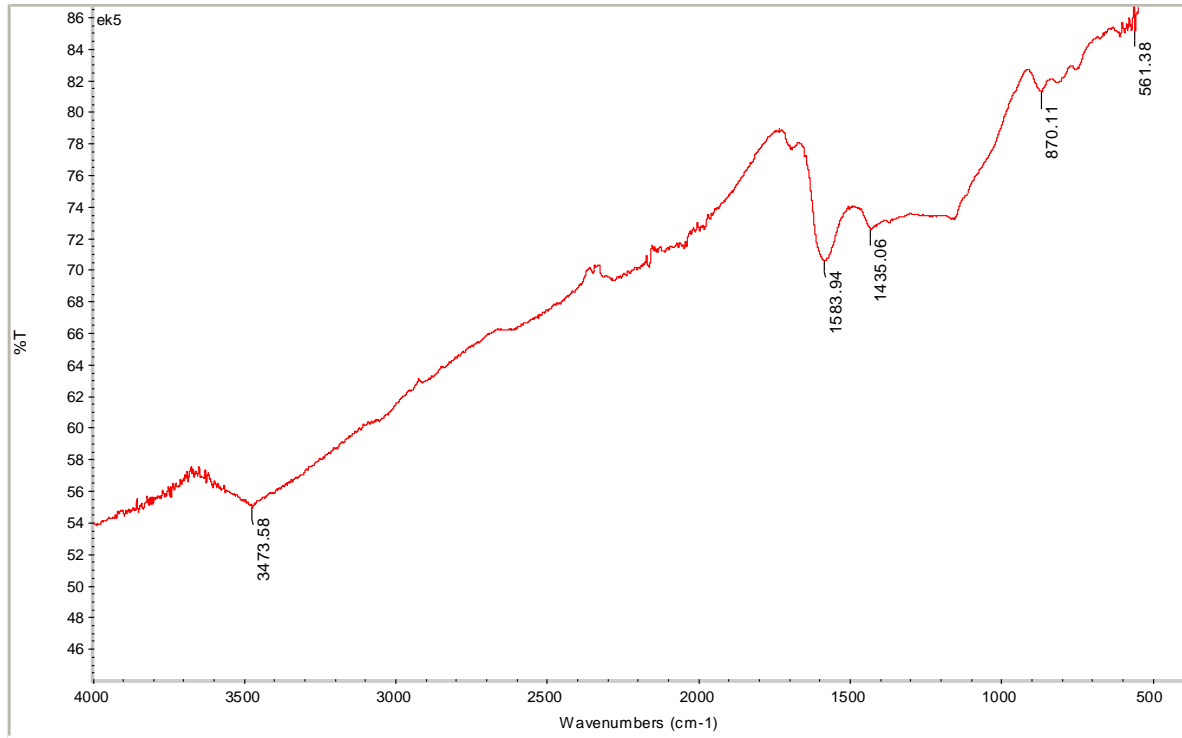
EK-19 350 °C'de Katalizörsüz denemelerde elde edilen katı FT-IR Spektrumu

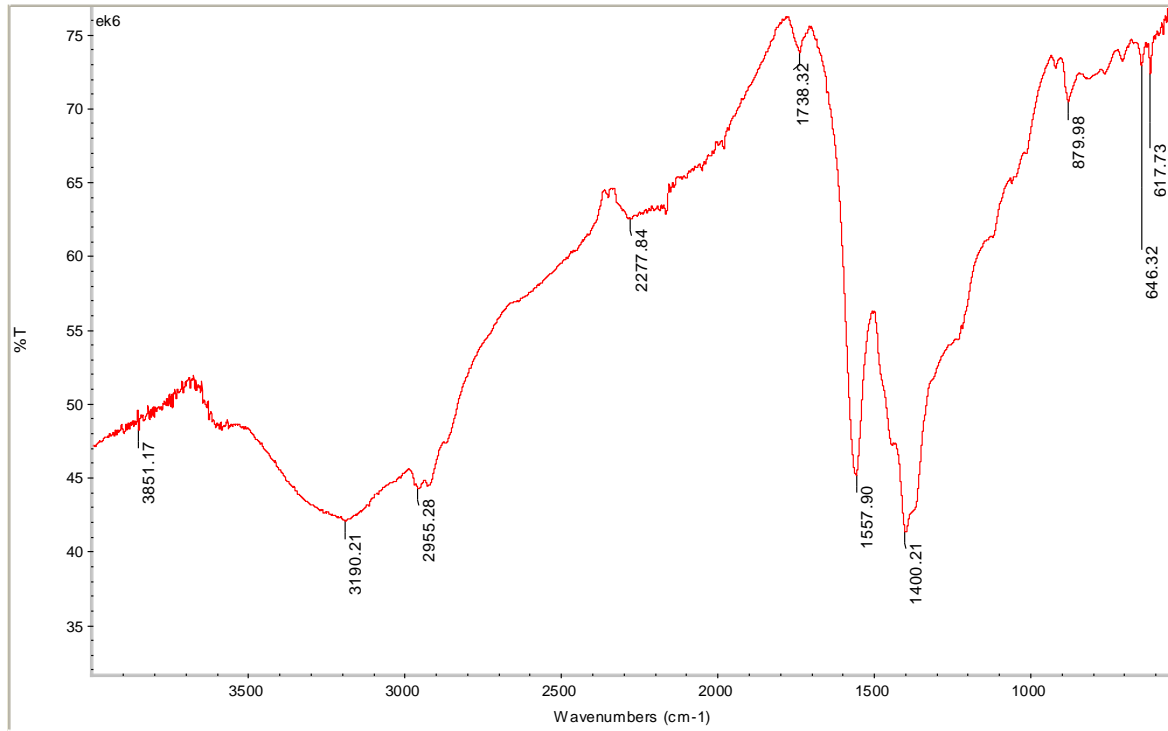
EK-20 350 °C'de Borik Asit Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

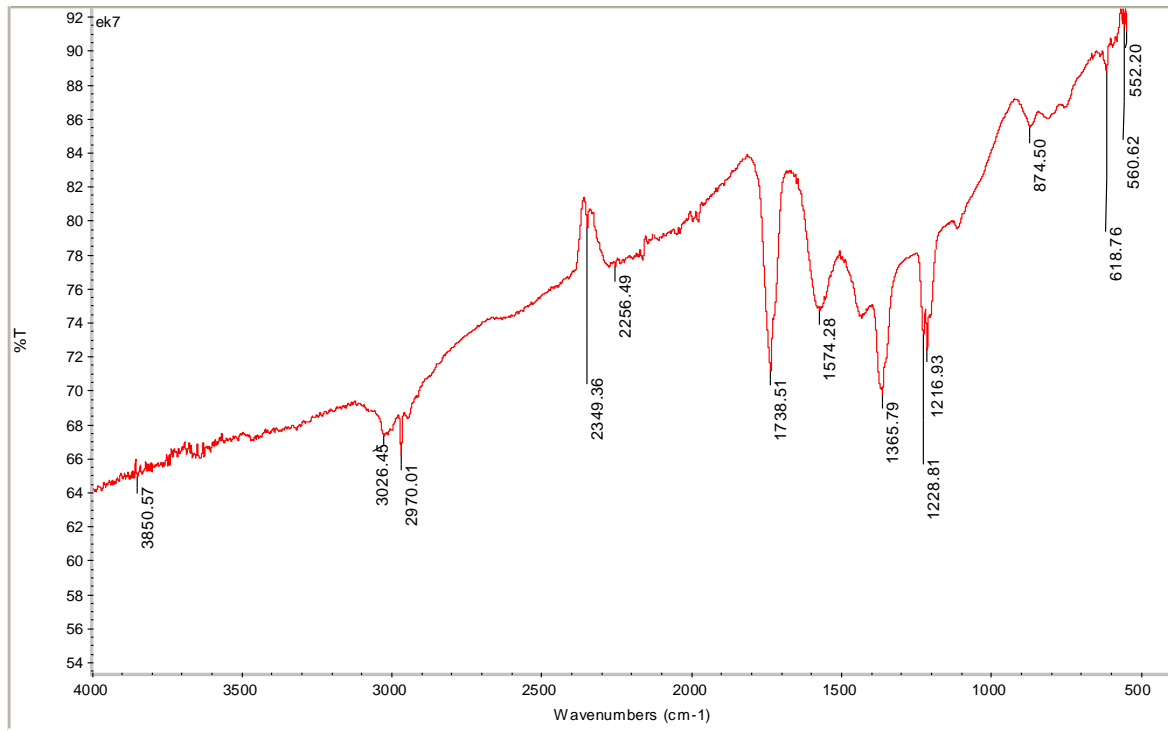
EK-21 350 °C'de Sodyum Hidroksit Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

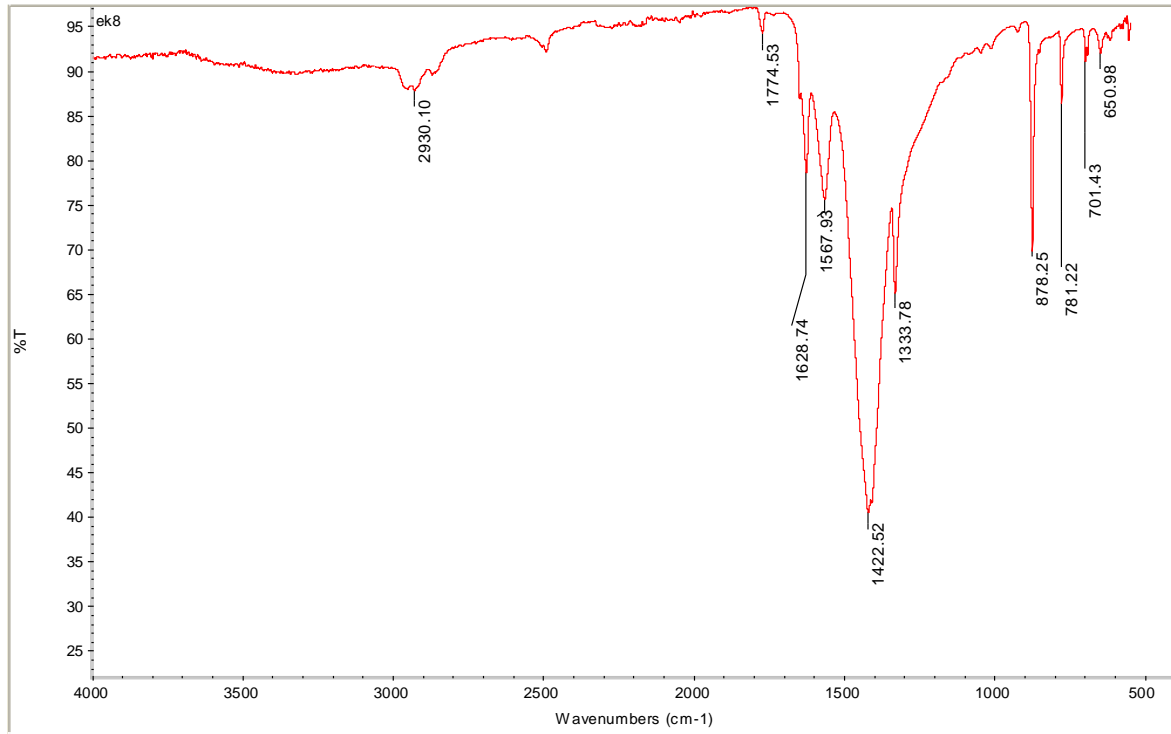
EK-22 350 °C'de Di Sodyum Tetra Borat Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

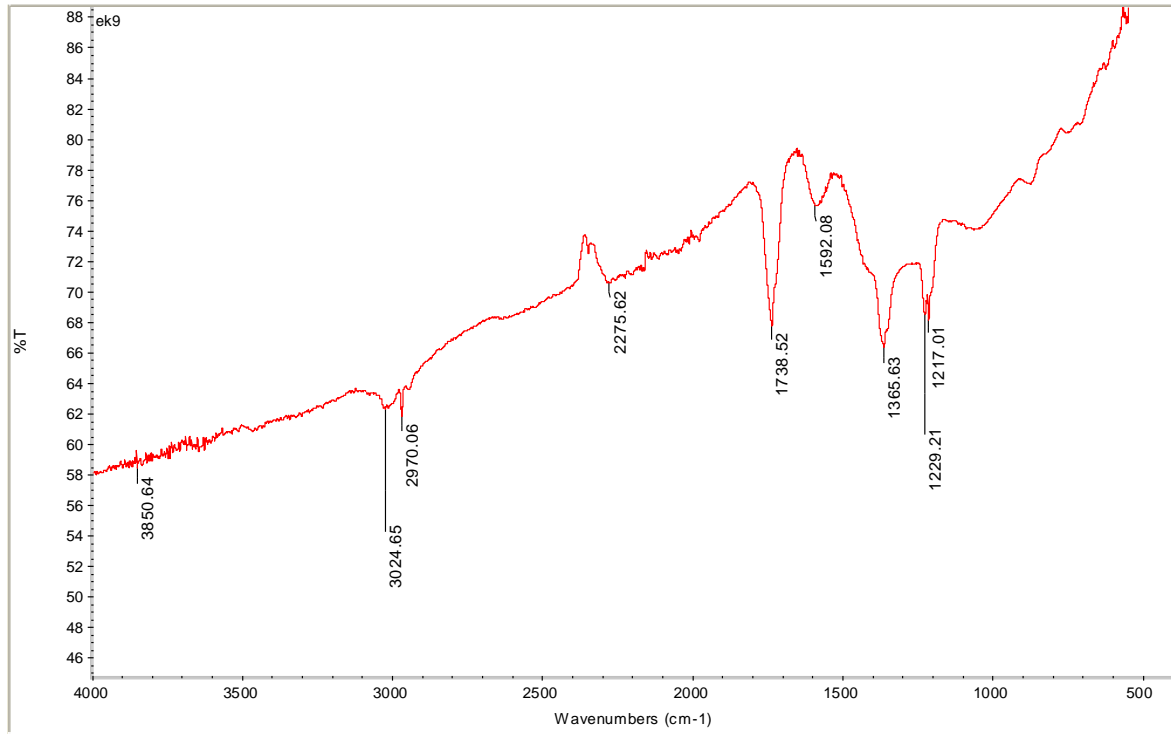


EK-23 350 °C'de Çinko Klorür Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

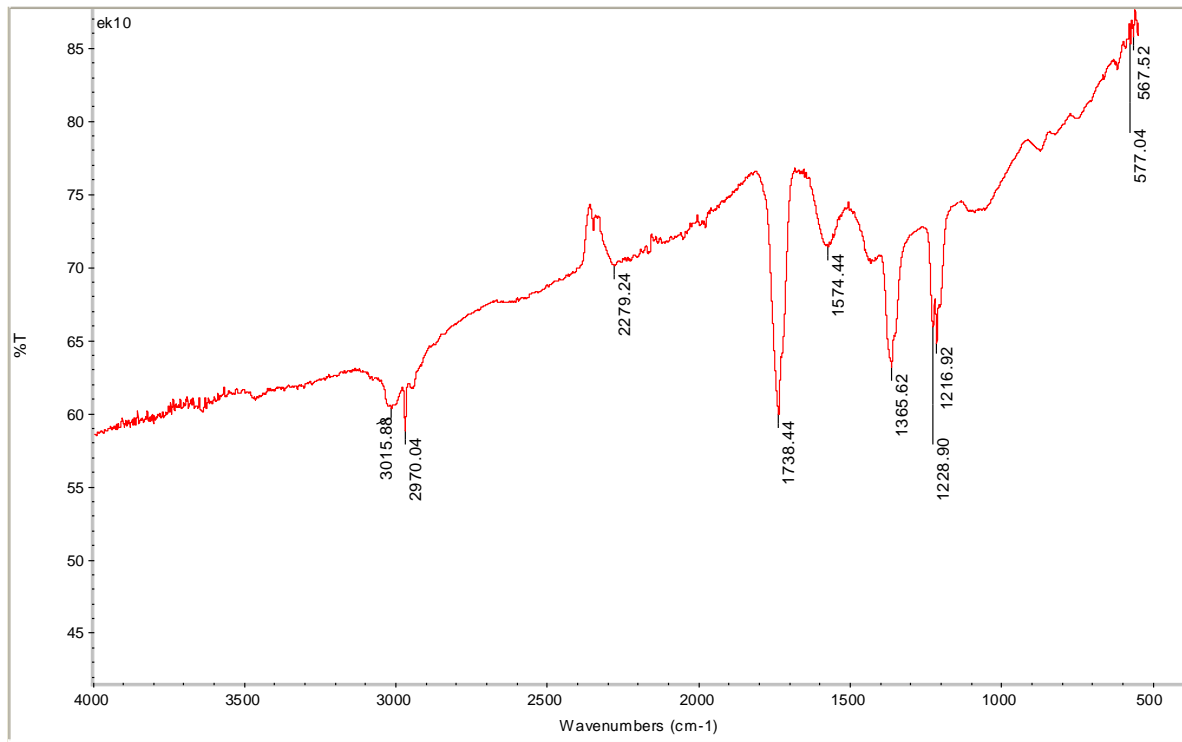
EK-24 350 °C'de potasyum Karbonat Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

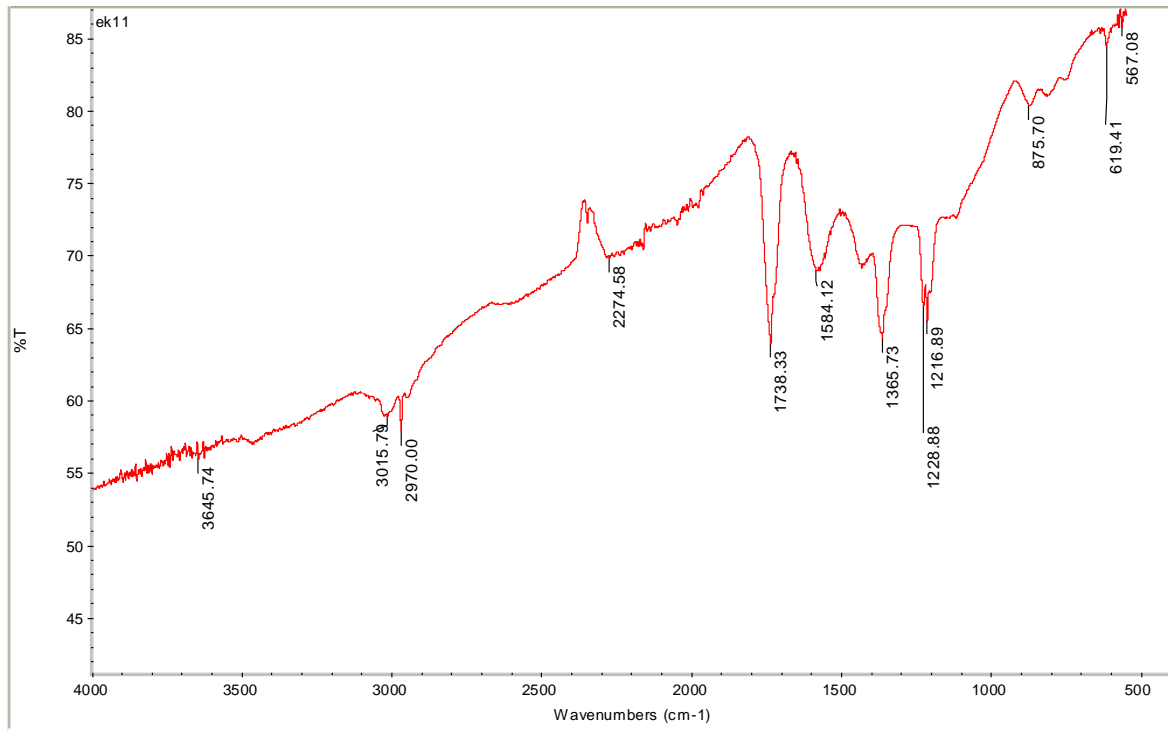
EK-25 450 °C'de Katalizörsüz denemelerde elde edilen katı FT-IR Spektrumu

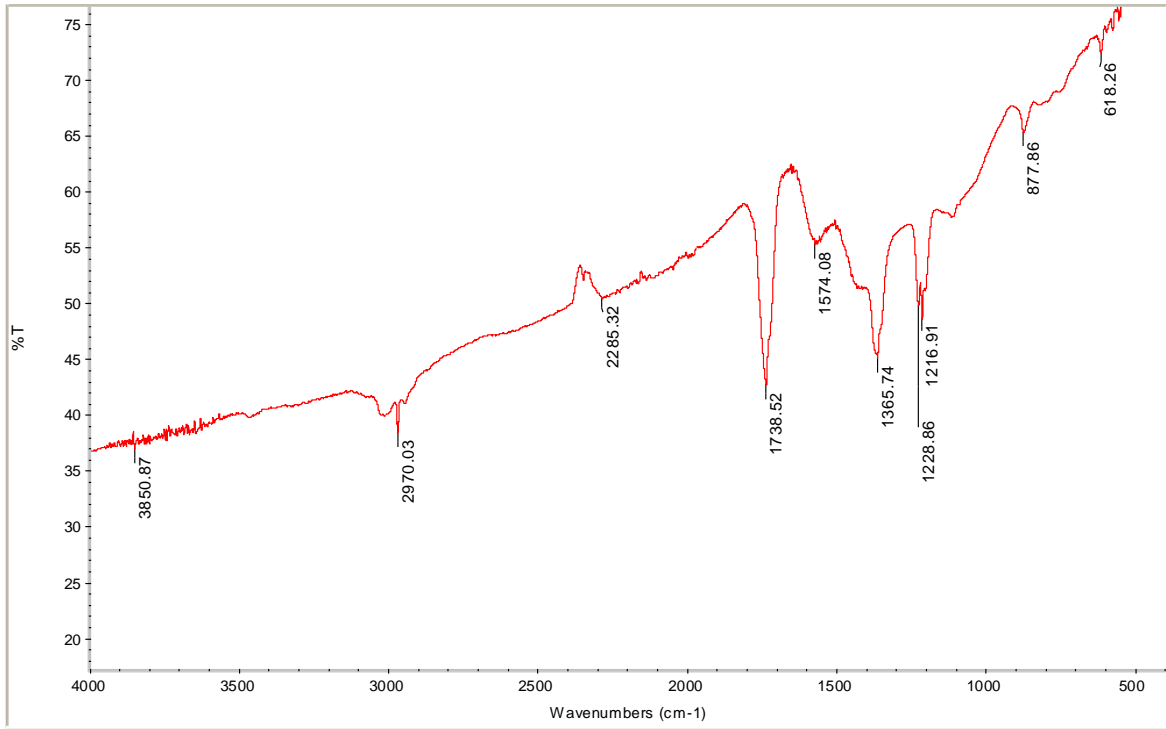
EK-26 450 °C'de Sodyum Hidroksit Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

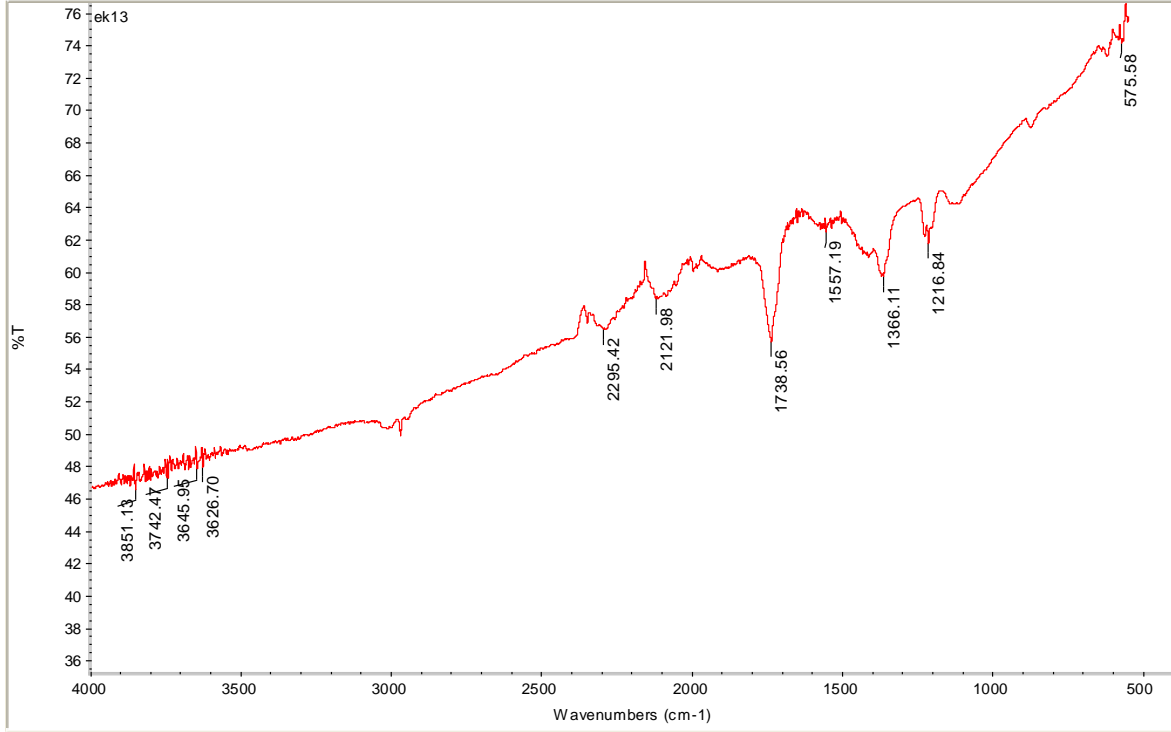
EK-27 450 °C'de Borik Asit Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

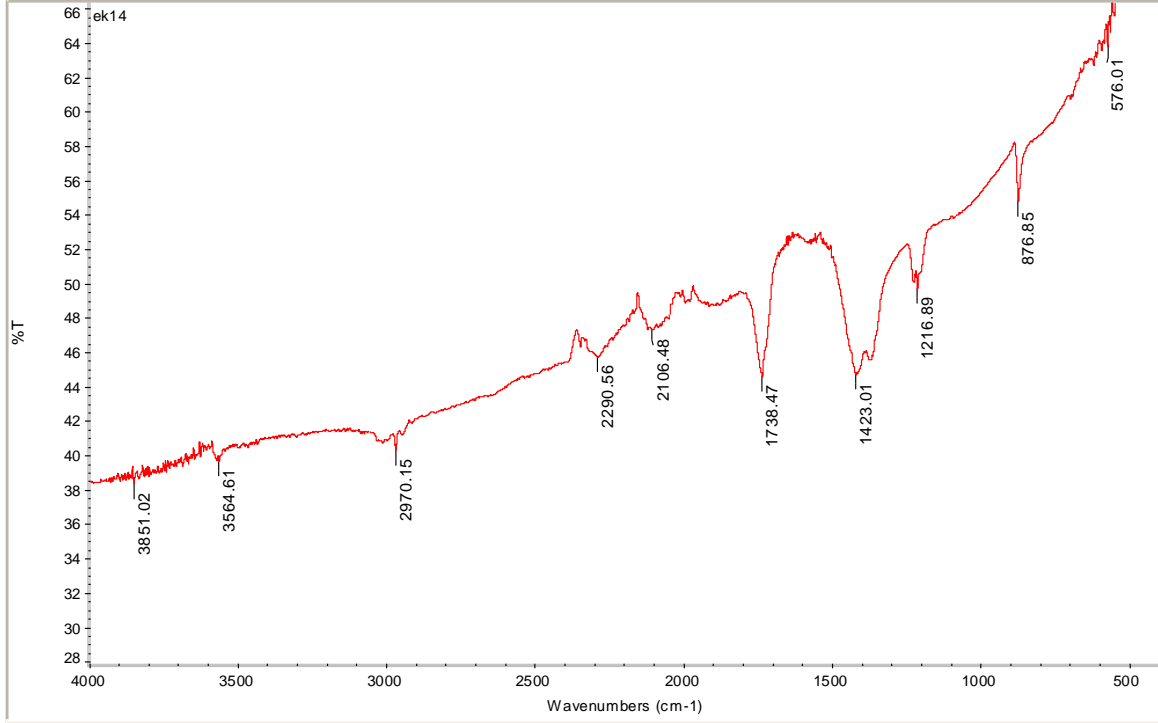
EK-28 450 °C'de Di Sodyum Tetraborat Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

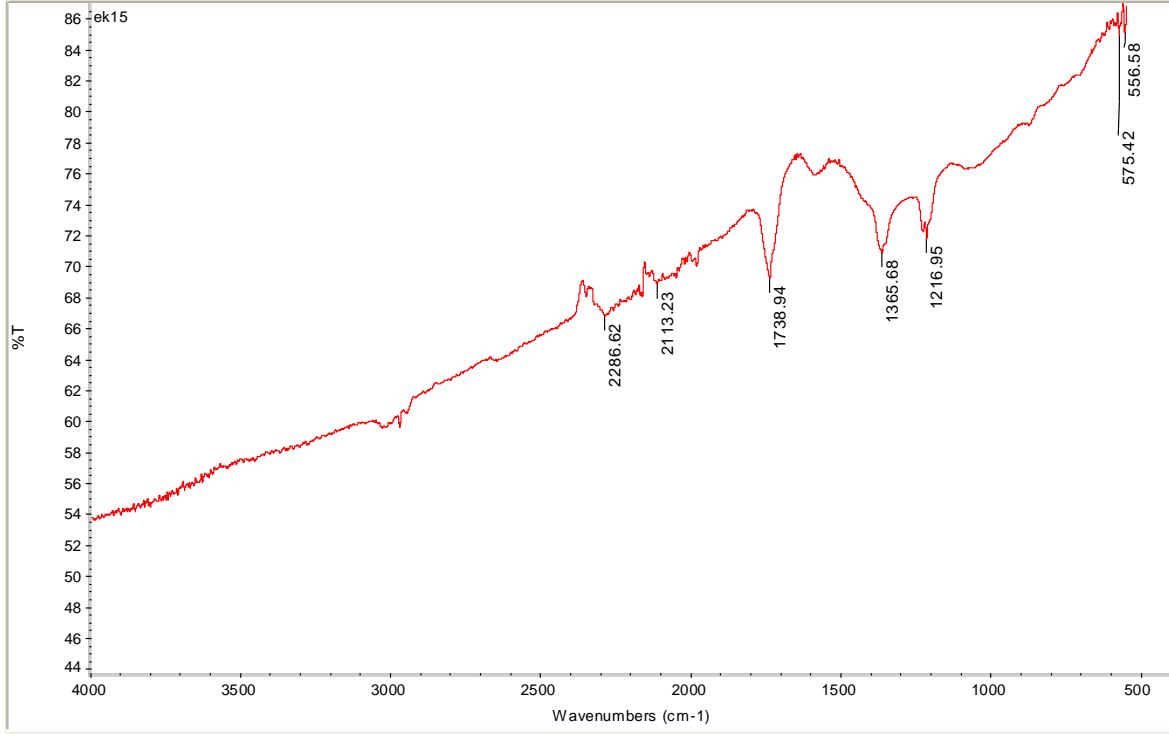


EK-29 550 °C'de Çinko Klorür Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

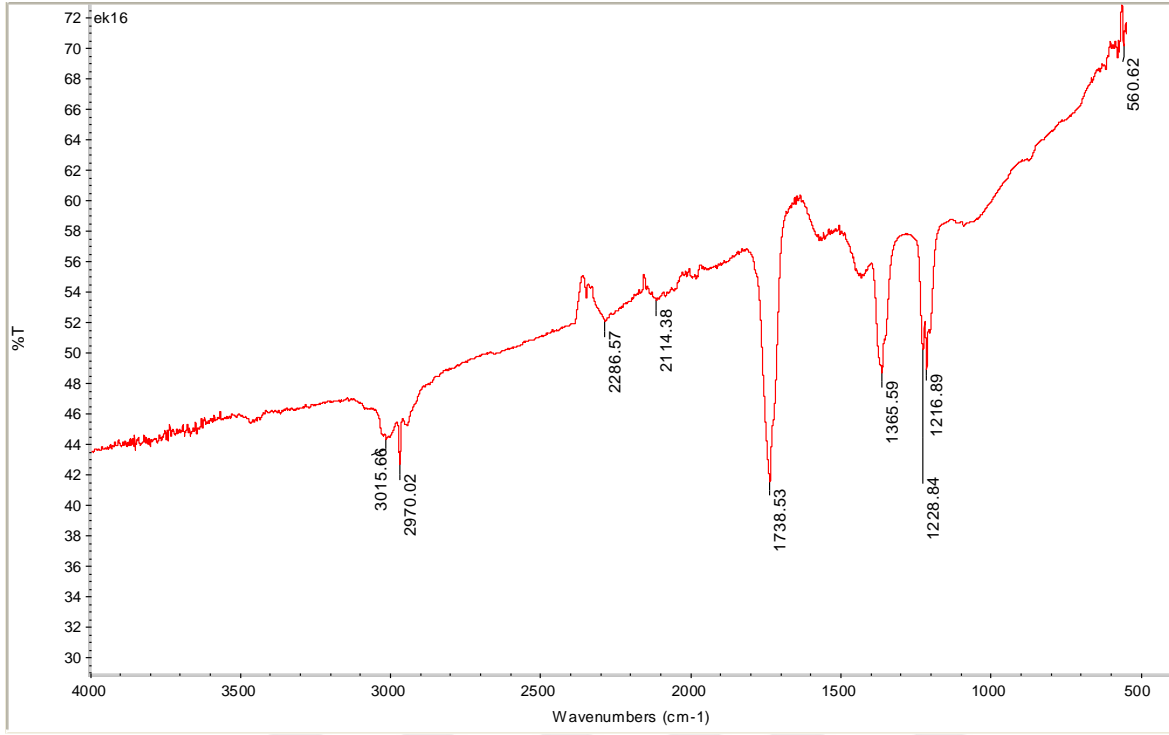
EK-30 450 °C'de Potasyum Karbonat Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

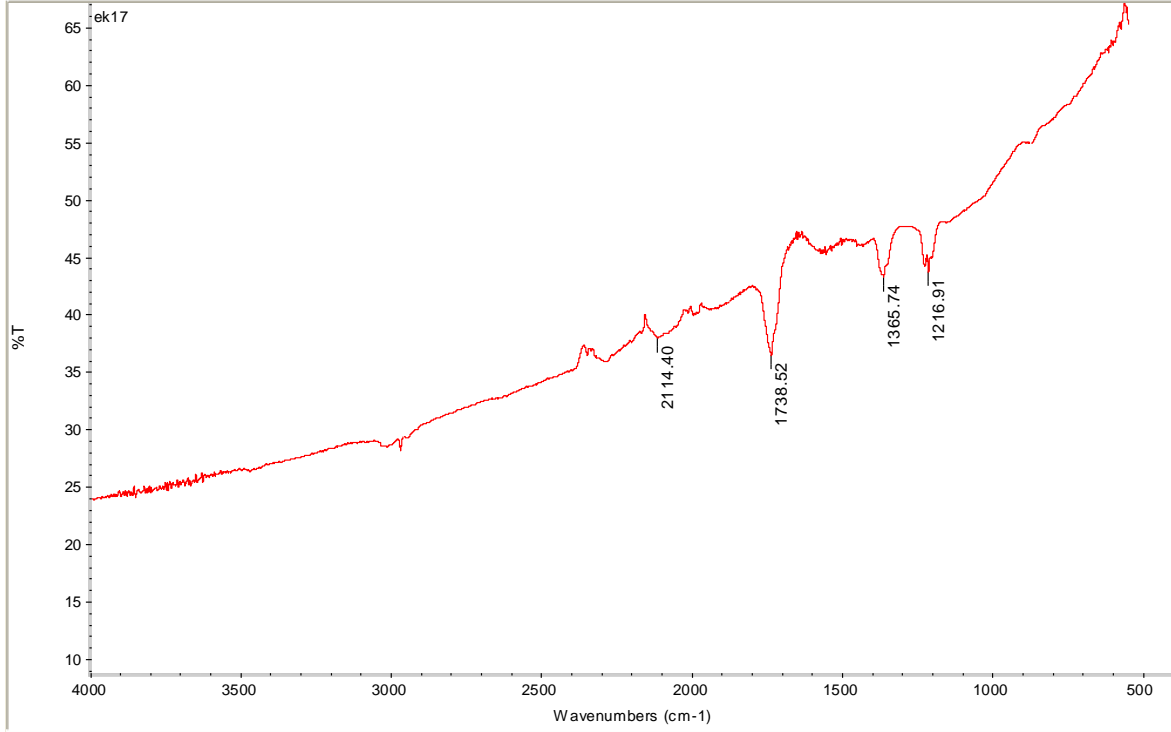
EK-31 550 °C'de Katalizörsüz denemelerde elde edilen katı FT-IR Spektrumu

EK-32 550 °C'de Sodyum Hidroksit Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

EK-33 550 °C'de Borik asit Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

EK-34 550 °C'de Di Sodyum Tetraborat Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu



EK-35 550 °C'de Çinko Klorür Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu

EK-36 550 °C'de Potasyum Karbonat Katalizöründe elde edilen katı ürün FT-IR Spektrumu