

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOKÜTLE KARIŞIMLARININ FARKLI SICAKLIK ve ISITMA HIZLARINDA
KARBONİZASYONU ile KARBONİZE ÜRÜNLERDEN
KOH KULLANILARAK AKTİF KARBON ELDESİ VE KARAKTERİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

TUĞBA UTKU

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yunus ÖNAL

ŞUBAT-2021

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOKÜTLE KARIŞIMLARININ FARKLI SICAKLIK ve ISITMA HIZLARINDA
KARBONİZASYONU ile KARBONİZE ÜRÜNLERDEN
KOH KULLANILARAK AKTİF KARBON ELDESİ VE KARAKTERİZASYONU**



DOKTORA TEZİ

**TUĞBA UTKU
(36111704010)**

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yunus ÖNAL

ŞUBAT-2021

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

BİYOKÜTLE KARIŞIMLARININ FARKLI SICAKLIK ve ISITMA HIZLARINDA
KARBONİZASYONU ile KARBONİZE ÜRÜNLERDEN
KOH KULLANILARAK AKTİF KARBON ELDESİ VE KARAKTERİZASYONU
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN

HAZIRLAYAN

DOÇ.DR. YUNUS ÖNAL

TUĞBA UTKU

Jürimiz tarafından 18./02/2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda bu tez **oybirliği /oyçokluğu** ile başarılı bulunarak **Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı** Doktora Tezi olarak kabul etmiştir.

Jüri Üyelerinin Unvanı Adı Soyadı

İmza

1. Doç. Dr. Yunus ÖNAL

.....

2. Prof. Dr. Hüseyin KARACA

.....

3. Doç. Dr. Nihan KAYA

.....

4. Prof. Dr. Ahmet GÜLTEK

.....

5. Doç. Dr. Melek YILGIN

.....

O N A Y

Bu tez, İnönü Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../20... tarih ve 20.../..... sayılı Kararıyla da uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Kazım TÜRK

Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aőamasında bana hem akademik olarak hem de insani olarak yön veren, desteğini, bilgisini, tecrübelerini ve yüreğini esirgemeyen çok sevdiğim ve hayatımda hep olsun istediğim tez danışman hocam Doç. Dr. Yunus ÖNAL'a

Hayata dair ve akademik olarak tarifi mümkün olmayacak kadar çok Şey öğrendiğim üzerimde çok emeği olan idolüm çok sevgili Prof. Dr. Canan AKMİL BAŞAR'a

Tezin hazırlanma aőamasında desteklerini esirgemeyen arkadaőım kardeőim çok sevgili Yeliz Akbulut 'a ve İlhan Küçük'e

Hayatımın ana karakterleri olan oğullarım Karahan ve M. Denizhan ve sevgili eőim M. Recai UTKU'ya ve beni bugüne insan üstü bir sabır ve özveri ile getiren haklarını ödeyemeyeceğim annem Nursen KILIÇER ve babam Aziz KILIÇER'e

Tezin uygulama aőamasında vermiő oldukları maddi ve manevi destekten dolayı, İnönü Üniversitesi BAP birimine

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Biyokütle Karışımlarının Farklı Sıcaklık ve Isıtma Hızlarında Karbonizasyonu ile Karbonize Ürünlerden KOH Kullanılarak Aktif Karbon El-desi ve Karakterizasyonu” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

TUĞBA UTKU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ.....	ii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xv
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER	2
2.1. Biyokütle, Geleceğin Hammaddesi ve Biyokütle Temelli Enerji.....	2
2.1.1 Biyokütle ve biyoenerjinin tarihsel geçmişi.....	3
2.1.2 Biyokütle kaynaklarının kullanımının avantaj ve dezavantajları.....	4
2.1.3 Biyokütle kaynakları.....	7
2.1.4 Biyokütle dönüşüm teknolojileri	16
2.1.5 Dünya’da biyokütle potansiyeli	19
2.1.6 Türkiye’de biyokütle potansiyeli.....	22
2.2 Aktif Karbon	24
2.2.1 Aktif karbonun tarihsel gelişimi.....	25
2.2.2 Aktif karbonun yapısı	26
2.2.3 Aktif karbon üretiminde kullanılabilen hammaddeler.....	27
2.2.4 Aktif karbonun uygulama alanları.....	30
2.2.4.1 Gaz faz uygulamalar	31
2.2.4.2 Sıvı faz uygulamaları.....	33
2.2.5 Aktif karbon üretim yöntemleri.....	34
2.2.5.1 Fiziksel aktivasyon	37
2.2.5.2 Kimyasal aktivasyon.....	38
2.2.6 Aktif karbonun Dünya ve Türkiye’deki durumu.....	40
2.3 Adsorpsiyon	43
2.3.1 Adsorpsiyon çeşitleri	43
2.3.2 Adsorpsiyon izotermi	45
2.3.3 Adsorpsiyon kinetiği.....	48
2.3.4 Adsorpsiyonu etkileyen faktörler	50
3.MATERYAL VE YÖNTEM	53
3.1 Deneyde Kullanılan Materyaller ve Cihazlar	53
3.2 Yöntem	55

3.2.1. Biyokütle temini	55
3.2.2. Karbonizasyon işlemi ve aktif karbon sentezi	55
3.2.3. Aktif Karbon karakterizasyonu	56
3.2.4. Adsorpsiyon ve kinetik çalışması	56
4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR.....	59
4.1. Hammadde Olarak Kullanılan Biyokütle Analizleri	59
4.1.1. Hemiselüloz, Selüloz ve Lignin Yapıları	59
4.1.2. Element analiz sonuçları	61
4.1.3. FTIR analiz sonuçları	61
4.1.4. XRD Analiz sonuçları.....	64
4.1.5. SEM Analiz sonuçları	65
4.2. Karışım Olarak Hazırlanan Karbonize Ürünlerin Analizleri	67
4.2.1. Katı, sıvı ve gaz verimleri.....	67
4.2.2. Element analiz sonuçları	68
4.2.3. FTIR Analiz sonuçları.....	69
4.2.4. XRD Analiz Sonuçları	71
4.2.5. SEM Analiz Sonuçları	73
4.3. Hazırlanan Aktif Karbonların Analiz Sonuçları	75
4.3.1. Aktif karbonların BET yüzey alanı ölçümleri.....	75
4.3.2. Aktif karbonların azot adsorpsiyonu grafikleri	77
4.3.3. Aktif karbonların gözenek boyut dağılımları	86
4.3.4. Aktif Karbonların Element Analizleri	95
4.3.5. Aktif Karbonların FTIR Spektrumları	96
4.3.6. Aktif Karbonların XRD Spektrumları	101
4.3.7. Aktif Karbonların SEM görüntüleri	105
4.4. Adsorpsiyon Sonuçları	115
4.4.1. Adsorpsiyon kapasitesi sonuçları	115
4.4.2. Kinetik çalışmalar.....	116
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	127
KAYNAKLAR	129
ÖZGEÇMİŞ	141

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1 Bazı biyokütle türlerinin ve kömürün element analizleri (% ağ.).....	5
Çizelge 2. 2 : Bazı biyokütle türlerinin ve fosil yakıtların üst ısıl değerleri.....	6
Çizelge 2. 3 : Çeşitli mahsuller ve üretilen enerji bitkileri[31].....	8
Çizelge 2. 4 : Çeşitli biyokütlelerin element ve kısa analizleri [36]	9
Çizelge 2. 5 (devam): Çeşitli biyokütlelerin element ve kısa analizleri [36].....	10
Çizelge 2. 6 : Ülkelere göre dünya kayısı üretim miktarı (ton)[38].....	11
Çizelge 2. 7 : Türkiye ve şehirlerinde kayısı üretim miktarı (ton)[39]	12
Çizelge 2. 8 : Ülkelere göre dünya şeftali üretim miktarı (ton)[42].....	12
Çizelge 2. 9 : Türkiye ve şehirlerinde şeftali üretim miktarı (ton)[39]	13
Çizelge 2. 10 : Ülkelere göre dünya ceviz üretim miktarı (ton)[44]	13
Çizelge 2. 11 : Türkiye ve şehirlerinde ceviz üretim miktarı (ton)[39].....	14
Çizelge 2. 12 : Ülkelere göre dünya antepfıstığı üretim miktarı (ton)[46]	14
Çizelge 2. 13 : Türkiye ve şehirlerinde antepfıstığı üretim miktarı (ton)[39]	15
Çizelge 2. 14 : Ülkelere göre dünya badem üretim miktarı (ton) [49]	15
Çizelge 2. 15 : Türkiye ve şehirlerinde badem üretim miktarı (ton)[39]	16
Çizelge 2. 16 : Bazı biyokütlelere ait çevrim yöntemleri, elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları[53]	17
Çizelge 2. 17 : Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [54]	19
Çizelge 2. 18 : Biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki yerinin yıllara göre oranı [56].....	21
Çizelge 2. 19 : Aktif karbon üretmek için kullanılan hammaddelerden bazıları [76].....	29
Çizelge 2. 20 : Farklı uygulama alanları için aktif karbon özellikleri [80-82]	31
Çizelge 2. 21 : Aktif karbonun gaz fazı uygulamaları [82]	32
Çizelge 2. 22 : Aktif karbon ve sıvı faz uygulamaları [83]	33
Çizelge 2. 23 : ABD’de aktif karbon ürünlerine göre piyasa durumu (2014-2025) milyon dolar	40
Çizelge 2. 24 : Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması.....	44
Çizelge 2. 25 : Adsorpsiyon izoterm tipleri [115-142].....	46
Çizelge 2. 26 (devam): Adsorpsiyon izoterm tipleri [115-142]	47
Çizelge 2. 27 : Bu çalışmada kullanılan izoterm ve kinetik denklemlerin lineer ve lineer olmayan formları [123-142]	49
Çizelge 3. 1 : Kullanılan hammaddeler	53
Çizelge 3. 2 : Kullanılan cihaz ve kimyasallar.....	54
Çizelge 3. 3 : Karbonize ve aktif karbon numunelerine verilen kodlar ve çalışma şartları.....	57
Çizelge 4. 1 : Hammaddelerin lignoselülozik analiz verileri(%m/m).....	59
Çizelge 4. 2 : Ham biyokütlelere ait verimler	59
Çizelge 4. 3 (devam) : Ham biyokütlelere ait verimler	60
Çizelge 4. 4: Ham biyokütlelerin element analizleri	61
Çizelge 4. 5 : Biyokütlelere ait FTIR absorpsiyon pikleri [162].....	62
Çizelge 4. 6 : Karışım karbonize ürünlere ait Katı, Sıvı ve Gaz Verimleri	67
Çizelge 4. 7 : Karışım karbonize ürünlere ait elementel analiz sonuçları	68
Çizelge 4. 8 : Aktif karbonların BET yüzey ölçümleri.....	76
Çizelge 4. 9 : Aktif karbon ürünlere ait elementel analiz sonuçları	95

Çizelge 4. 10 : Aktif karbonların adsorpsiyon kapasiteleri	115
Çizelge 4. 11 : Kinetik ve adsorpsiyon denklemlerine ait sonuçlar	125



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 : ISO TC 238 standardına göre biyokütle üretim ile biyoyakıt ve dönüşüm ile biyoenerji arasındaki ilişki[6].....	3
Şekil 2. 2 : Karasal, su kaynaklı ve atıklar olmak üzere biyokütle çeşitleri[29].....	7
Şekil 2. 3 : Biyokütle enerji dönüşüm yöntemleri[52]	17
Şekil 2. 4 : Biyokütleden elde edilen katı, sıvı, gaz ürünlerin yüzdesi.....	22
Şekil 2. 5 : Aktif karbonun yapısı[63-65].....	24
Şekil 2. 6 : Grafit kristallerinin yapısı	27
Şekil 2. 7 : Aktif karbon yüzeyindeki gaz molekülleri.....	32
Şekil 2. 8 : Aktif karbon hammadde, çeşitleri ve uygulaması	35
Şekil 2. 9 : Aktif karbon tipleri	36
Şekil 2. 10 : Kimyasal Aktivasyon Birinci Yöntem.....	38
Şekil 2. 11 : Kimyasal aktivasyon ikinci yöntem.....	38
Şekil 2. 12 : Dünyada aktif karbonun nihai kullanımına göre pazar payı, 2018.....	41
Şekil 2. 13 : Dünyadaki aktif karbon tüketimi, 2016	42
Şekil 2. 14 : Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon	44
Şekil 2. 15 : Metilen mavisi	52
Şekil 2. 16 : Protherm PZF 12/50/700 model fırın.....	52
Şekil 4. 1 : Ceviz kabuğunun FTIR.....	63
Şekil 4. 2 : Şeftali çekirdeği kabuğunun FTIR spektrumu	63
Şekil 4. 3 : Kayısı çekirdeği kabuğunun FTIR spektrumu	63
Şekil 4. 4 : Badem çekirdeği kabuğunun FTIR spektrumu.....	63
Şekil 4. 5 : Antep fıstığı kabuğunun FTIR spektrumu	63
Şekil 4. 6 : Ceviz kabuğunun XRD spektrumu	64
Şekil 4. 7 : Şeftali çekirdeği kabuğunun XRD spektrumu.....	64
Şekil 4. 8 : Kayısı çekirdeği kabuğunun XRD spektrumu.....	64
Şekil 4. 9 : Badem kabuğunun XRD spektrumu	64
Şekil 4. 10 : Antep fıstığı kabuğunun XRD spektrumu.....	64
Şekil 4. 11 : Antep fıstığı kabuğunun SEM görüntüleri	65
Şekil 4. 12 : Badem kabuğunun SEM görüntüleri	65
Şekil 4. 13 : Ceviz kabuğu SEM görüntüleri	66
Şekil 4. 14 : Kayısı çekirdeği kabuğu SEM görüntüleri.....	66
Şekil 4. 15 : Şeftali çekirdeği kabuğu SEM görüntüleri.....	66
Şekil 4. 16 : T6, T7 ve T8 karışımlarına ait FTIR spektrumları	69
Şekil 4. 17 : T4, T9 ve T10 karışımlarına ait FTIR spektrumları	70
Şekil 4. 18 : T11, T12 ve T13 karışımlarına ait FTIR spektrumları.....	70
Şekil 4. 19 : T6, T7 ve T8 karışımlarına ait XRD spektrumları.....	71
Şekil 4. 20 : T4, T9 ve T10 karışımlarına ait XRD spektrumları.....	72
Şekil 4. 21 : T11, T12 ve T13 karışımlarına ait XRD spektrumları.....	72
Şekil 4. 22 : T4 karışımına ait SEM görüntüsü	73
Şekil 4. 23 : T6 karışımına ait SEM görüntüsü.....	73
Şekil 4. 24 : T7 karışımına ait SEM görüntüsü.....	73
Şekil 4. 25 : T8 karışımına ait SEM görüntüsü.....	73
Şekil 4. 26 : T9 karışımına ait SEM görüntüsü.....	74
Şekil 4. 27 : T10 karışımına ait SEM görüntüsü.....	74
Şekil 4. 28 : T11 karışımına ait SEM görüntüsü.....	74
Şekil 4. 29 : T12 karışımına ait SEM görüntüsü.....	74

Şekil 4. 30 : T13 karışımına ait SEM görüntüsü.....	74
Şekil 4. 31 : T411 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	77
Şekil 4. 32 : T412 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	77
Şekil 4. 33 : T413 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	77
Şekil 4. 34 : T611 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	78
Şekil 4. 35 : T612 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	78
Şekil 4. 36 : T613 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	78
Şekil 4. 37 : T711 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	79
Şekil 4. 38 : T712 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	79
Şekil 4. 39 : T713 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	79
Şekil 4. 40 : T811 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	80
Şekil 4. 41 : T812 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	80
Şekil 4. 42 : T813 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	80
Şekil 4. 43 : T911 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	81
Şekil 4. 44 : T912 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	81
Şekil 4. 45 : T913 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	81
Şekil 4. 46 : T1011 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	82
Şekil 4. 47 : T1012 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	82
Şekil 4. 48 : T1013 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	82
Şekil 4. 49 : T1111 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	83
Şekil 4. 50 : T1112 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	83
Şekil 4. 51 : T1113 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	83
Şekil 4. 52 : T1211 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	84
Şekil 4. 53 : T1212 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	84
Şekil 4. 54 : T1213 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	84
Şekil 4. 55 : T1311 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	85
Şekil 4. 56 : T1312 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	85
Şekil 4. 57 : T1313 aktif karbonuna ait N ₂ adsorpsiyonu	85
Şekil 4. 58 : T411 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	86
Şekil 4. 59 : T412 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	86
Şekil 4. 60 : T413 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	86
Şekil 4. 61 : T611 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	87
Şekil 4. 62 : T612 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	87
Şekil 4. 63 : T613 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	87
Şekil 4. 64 : T711 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	88
Şekil 4. 65 : T712 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	88
Şekil 4. 66 : T713 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	88
Şekil 4. 67 : T811 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	89
Şekil 4. 68 : T812 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	89
Şekil 4. 69 : T813 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	89
Şekil 4. 70 : T911 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	90
Şekil 4. 71 : T912 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	90
Şekil 4. 72 : T913 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	90
Şekil 4. 73 : T1011 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	91
Şekil 4. 74 : T1012 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	91
Şekil 4. 75 : T1013 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	91
Şekil 4. 76 : T1111 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	92
Şekil 4. 77 : T1112 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği.....	92

Şekil 4. 78 : T1113 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği	92
Şekil 4. 79 : T1211 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği	93
Şekil 4. 80 : T1212 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği	93
Şekil 4. 81 : T1213 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği	93
Şekil 4. 82 : T1311 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği	94
Şekil 4. 83 : T1312 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği	94
Şekil 4. 84 : T1313 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği	94
Şekil 4. 85 : 400 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	96
Şekil 4. 86 : 400 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	96
Şekil 4. 87 : 500 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	97
Şekil 4. 88 : 600 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	97
Şekil 4. 89 : 500 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	98
Şekil 4. 90 : 600 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	98
Şekil 4. 91 : 400 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	99
Şekil 4. 92 : 500 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	99
Şekil 4. 93 : 600 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği	100
Şekil 4. 94 : 400 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	101
Şekil 4. 95 : 400 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	101
Şekil 4. 96 : 500 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	102
Şekil 4. 97 : 600 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	102
Şekil 4. 98 : 500 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	103
Şekil 4. 99 : 600 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	103
Şekil 4. 100 : 400 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	104
Şekil 4. 101 : 500 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	104
Şekil 4. 102 : 600 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği	105
Şekil 4. 103 : T411 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	106
Şekil 4. 104 : T412 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	106
Şekil 4. 105 : T413 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	106
Şekil 4. 106 : T611 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	107
Şekil 4. 107 : T612 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	107

Şekil 4. 108 : T613 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	107
Şekil 4. 109 : T711 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	108
Şekil 4. 110 : T712 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	108
Şekil 4. 111 : T713 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	108
Şekil 4. 112 : T811 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	109
Şekil 4. 113 : T812 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	109
Şekil 4. 114 : T813 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	109
Şekil 4. 115 : T911 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	110
Şekil 4. 116 : T912 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	110
Şekil 4. 117 : T913 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	110
Şekil 4. 118 : T1011 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	111
Şekil 4. 119 : T1012 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	111
Şekil 4. 120 : T1013 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	111
Şekil 4. 121 : T1111 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	112
Şekil 4. 122 : T1112 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	112
Şekil 4. 123 : T1113 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	112
Şekil 4. 124 : T1211 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	113
Şekil 4. 125 : T1212 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	113
Şekil 4. 126 : T1213 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	113
Şekil 4. 127 : T1311 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	114
Şekil 4. 128 : T1312 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	114
Şekil 4. 129 : T1313 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri	114
Şekil 4. 130 : 25°C için partikül içi difüzyon 2. bölge kinetik modeli grafiği	116
Şekil 4. 131 : 37°C için partikül içi difüzyon 1. bölge kinetik modeli grafiği	116
Şekil 4. 132 : 50°C için partikül içi difüzyon 3. bölge kinetik modeli grafiği	117
Şekil 4. 133 : 25°C yalancı birinci mertebe kinetik modeli grafiği.....	117
Şekil 4. 134 : 37°C yalancı birinci mertebe kinetik modeli grafiği.....	118
Şekil 4. 135 : 50°C yalancı birinci mertebe kinetik modeli grafiği.....	118
Şekil 4. 136 : 25°C yalancı ikinci mertebe kinetik modeli grafiği.....	119
Şekil 4. 137 : 37°C yalancı ikinci mertebe kinetik modeli grafiği.....	119
Şekil 4. 138 : 50°C yalancı ikinci mertebe kinetik modeli grafiği.....	120
Şekil 4. 139 : 25°C Elovich kinetik modeli grafiği	120
Şekil 4. 140 : 37°C Elovich kinetik modeli grafiği	121
Şekil 4. 141 : 50°C Elovich kinetik modeli grafiği	121
Şekil 4. 142 : 25°C Avrami kinetik modeli grafiği	122
Şekil 4. 143 : 37°C Avrami kinetik modeli grafiği	122
Şekil 4. 144 : 50°C Avrami kinetik modeli grafiği	123
Şekil 4. 145 : 25°C Bangham kinetik modeli grafiği	123
Şekil 4. 146 : 37°C Bangham kinetik modeli grafiği	124
Şekil 4. 147 : 50°C Bangham kinetik modeli grafiği	124

SİMGELER VE KISALTMALAR

ISO/TC	: International Organization for Standardization/Technical Committee
EPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
BEPA	: Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası
IUPAC	: International Union of Pure and Applied Chemistry
IPCC	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
EJ	: Egzajoule
PJ	: Petajoule
mt	: Militon
Θ	: Teta
TEP	: Ton eşdeğer petrol
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
BET	: BET yüzey alanı tayin cihazı
UV	: Morötesi spektroskopisi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
XRD	: X ışınları spektroskopisi
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
T4	: 400 °C sıcaklıkta 5 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T6	: 400 °C sıcaklıkta 3 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T7	: 500 °C sıcaklıkta 3 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T8	: 600 °C sıcaklıkta 3 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T9	: 500 °C sıcaklıkta 5 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T10	: 600 °C sıcaklıkta 5 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T11	: 400 °C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T12	: 500 °C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T13	: 600 °C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T411	: T4 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T412	: T4 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T413	: T4 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T611	: T6 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T612	: T6 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T613	: T6 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T711	: T7 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T712	: T7 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T713	: T7 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T811	: T8 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T812	: T8 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
T813	: T8 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi

- T911 : T9 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T912 : T9 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T913 : T9 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1011 : T10 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1012 : T10 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1013 : T10 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1111 : T11 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1112 : T11 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1113 : T11 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1211 : T12 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1212 : T12 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1213 : T12 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1311 : T13 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1312 : T13 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi
- T1313 : T13 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon numunesi

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BİYOKÜTLE KARIŞIMLARININ FARKLI SICAKLIK ve ISITMA HIZLARINDA KARBONİZASYONU ile KARBONİZE ÜRÜNLERDEN KOH KULLANILARAK AKTİF KARBON ELDESİ VE KARAKTERİZASYONU

TUĞBA UTKU

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

141 + xvi sayfa

2021

Danışman: Doç. Dr. Yunus ÖNAL

Ülkemizde ve ilimizde endüstriyel ölçekte üretilen farklı biyoküteller (kayısı çekirdeği kabuğu, ceviz kabuğu, şeftali çekirdeği kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, badem çekirdeği kabuğu) kullanılarak karbonize edildikten sonra kimyasal aktivasyon yöntemi ile KOH kullanılarak aktif karbon elde edilmiştir. Biyoküteller işletmelerden alındığı şekli ile boyut küçültme işlemi yapılmadan deneylerde kullanılmıştır. Biyoküteller kütle oranları 1/1 olacak şekilde orijinal formunda karıştırılarak 400°C, 500°C, 600°C'de 100 ml/dk N₂ akış hızında 3°C/dk, 5°C/dk ve 10°C/dk ısıtma hızları ile maksimum sıcaklıkta 1 saat karbonize edilmiştir. Karbonizasyon işleminde fırın çıkışına geri soğutucu konularak piroliz sıvısı alınmış ve kütle denkleğinden katı, sıvı ve gaz verimleri hesaplanmıştır. Karbonize ürünlerden uygun miktarlarda alınarak kütle oran 1:1, 1:2 ve 1:3 olacak şekilde KOH ile emdirme (impregnasyon) işlemi 800 °C'de ve 10°C/dk ısıtma hızında 1 saat kimyasal aktivasyon işlemi yapılmıştır. Elde edilen aktif karbonlar BET, SEM, XRD, FTIR ve CHNS analizleri ile karakterize edilmişlerdir. Tüm aktif karbon örneklerinin adsorpsiyon kapasiteleri için metilen mavisi kullanılmıştır. Ayrıca metilen mavisi boya adsorpsiyonu ve kinetik çalışılmıştır.

Yapılan analizler sonucu ham biyokütle örneklerinin hemiselüloz, selüloz ve lignin yapılarının farklı olduğu belirlenmiştir. Buna karşın karbon içeriklerinin (%47,37-50,45) birbirine yakın değerde olduğu belirlenmiştir. Tüm örneklerin karbonizasyon katı veriminin %26,4-33,00 aralığında, sıvı veriminin %26,9-41,3 ve gaz veriminin %26,4-46,7 aralığında

değiştiği belirlenmiştir. Genel olarak karbonizasyon sıcaklığı arttıka gaz verimi artarken katı verimi azalmıştır. Karbonize örneklerin aktivasyonu sonucu elde edilen aktif karbonların yüzey alanı tüm örnekler için 394,05-1717,20 m²/gram aralığında değişmiştir. Metilen mavisi adsorpsiyon kinetiğinin yalancı 2.mertebe olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Biyokütle, Biyokütle Karışım, Aktif Karbon, Kimyasal Aktivasyon



ABSTRACT

Ph.D. Thesis

FROM CARBONIZED PRODUCTS by CARBONIZATION of BIOMASS MIXTURES
at DIFFERENT TEMPERATURES and HEATING RATES
ACTIVE CARBON GENERATION and CHARACTERIZATION USING KOH

TUĞBA UTKU

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

141 + xvi pages

2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yunus ÖNAL

Activated carbon was obtained by using KOH by chemical activation method after carbonizing using different biomass (apricot seed shell, walnut shell, peach seed shell, pistachio shell, almond seed shell) produced on industrial scale in our country and province. Biomass was taken from enterprises and used in experiments without size reduction. Biomass was mixed in its original form with a mass ratio of 1/1 and carbonized for 1 hour at maximum temperature with heating speeds of 3°C/min, 5°C/min and 10°C/min at a flow rate of 100 ml/min N₂ at 400°C, 500°C, 600°C. In the carbonization process, pyrolysis liquid was taken by placing the condenser at the furnace outlet and solid, liquid and gas yields were calculated from the mass equivalence. Carbonized products were taken in appropriate quantities and mass ration 1:1, 1:2 and 1:3 with KOH impregnation process was performed at 800 °C and 1 hour chemical activation process at 10°C/min heating rate. The resulting activated carbons were characterized by BET, SEM, XRD, FTIR and CHNS analyses. Methylene blue was used for the adsorption capacities of all activated carbon samples. In addition, methylene blue dye adsorption and kinetics have been studied.

As a result of the analysis, it was determined that the hemicellulose, cellulose and lignin structures of the raw biomass samples were different. However, carbon content (47.37-50.45%) was found to be close to each other. It was determined that the carbonization solid yield of all samples varied in the range of 26.4-33.00%, liquid yield in the range of 26.9-41.3% and gas yield in the range of 26.4-46.7%. In general, as the carbonization temperature increases, the gas yield increases, while the solid yield decreases. The surface area of activated carbon obtained as a result of activation of carbonized samples varied in the range of

394, 05-1717, 20 m²/gram for all samples. Methylene blue adsorption kinetics were determined to be pseudo-2.

KEYWORDS: Biomass, Biomass mix, Activated Carbon, Chemical Activation



1.GİRİŞ

Nüfusun kırsaldan şehirlere göç etmesi her alanda endüstrileşmeyi beraberinde getirmiştir. Bunun sonucu çevre kirliliği daha kontrol edilebilir olurken gerek toplanabilir çöp, toplanabilir atık biyokütle ile gerekse atık su miktarı çok büyük boyutlara ulaşmıştır. Çevre kirliliğine ilaveten insan ihtiyaçları için gıda üretiminin de sanayileşmesini sağlamıştır. Çevre kirliliğinde hava yanında su kirliliği önemli boyutlara ulaşmış olup arıtımda yeni teknolojiler yanında kaliteli adsorbanların kullanımını artırmıştır. Özellikle su arıtımında yüksek yüzey alanı ve gözenekliliği sayesinde aktif karbon ön plana çıkmaktadır. Tıpta zehirlenme vakalarında aktif karbon solüsyonu kullanılmaktadır. İlaç üretiminde saflaştırma işleminde önemli adsorplayıcı olarak yaygın kullanıma sahiptir. Aktif karbon adsorpsiyon işleminden sonra rejenere edilip tekrar kullanılması yanında karbon içerikli malzeme olduğundan yakıt olarak kullanılabilir. Polimerik temelli membranlar ile birlikte evsel içme sularının sağlıklı bir şekilde kullanımında kullanılmaktadır. Uzay çalışmalarında havanın temizlenmesinde ve su arıtımında kullanılan çok önemli bir materyaldir.

Bunların dışında genel olarak aktif karbonlar, proses gazlarının saflaştırılmasından, sulu ortamdan organik kirliliklerin uzaklaştırılmasından, katalitik proseslerde katalizör olarak, elektrokimyasal sistemlerde elektrot materyali olarak, yeni nesil süper kapasitörlerin üretiminden, oldukça geniş endüstri kollarında yaygın kullanım alanı olan bir materyaldir. Yeni nesil enerji depolama sistemlerinde çok büyük öneme sahip olacağı açıktır. Çözücü buharlarının yoğun olduğu işletmelerde çözücü geri kazanımında aktif karbon adsorban olarak ucuz ve etkin kullanıma sahiptir. Toprakta altın eldesinde siyanürlü altın kompleksinin adsorpsiyonunda kullanılan tek materyaldir. Bilimsel olarak literatürde üzerinde en çok çalışılan materyallerden bir tanesidir.

2.KURAMSAL TEMELLER

2.1. Biyokütle, Geleceğin Hammaddesi ve Biyokütle Temelli Enerji

Geçmişten geleceğe yerkürede yaşayan bitki ve hayvanların kalıntıları fosil kaynakları oluşturmaktadır ve oluşturacaktır. Geçmişin ve geleceğin başlıca fosil kaynaklardan biri biyokütle olup, biyokütle terimi belirli bir zaman, alan ya da hacim ölçüsünde toprak üstünde ve altında yaşayan bitkisel ve hayvansal maddelerin miktarı olarak literatürde tanımlanır.

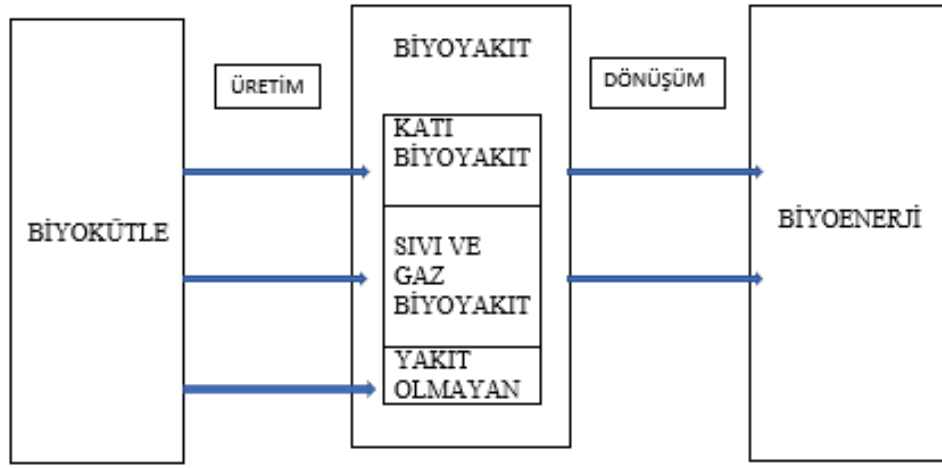
Genel olarak biyolojik kökenli yapıya sahip olup, fosil yapıya geçmemiş organik kökenli olan biyokütlenin kimyasal içeriğinde karbonun(C) yanı sıra hidrojen (H), azot (N), oksijen (O) ve çok da az miktarda alkali, toprak alkali ve ağır metaller içeren atomlar vardır. Ana bileşenleri, karbonhidrat içerikli bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, yüzyıllık dönemden daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler biyokütle olarak tanımlanabilir [1,2].

Biyokütleyi oluşturan maddelerin %90'ı tarımsal atıklar, ormanlarda bulunan odunsu maddeler ve geri kalanı canlı popülasyonudur. Yeryüzünde bulunan ormanların yıllık biyolojik üretiminin yaklaşık 5×10^{19} ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu üretim miktarı ziraat alanlar, çayırliklar, otlaklar, stepler, tundralar ve geri kalan vejetasyon formlarında fotosentez ile oluşan bütün birincil biyokütle miktarlarından daha fazladır [3].

Dünyanın petrol, doğalgaz ve kömüre olan bağımlılığı ve bu kaynakların hızla azalması yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütleyi alternatif yakıt olarak karşımıza çıkarmaktadır [4].

Biyokütle enerjisi ise diğer enerji kaynakları arasında 100 yıldan daha az zamanda kendini yenileyebilme özelliği ile kendisine olan talebi artırmış, karada veya suda yetişen her türlü bitkiyi içeren, kentsel, ormansal ve besin endüstrisi tarafından meydana gelen atıkların oluşturduğu organik maddelerin işlenmesiyle ortaya çıkan enerjiyi ifade eder hale gelmiştir [5].

Biyokütleden katı, sıvı ve gaz olarak biyoenerji üretilebilmektedir. Bu yakıtların sınıflandırılması ISO/TC tarafından yapılmıştır. Katı biyoyakıtlar ISO/TC 238 ile tanımlanırken, sıvı biyoyakıtlar ISO/TC 28/SC7'de tanımlanmıştır. Ülkemizde ise katı biyoyakıtlar, yakıt özellikleri ve sınıfları TS EN ISO 17225-1 standartlarına göre değerlendirilmektedir. Şekil 2.1'de ISO TC 238'e göre biyokütle, biyoyakıt ve biyoenerji arasındaki etkileşim gösterilmiştir [6].



Şekil 2. 1 : ISO TC 238 standardına göre biyokütle üretim ile biyoyakıt ve dönüşüm ile biyoenerji arasındaki ilişki[6]

2.1.1 Biyokütle ve biyoenerjinin tarihsel geçmişi

Milattan önceki zamanlardan günümüze kadar gelen süre içinde biyokütlenin tüm formları; beslenme, yakıt, gübre, hayvan besleme ve hammadde olarak tüm ihtiyaçlara yönelik kullanılan bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Öyle ki yaşamın, uygarlaşmanın, yerleşik düzene geçmenin, medenileşmenin belirleyici unsuru haline gelen biyokütle enerjisi tarım arazilerinin kurulmasından köylerin ve şehirlerin kurulmasına kadar birçok alanda rol oynamıştır. Günümüzde, fosil kaynaklı elde edilen temel enerji kaynaklarımız hayatın içindeki yeri ne ise biyokütle enerjisinin de geçmiş medeniyetlerdeki yeri aynı idi. Şöyle ki günümüzde yapılan çalışmalarda Orta Afrika’da binlerce yıl öncesinde orman kökenli biyoenerji kaynağı olarak odun-kömürünün medenileşmenin bir örneği olan demir eritmede kullanıldığı kanıtlanmıştır [7]. Medenileşmeden sonraki sanayileşme aşamasının da yine biyoenerji kaynaklarına dayandığı hatta Amerika ve Avrupa’nın zengin orman kaynaklarının mevcudiyeti ve sanayi devriminde bu kaynaklardan biyoenerji eldesinin gelişmelerinde önemli rol oynadığı birçok tarihçi tarafından savunulmaktadır [8].

İnsanlığın varoluşundan günümüze kadar geçen bu sürenin başlarında beslenme, pişirme, barınma, ısınma, savunma ve demir işleme gibi birçok alanda enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan biyokütle temelli kaynakların yerini zamanla fosil kaynaklı enerjilere bırakmıştır. Fakat daha sonra artan nüfus ve kentleşme, doğal hammadde ihtiyacındaki artmaya karşı azalan fosil kaynaklardaki tükenme, ayrıca fosil kaynaklı enerji kullanımından doğan ciddi çevre sorunları, insanoğlunu temiz yenilenebilir çevre dostu ve sürdürülebilir kaynaklardan olan biyokütleyle dönüşümü kolaylaştırmıştır.

2.1.2 Biyokütle kaynaklarının kullanımının avantaj ve dezavantajları

Biyokütle maddeler ve onlardan elde edilen yakıtların enerji kaynağı olarak kullanılmaları, fosil yakıtlar ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre önemli avantajlara sahiptir. Bu avantajlar:

*Biyokütle maddeler, dünyanın hemen hemen her yerinde doğal olarak yetişir ve bulunurlar. Dünya çapında dördüncü büyük enerji kaynağı olan biyokütle maddeler, Dünya birincil enerji tüketiminin yaklaşık %14-15'ini kapsar. Bu oran gelişmekte olan ülkelerde %35-38'e ulaşabilmektedir [9-12]. Biyokütle maddeler, enerji kaynağı olarak bolca bulunabilirlik avantajının yanı sıra, ülkelere kendi sınırlarındaki hammaddeleri kullanarak enerjilerini üretebilme olanağı sağladığından, ülkelerarası anlaşmazlıkların azalmasında rol oynayabilir [13].

*Biyokütle maddeler ucuz ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtların kullanım nedeniyle rezervlerinde meydana gelen azalma biyokütle maddeler için geçerli değildir [14] [15].

*Biyokütle maddeler diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine kimyasal enerjiyi depolanmış halde içerirler. Güneş enerjisini kullanarak, atmosferdeki karbon dioksiti fotosentez yoluyla organik maddelere çevirirler. Böylece, Güneş enerjisi biyokütle maddelerin bünyesinde kimyasal enerji olarak depolanmış olur.

*Biyokütle maddeler çok amaçlı ve biçimlendirilebilen enerji kaynaklarıdır. Sıvı, katı ve gaz yakıtlara dönüştürülebilirler. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bu özelliğe sahip tek kaynak konumundadırlar [16].

*Biyokütle maddelerin dönüşümlerinin, kimyasal yapıları sebebiyle, kömürün dönüşümüne göre daha kolay olduğu düşünülmektedir [17].

*Biyokütle maddeler CO₂ ile ilgili çevresel problemlere sebep olmazlar. Atmosferdeki CO₂ miktarını fotosentez ile sabitlediklerinden, atmosfere olan net karbon katkıları sıfırdır.

*Çeşitli biyokütle atık maddelerin enerji kaynağı olarak kullanılması bu atık maddelerin yok olmasını sağlayarak, olası çevresel problemleri engellemiştir.

Çizelge 2. 1 Bazı biyokütle türlerinin ve kömürün element analizleri (% ağı.)

	C	H	N	S	O*
Kömür ¹	81,5	4,0	1,2	3,00	3,3
Antep Fıstığı Kabuğu ²	50,9	6,4	0,7	0,22	41,8
Buğday Sapı ¹	41,8	5,5	0,7	T.E	35,5
Ceviz Kabuğu ²	49,9	6,2	1,4	0,09	42,4
Mısır Sapı ²	48,7	6,4	0,7	0,08	44,1
Badem Kabuğu ²	50,3	6,2	1,0	0,05	42,5
Hindistan cevizi Kabuğu ²	51,1	5,6	0,1	0,10	43,1
Fındık Kabuğu ²	51,5	5,5	1,4	0,04	41,6
Şekerkamışı Küspesi ²	49,8	6,0	0,2	0,06	43,9
Zeytin Atığı ²	58,4	5,8	1,4	0,23	34,2
Şeftali Çekirdeği Kabuğu ³	50,5	5,7	0,07	T.E.	43,8
Kayısı Çekirdeği Kabuğu ⁴	49,3	6,4	0,3	T.E.	44,0
Odun Atığı ²	51,4	6,1	0,5	0,08	41,9
Biyokütle Karışımları ²	56,7	6,6	2,7	0,85	33,1
Odun & Tarımsal Atık ²	52,4	6,0	0,4	0,04	41,2
Odun & Badem Atığı ²	50,9	5,9	0,6	0,08	42,5
Odun & Saman Atığı ²	51,7	6,3	0,4	0,013	41,5

1 [11]; 2 [21]; 3 [22]; 4 Mevcut Çalışma

*: Farktan hesaplanmıştır.

T.E: Tayin edilememiştir.

Çizelge 2.1’de bazı biyokütle türlerinin ve kömürün element analiz değerleri verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere, biyokütle türlerin kömürle karşılaştırıldıklarında genellikle

daha az azot ve kükürt içerirler. Böylece, yakılmaları ile gerçekleşen NO_x ve SO_x oranları kömüre göre daha azdır [18,19]. Bu sebeple NO_x ve SO_x emisyonlarının sebep olduğu fotokimyasal hava kirliliğine, asit yağmurlarına, sera etkisine ve stratosferik ozonun tükenmesindeki etki oranı daha düşüktür [20].

Dezavantajlardan bahsedecek olursak, biyokütlelerin çeşitli özellikleri enerji kaynağı olarak kullanılmalarını kısıtlamakta ve dezavantaj oluşturmaktadır. Bu özellikler aşağıda sıralanmaktadır.

*Bazı biyokütleler fosil yakıtlara göre düşük enerji içeriğine sahiptirler. Kuru külsüz temelde dahi ısı değerleri fosil yakıtlara göre oldukça düşüktür. Bazı biyokütle türleri ile fosil yakıtların ısı değerlerinin karşılaştırması Çizelge 2.2’de verilmektedir. Bu durum, biyokütlenin oksijen içeriğinden kaynaklanmaktadır. Yapılarında bulunan oksijen, yakıt olarak kullanılabilen kısımlar olan karbon ve hidrojen içeriğini azaltmaktadır [23].

Çizelge 2. 2 : Bazı biyokütle türlerinin ve fosil yakıtların üst ısı değerleri

Madde	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
Bitkisel Besin Atıkları	1004
Saf Selüloz	4183
Buğday Samanı	4207
Antep Fıstığı Kabuğu¹	4273
Ceviz Kabuğu*	4390
Çimen	4422
Sentetik Olmayan Tekstil Atıkları	4446
Kayısı Çekirdeği*	4680
Çam Odunu	5067
Bitümlü Kömür	8007
Atık Lastik	9154
Petrol	10516

[24] , *:[25], 1:[26]

*Biyokütle genellikle yüksek oranda nem içerirler. Bu nedenle, enerji kaybına neden olduklarından yakma proseslerinde doğrudan kullanılmazlar. Ayrıca, içerdikleri nem sebebiyle çürümeye yatkındırlar ve bu da depolanmalarında sorun yaratmaktadır.

*Biyokütle genellikle düşük yoğunluğa ve özellikle de düşük yığın yoğunluğuna sahiptirler. Bu özellikleri sebebiyle depolanmaları, yakılmaları ve işlenmeleri için büyük ölçüde ekipmanlar ve alanlar gerektirirler. Ayrıca, geniş alanlara yayılı olmaları toplanmaları esnasında sorun yaratır [27].

*Fiziksel yapıları nadiren homojendir ve genellikle akışkan halde bulunmazlar. Bu durum, işlem göreceklere tesislere otomatik olarak beslenmelerine engel oluşturmaktadır.

*Besin ve biyokütle kaynaklı yakıtlar üretilebilmeleri için su, arazi ve enerji gibi ortak kaynaklar gerektirdiğinden birbirlerine bağımlı sektörlerdir. Ayrıca, biyokütle besin olarak, besinde biyokütle olarak kullanılabilir. Bu nedenle, iki sektörün birbiriyle çakışacağı ve birbirini olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir [28].

2.1.3 Biyokütle kaynakları

Şekil 2.2’de biyokütle kaynakları genel olarak gruplandırılmıştır [29].



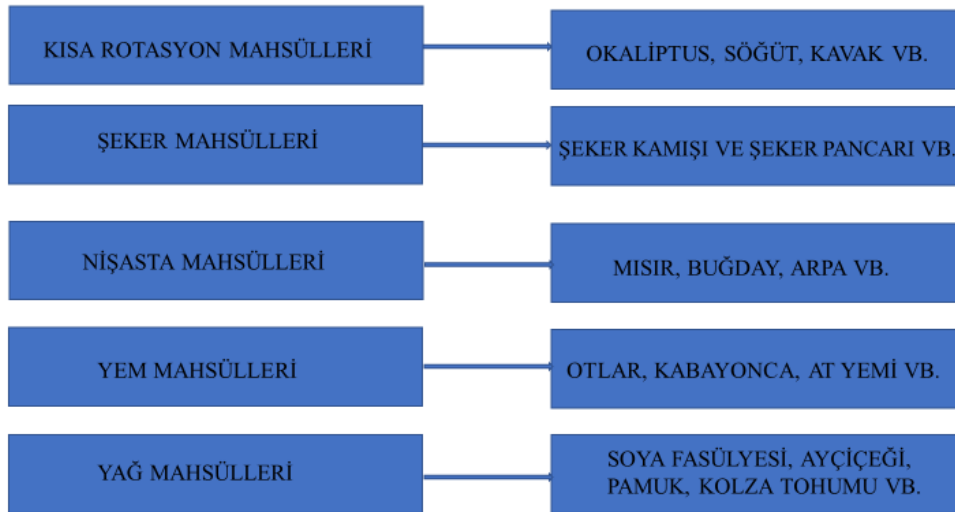
Şekil 2. 2 : Karasal, su kaynaklı ve atıklar olmak üzere biyokütle çeşitleri[29]

Karasal biyokütle kaynakları orman bitkileri, çimenler, enerji bitkileri ve bitki atıkları olmak üzere dört grup altında incelenebilir. Odun endüstrisinin ve ormanların doğrudan işletilmesi sonucu oluşan atıklar, odunsu ve otsu bitkiler orman bitkileri grubunu oluşturur. Ormanları oluşturan çeşitli ağaçlar ve bitkiler önemli biyokütle kaynaklarıdır. Ağaçların kök, gövde,

dal ve yaprak kısımlarından gövde kısmı, biyokütle kaynakları arasında en önemlisi olarak kabul edilebilir; çünkü gövdeden elde edilen odun geleneksel bir yakıttır ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde ısıtma ve pişirme gibi amaçlarla yaygınca kullanılmaktadır [23]. Çimenler, çok yaygın bulunan biyokütle çeşitleridir. Dünya’da daha gelişmiş bitkilerin yaşamasına imkân tanıyan tüm arazi şartlarında yetişebilen çimen, 400 cins ve 6000 türle Dünya’nın birçok bölgesinde bulunmaktadır. Çimenler, tarımsal, dekoratif kullanım, erozyonu engelleme ve kurak arazilerin stabilizasyonu gibi amaçlarla üretilir. Uzun ömürlü (perennial) çimenlerin sentetik yakıt eldesi için uygun hammaddeler olduğu düşünülmektedir. Bu tip çimenler ot şeklinde yetiştirilebilmekte ve toplandıktan kısa süre sonra tekrar gelişmektedir. Senede birden fazla hasat alınabilmektedir [30].

Enerji üretimi için özel olarak üretilen enerji bitkilerinden en önemlileri Çizelge 2.3’ de verilmiştir [31].

Çizelge 2. 3 : Çeşitli mahsuller ve üretilen enerji bitkileri[31]



Besin elde etmek amacı ile tarımsal olarak üretilen çoğu bitkinin kök, sap, kabuk ve yaprakları önemli ölçüde endüstriyel potansiyele sahiptir. Bunlara mısır sapı, pirinç sapı, tahıldan elde edilen saman kısmı, buğday, mısır koçanı ayrıca bunların yanı sıra bu tez de kullanılan yüksek atık potansiyeli olan sert kabuklu çekirdeklerin çekirdek kısımları ile yemişlerin kabuk kısımları ve meyve çekirdekleri örnek olarak verilebilir [29].

Suda yaşayan biyokütleler deniz ve göllerde yaşayan makro ve mikro algler, yosunlar, otlar, su sümbülleri, sazlar ve bazı mikroorganizmalar oluştururlar [21]. Günümüzde alg çeşitlerinin bir kısmı gübre yapımında kullanılırken bazılarının gıda ve yem sanayiinde kullanıldığı

bilinmektedir. Bunların yanı sıra kendiliğinden yetişen türlerin de toplanmasına dair çalışmalar mevcuttur [32]. Bunlara örnek olarak kolayca bulunabilen ve hızla çoğalan su sümbülleri verilebilir ki varlıkları istenmeyen bu çeşidin biyokütlenin enerji uygulamalarında kullanımları uygun bulunmuştur [30].

Biyokütle atık maddeler, biyokütle kaynaklı olan ve biyokütlenin işlenmesi sonucu oluşan atılan enerji içerikli maddelerdir. Endüstriyel, şehirselle ve hayvansal atıklar olmak üzere üç başlık altında incelenebilir. Endüstriyel atıklar, besin işleme atıkları ve kağıt endüstrisi gibi çeşitli endüstrilerde oluşan atıkları içerir. Kentsel atıklar ise evsel ve ticari kullanım sonucu oluşan, bitki türevli organik maddeler içeren kanalizasyon ve çöp atıklarından meydana gelir. Hayvansal atıklar, çiftlik ve hayvan işleme tesislerinde ortaya çıkan atıklardır. İçerdikleri yüksek orandaki su miktarı ile kötü kokulu ve dayanıklı olmayışları önemli dezavantajları arasındadır. Genellikle gübre olarak değerlendirilmektedirler. Ancak koku ve su kirliliği gibi nedenlerle daha farklı kullanımlara kaydırılma gerekliliği birçok ülkede çevre yasalarında da belirtilmektedir [33]. Hayvansal atıkların dönüşümü anaerobik sindirim ile gerçekleştirilmekte ve bu işlem sonucunda ısıtma ve elektrik üretiminde kullanılan biyogaz elde edilebilmektedir [34].

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde lignoselülozik malzemelerden olan atık odunların ve özellikle katı yakıtların tutuşma, enerji ve gaz salınım özelliklerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farkların sebebi olarak hammaddenin kimyasal içeriğinin yanında çalışma şartları, deneysel yöntemlerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir [35]. Çizelge 2.4’de çeşitli biyokütle kaynakları ve atık odunlarla yapılan bazı literatür çalışmalarına ait veriler görülmektedir [36].

Çizelge 2. 4 : Çeşitli biyokütlelerin element ve kısa analizleri [36]

Biyokütle kaynağı	Ortalama Analiz (% Ağırlıkça)				Element Adı (%)					Isıl Değer(Mj/kg)
	Nem	Sabit karbon	Uçucu madde	Kül	C	H	N	O	S	
Masif odun	7,38	17,64	72,98	2,00	46,16	5,77	0,80	37,87	-	-
Mobilya	3,79	17,55	77,46	1,20	44,59	6,32	1,57	42,83	-	-
Pelet	2,59	15,03	79,98	2,40	45,37	5,69	0,07	43,88	-	-
Kağıt fabrikası atıkları	5,0	6,2	73,06	15,2	45,5	5,7	0,4	33,2	-	-
Çam odunu	5,1	10,1	82,2	2,6	53,5	7,4	0,1	40,6	-	-
Yonga levha	4,5	20,4	69,9	4,0	48,3	6,0	2,3	39,5	-	-
Çam	-	11,29	88,02	0,62	53,28	6,35	0,16	40,21	-	19,72

Çizelge 2. 5 (devam): Çeşitli biyokütlelerin element ve kısa analizleri [36]										
MDF	-	11,06	86,68	2,29	49,57	6,33	4,44	39,66	-	19,31
Yonga levha	-	14,38	83,82	1,22	46,26	5,83	2,36	45,51	0,04	17,51
Kontrplak	-	13,40	85,79	0,80	47,12	5,92	1,19	45,72	0,05	18,64
Monteri çamı	-	-	-	-	53	6	-	41	0,01	-
Boyali çam	-	-	-	-	51	6	40	0,01	0,01	-
Kabuk peleti	7,8	-	-	3,7	52,1	5,9	0,48	37,8	0,03	20,1
Odun briketi	7,5	-	-	0,3	50,6	6,4	0,05	42,7	<0,01	18,9
Çam cipsleri	4,0	14,6	81,3	0,1	52,0	6,2	0,12	41,59	0,08	20,23
Söğüt	6,96	16,31	75,70	1,03	51,62	5,54	0,38	42,42	0,03	18,68
Zeytin atıkları	6,40	19,27	65,13	9,20	54,42	6,82	1,40	37,29	0,05	19,67
Lignin	9,0	1,5	73,5	16	72,0	6,6	0	21,34	0	25
Seliloz	4,1	0,2	94	1,7	44,4	6,17	0	49,3	0	18,6
Orman gülü(pelet)	6,33	-	79,85	1,08	53,37	4,89	0,27	33,89	0,04	19,8
Defne(pelet)	6	-	78,52	1,4	51,15	4,94	0,32	35,12	0,06	18,5
Kestane(pelet)	6,08	-	78,79	1,37	49,45	4,60	0,34	38,08	0,07	18

Bu çalışmada kullanılan, ülkemizde de fazla miktarda bulunan biyokütlelerden ceviz kabuğu, kayısı çekirdeği kabuğu, şeftali çekirdeği kabuğu, badem kabuğu ve Antep fıstığı kabuğuna ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Kayısı: Ülkemizde oldukça yüksek oranda üretim potansiyeline sahip, yapısında A ve E vitaminlerinin yanı sıra potasyum, fosfor, kalsiyum, magnezyum ve demir minerallerini içeren, düşük yağ oranı ve yeterli miktarda glikoz, fruktoz ve yüksek oranda beta-karoten içeren insan sağlığı açısından oldukça faydalı bir meyvedir.

Kayısının meyvesi kadar çekirdeği de faydalı ve insan sağlığı için yararlı bir besin maddesi olup çerezlik olarak sofralarda yerini alırken ilaç ve kozmetik sanayiinde de yerini almaktadır.

Kayısının meyve ve çekirdeğinin faydasından bahsedildiği kadar çekirdeğin kabuğunun kullanım alanlarından da bahsedilmelidir [37].

Başta kozmetik ve kimya endüstrisinde kullanılmakta olan kayısı çekirdeği kabuğunun akne tedavisinde, cilt bakımında ve cilt yenileme ürünü olarak krem formlarında kullanılmak üzere raflarda yerini almış bulunurken kimya sanayiinde ise yüzey temizleme ve kumlama alanlarında tercih edilmektedir.

Kozmetik sanayi dışında ise inşaat sektöründe dış etkenlerden kaynaklanan kaplamaların gideriminde, restorasyonlarda ve grafiti kaldırma ürünü olarak, bina köprü ve açık heykellerin yenilenmesinde kullanılmaktadır.

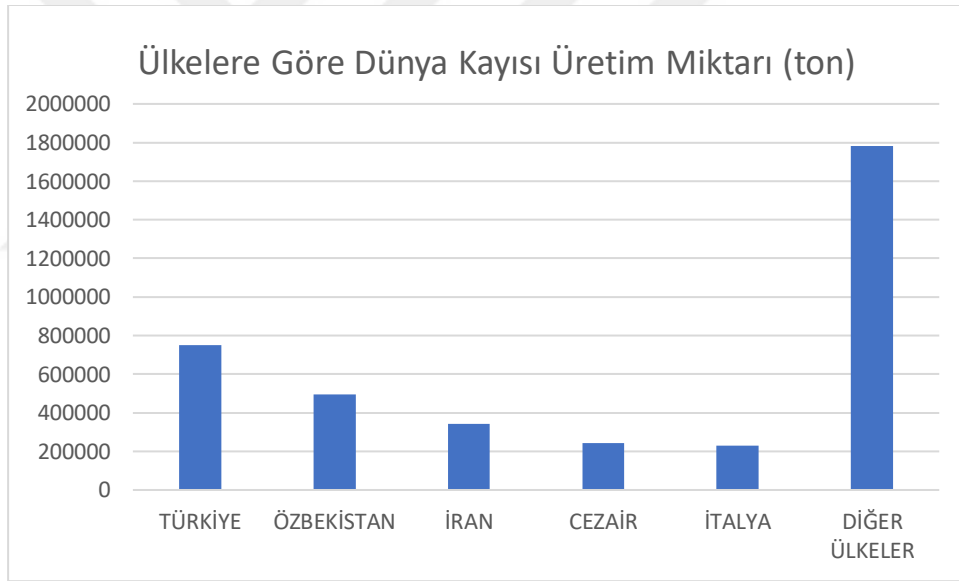
Bir diğ er ham kullanım alanı ise metal ve mobilya sanayiinde zımpara olarak kullanı-
mıdır.

Ham kullanımının dışında aktif karbonun hammaddesi olarak da kullanılmakta olup bu
kullanımı ile gaz maskelerinde, su arıtımında, şeker kamışı şurubunun rafinasyonunda, gıda
endüstrisinde renk ve lezzetin olumlu yönde düzeltilmesinde, kimyasal işlem sonrası çözücüle-
rin ayrılması gibi daha birçok alanda kullanılmaktadır.

Kayısı çekirdeği kabuğu kurutulduğu takdirde yanma özelliği olduğundan enerji üreti-
minde, ekmek fabrikalarında, tavuk kümesleri ve besi çiftliklerinde, kurutma sanayiinde, üretim
yapan fabrikalarda, çerez üretiminde aktif olarak ısıtma ve yakma işlemleri için kullanılmakta-
dır.

Dünyada ve Türkiye’de üretilen kayısının ton cinsinden miktarı Çizelge 2.6’ da veril-
miştir. Bu bilgiler dahilinde kayısı üretiminde Türkiye olarak 1. sırada yer almaktayız [38].

Çizelge 2. 6 : Ülkelere göre dünya kayısı üretim miktarı (ton)[38]



Çizelge 2.7’ de ise Türkiye ve şehirlerinde üretilen kayısı miktarı görülmekte ve buna
bağlı olarak ürün çekirdek oranı ile ülkemizde yıllık elde edilen kayısı çekirdeği kabuğu mik-
tarına ton olarak geçiş yapılmaktadır [39].

Çizelge 2. 7 : Türkiye ve şehirlerinde kayısı üretim miktarı (ton)[39]

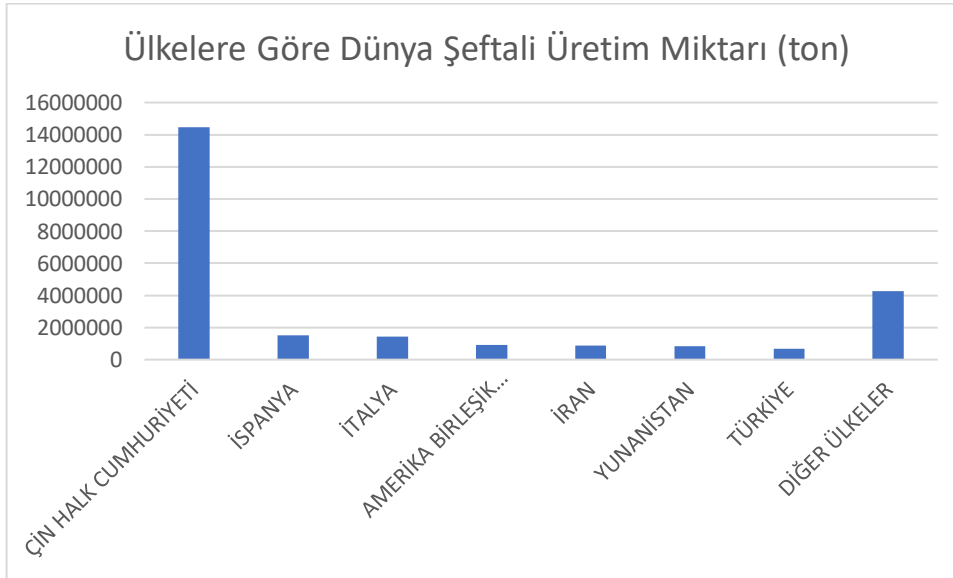
KAYISI	TÜRKİYE	MALATYA	MERSİN	KAHRAMANMARAŞ	ELAZIĞ
	846.606	391.801	140.301	65.454	56.184

Kayısı üretimine paralel olarak önemli bir biyokütle hammaddesi olan kayısı çekirdeği kabuğunun da kabuk/meyve(kayısı) oranı yaklaşık olarak %12,8 dir. Detaylı olarak açıklarsak kayısı meyvesi, ağırlıkça %16 civarında kabuklu çekirdek içerirken, bu çekirdeğinde ortalama %20'si iç çekirdek içerir. Dolayısıyla, meyvenin yaklaşık %3'ünü çekirdek içi, % 12,8 'ini de sert çekirdek kabuğu oluşturmaktadır [40,41].

Bu oranlar dikkate alındığında ülkede üretilen meyve miktarından yola çıkılarak Türkiye'de yaklaşık olarak 108.365 ton sert kayısı çekirdeği kabuğu elde edilebileceği hesaplanmıştır.

Şeftali: Yüksek oranda C, A ve B vitamini içermekte ve özellikle kansere karşı koruyucu olup ülkemizde de yüksek oranda üretim potansiyeline sahiptir. Dünya ve Türkiye'deki şeftali üretimi Çizelge 2.8'de görülmektedir. Bu bilgiler dahilinde şeftali üretiminde 1. sırada Çin gelirken Türkiye olarak dünyada şeftali üretiminde 7. Sırada yer almaktayız [42].

Çizelge 2. 8 : Ülkelere göre dünya şeftali üretim miktarı (ton)[42]



Çizelge 2.9 'de ise Türkiye ve şehirlerinde üretilen şeftali miktarı görülmekte ve buna bağlı olarak ürün çekirdek oranı ile ülkemizde yıllık elde edilen şeftali çekirdeği miktarına ton olarak geçiş yapılmaktadır [39].

Çizelge 2. 9 : Türkiye ve şehirlerinde şeftali üretim miktarı (ton)[39]

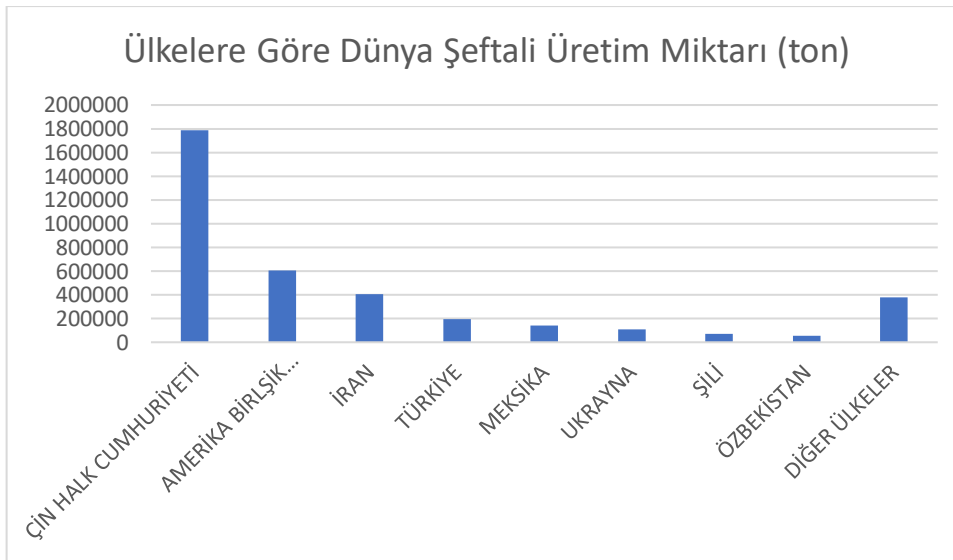
ŞEFTALİ	TÜRKİYE	ÇANAKKALE	MERSİN	BURSA	İZMİR
	685.973	126.487	113.795	109.916	74.200

Ülkemizde de üretimi kadar oldukça yüksek bir tüketime sahip olan şeftalinin çekirdeğinin ağırlığı toplam şeftalinin ağırlığına oranı (şeftali çekirdeği/ürün) yaklaşık olarak %4 ile %8 arasında değişmektedir. Bu fark şeftalinin türündeki çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır [22,43].

Bu oranlar dikkate alındığında Türkiye’de yaklaşık olarak 27.439 ton ile 54.878 ton arası şeftali çekirdeği elde edilmektedir.

Ceviz: Omega-3, E vitamini ve içerdiği polifenoller ile yüksek oranda antioksidan aktivitesine sahip ülkemizde de bolca yetişen erişebilirliği kolay, uzun süre saklanabilme özelliğine sahip Türk damak tadına oldukça uyan kabuklu bir yemiştir. Dünya ve Türkiye’deki ceviz üretimi Çizelge 2.10’da görülmektedir. Bu bilgiler dahilinde ceviz üretiminde 1. sırada Çin gelirken Türkiye olarak dünyada ceviz üretiminde 4. Sırada yer almaktayız [44].

Çizelge 2. 10 : Ülkelere göre dünya ceviz üretim miktarı (ton)[44]



Çizelge 2.11’ de ise Türkiye ve şehirlerinde üretilen ceviz miktarı görülmekte ve buna bağlı olarak ürün kabuk oranı ile ülkemizde yıllık elde edilen ceviz kabuğu miktarına ton olarak geçiş yapılmaktadır [39].

Çizelge 2. 11 : Türkiye ve şehirlerinde ceviz üretim miktarı (ton)[39]

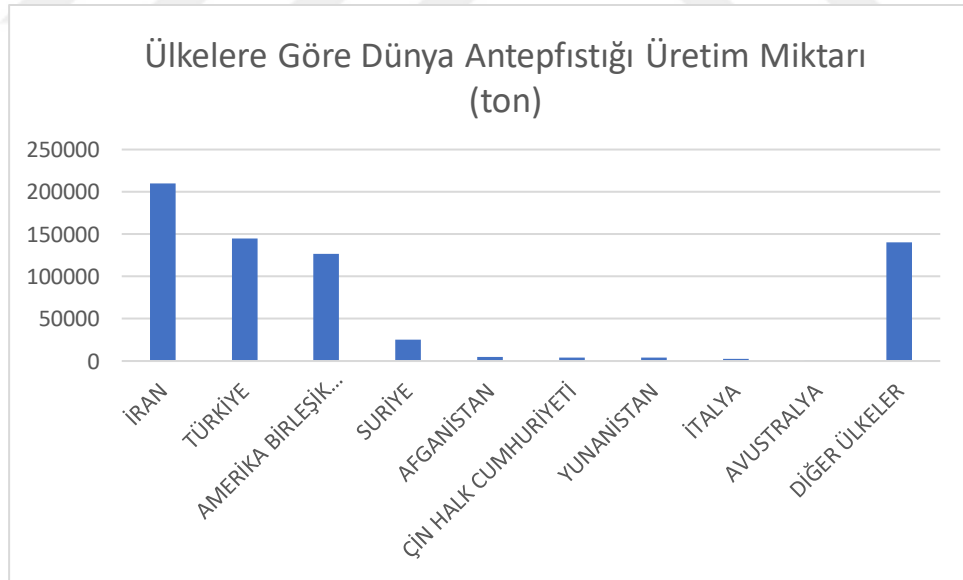
CEVİZ	TÜRKİYE	HAKKARİ	KAHRAMANMARAŞ	MERSİN	BURSA
	225.000	11.682	11.436	10.838	10.837

Türkiye’de üretilen cevizlerin ortalama kabuk oranının %40 ile %63 arasında olduğu kabul edilmektedir [22,45].

Bu oranlar dikkate alındığında Türkiye’de yaklaşık olarak 90.000 ton ile 141.750 ton arası ceviz kabuğu elde edilmektedir.

Antep Fıstığı: Yapısında bolca B6 vitamini ve bulundurmasının yanında oldukça yüksek lif ve protein oranına sahip ve potasyum bakımından da oldukça zengin kabuklu bir yemıştır. Dünya ve Türkiye’deki Antepfıstığı üretimi Çizelge 2.12’ de görülmektedir. Bu bilgiler dahilinde Antepfıstığı üretiminde 1. sırada İran gelirken Türkiye olarak dünyada Antepfıstığı üretiminde 2. Sırada yer almaktayız [46].

Çizelge 2. 12 : Ülkelere göre dünya antepfıstığı üretim miktarı (ton)[46]



Çizelge 2.13’ de ise Türkiye ve şehirlerinde üretilen Antepfıstığı miktarı görülmekte ve buna bağlı olarak ürün kabuk oranı ile ülkemizde yıllık elde edilen Antepfıstığı kabuğu miktarına ton olarak geçiş yapılmaktadır [39].

Çizelge 2. 13 : Türkiye ve şehirlerinde antepfıstığı üretim miktarı (ton)[39]

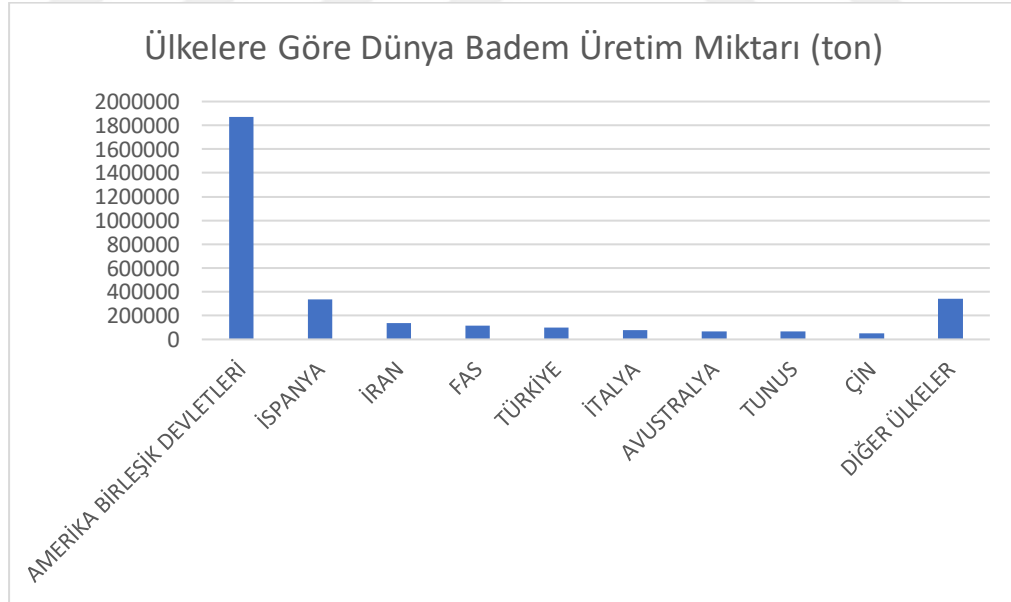
ANTEPFISTIĞI	TÜRKİYE	ŞANLIURFA	GAZİANTEP	SİİRT	ADİYAMAN
	85.000	31.931	26.343	12.208	2.667

Antep fıstığının kabuk/ürün oranı %42 ile %50 arasında değişmektedir [22,47,48].

Bu oranlar dikkate alındığında Türkiye’de yaklaşık olarak 35.700 ton ile 42.500 ton arası Antepfıstığı kabuğu elde edilmektedir.

Badem; E vitamini, kalsiyum, fosfor, demir ve magnezyum açısından oldukça zengin bir besin maddesidir. Ayrıca, çinko, selenyum ve bakır içeren oldukça yüksek besin değerine sahip kabuklu bir yemıştır. Dünya ve Türkiye’deki badem üretimi Çizelge 2.14’de görülmektedir. Bu bilgiler dahilinde badem üretiminde 1. sırada ABD gelirken Türkiye olarak dünyada badem üretiminde 5. sırada yer almaktayız [49].

Çizelge 2. 14 : Ülkelere göre dünya badem üretim miktarı (ton) [49]



Çizelge 2.15’de ise Türkiye ve şehirlerinde üretilen badem miktarı görülmekte ve buna bağlı olarak ürün kabuk oranı ile ülkemizde yıllık elde edilen badem kabuğu miktarına ton olarak geçiş yapılmaktadır [39].

Çizelge 2. 15 : Türkiye ve şehirlerinde badem üretim miktarı (ton)[39]

BADEM	TÜRKİYE	MERSİN	ADİYAMAN	MUĞLA	ANTALYA
	150.000	22.929	15.470	9.955	9.795

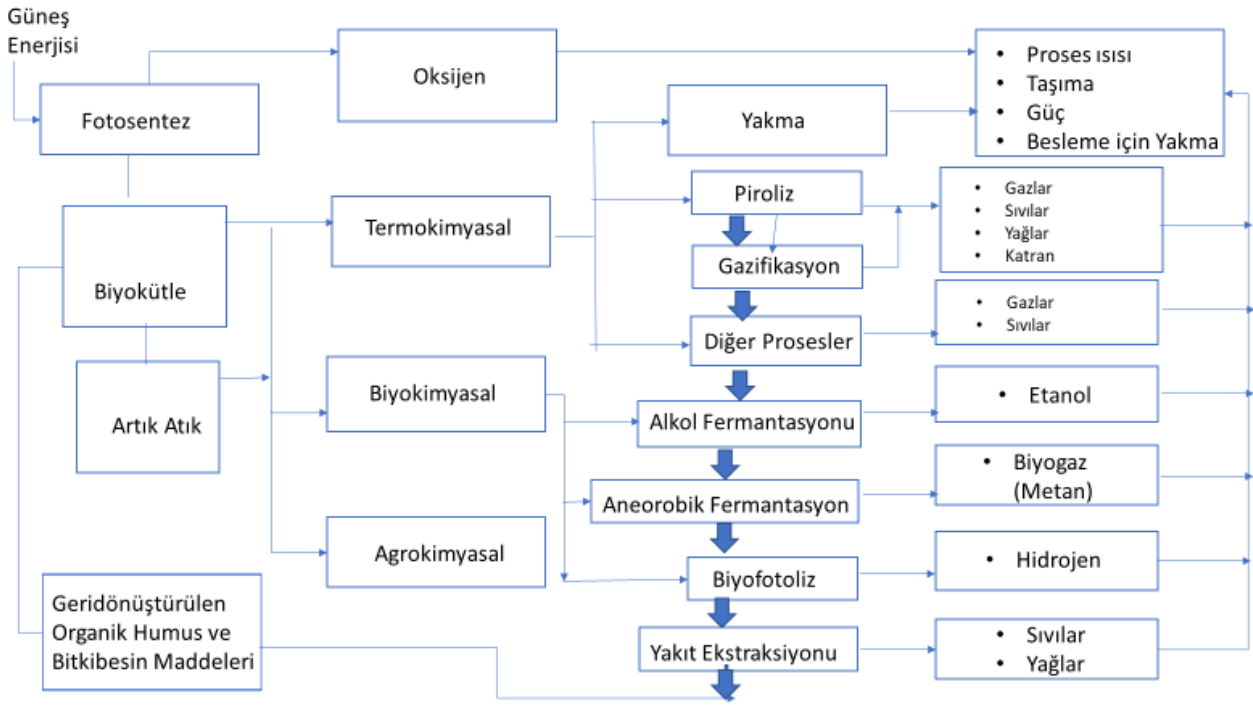
Yerli çeşitlerde verim %35 ile %45 arasında değişirken, yabancı çeşitlerde bu oran yaklaşık olarak %60 ile %70 arası bademin cinsine göre değişmektedir [50,51].

Bu oranlar dikkate alındığında Türkiye’de yaklaşık olarak yerli çeşitlerde 52.500 ton ile 67.500 ton arası yabancı çeşitlerde ise 90.000 ton ile 105.000 ton badem kabuğu elde edilmektedir.

2.1.4 Biyokütle dönüşüm teknolojileri

Bir asırlık zaman diliminden daha kısa sürede yenilenebilen, biyolojik temelli organik maddenin fosilleşme sürecini tamamlamamış hali olarak tanımlanan biyokütle, orijinal hali ile yakıt olarak kullanılabilirken farklı katı, sıvı ve gaz yakıtlara da dönüştürülebilir ki bunlar biyoyakıtlar olarak isimlendirilir. Bu biyoyakıtlar ısıtma soğutma sistemlerinde, nakliye ve elektrik üretimi gibi birçok alanda kısaca kentsel ve sanayi alanlarındaki kullanımlarda değerlendirilebilmektedir. Bu değerlendirme aşamaları Şekil 2.3’ de gösterilmiştir [52].

Her ne kadar biyokütleden enerji elde etmenin dışında yalıtım malzemesi, mobilya sektörü ve kağıt endüstrisi gibi alanlarında da yararlanılsa biyokütle aslında biyokütle dönüşüm teknolojileri ile katı, sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülür. Dönüşüm sonunda biyodizel, biyoetanol, biyogaz, pirolitik gaz gibi ana ürünler elde edilirken gübre ve hidrojen olarak da yan ürünler elde edilir [53].



Şekil 2.3 : Biyokütle enerji dönüşüm yöntemleri[52]

Biyokütle kaynakları, uygulanan çevrim yöntemleri, bu yöntemler uygulanarak elde edilen yakıtlar ve bu yakıtların uygulama alanları Çizelge 2.16’ da verilmiştir.

Çizelge 2.16 : Bazı biyokütlelere ait çevrim yöntemleri, elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları[53]

Biyokütle Türü	Çevrim Yöntemi	Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman Atıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik Üretimi, Isınma
Tarım Atıkları	Piroлиз	Etanol	Isınma, Ulaşım Araçları
Enerji Bitkileri	Doğrudan Yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal Atıklar	Fermantasyon, Havasız Çürütme	Metan	Ulaşım Araçları, Isınma
Çöpler (Organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	Motorin	Sentetik Yağ, Roketler
Enerji Ormanları	Biyofotoliz		Ürün Kurutma
Bitkisel ve Hayvansal Yağlar	Esterleşme Reaksiyonu	Motorin	Ulaşım Araçları, Isınma, Seracılık

Doğrudan Yakma

Enerji üretiminde bilinen en klasik yöntem biyokütlenin doğrudan yakılmasıdır. Ancak son zamanlarda yeni yakma sistemlerinin verimi artırdığı belirlenmiştir.

Yanma olayı biyokütlerdeki yanabilen karbon içerikli maddelerin oksijenle hızlı bir şekilde kimyasal tepkimesi olarak tanımlanır ki bu ısı veren yani ekzotermik bir tepkime olup tepkime sonucu CO₂, su buharı ve bazı metal oksitler oluşmaktadır.

Havasız Çürütme

Biyolojik temelli bir yöntem olan havasız çürütme işlemi, oksijensiz ortamda yaşayabilen mikroorganizmalar tarafından biyokütlenin yine oksijensiz ortamda fermantasyona uğrayarak metan gazı, gübre (değerli ürün) ve CO₂ açığa çıkarması ile gerçekleşir.

Fermantasyon

Farklı oranlarda hemiselüloz, selüloz ve lignin içeren biyokütlerde selüloz enzimatik hidrolizin ardından uygulanan, glikozun yapısını bozabilen kimyasal hidroliz, enzimler veya kimyasal işlemler ile glikozla parçalanabilmektedir. Etanol, aseton bütanol gibi ürünler ve eşdeğer birçok kimyasal glikolün fermantasyonu ile elde edilir.

Piroliz

Piroliz yöntemi biyokütleden gaz ve sıvı ürün elde etmek için kullanılan en eski, en kolay yöntemdir. Biyokütlenin genellikle 900°C'ye kadar oksijensiz inert ortamda kimyasal ve fiziksel olarak karbonizesi ile gerçekleştirilir. İşlem sonucunda ham madde ve deney şartlarına bağlı olarak değişen verimlerde katı ürün, sıvı ürün ve gaz ürün elde edilir.

Gazlaştırma

Gazlaştırma yöntemi, yanabilen gazları elde edebilmek için karbon içeren yapının yüksek sıcaklıkta yapısının bozularak yakılmasıdır. Bu yakma işlemi kontrollü bir şekilde yakma işleminin gerçekleştirildiği bölüme hava verilmek sureti ile yapılır. İşlem sonucunda CO, CO₂, N₂ ve yanabilir gazlardan olan H₂ ve CH₄ gibi gazlar elde edilir.

Biyofotoliz

Biyofotoliz yöntemi, güneş enerjisi kullanılarak H₂ ve O₂ elde etmek için mikroskobik canlılardan olan, güneş pili mekanizması gibi çalışarak deniz suyunu fotosentetik olarak ayrıştıran, bazı algleri kullanma yöntemidir [53].

2.1.5 Dünya’da biyokütle potansiyeli

Dünya da gelişen yaşam standartlarımız ve ülkelerin gelişmişliklerine bakıldığında en etkin faktörün enerji gücü olduğu görülmektedir. Bu gücü elinde bulundurup, geliştiren ve dünya pazarına sunan ülkelerin, ayrıca artan nüfusun ve enerji ihtiyacına olan talep değil artık mecburiyetin de katkısıyla hızla ilerlemesi kaçınılmaz bir hal almıştır. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında hayatımızın her alanında yer alan enerjinin, artık kaynak sıkıntısı yaşanan, kullanım ve üretimde birçok dezavantajı olan fosil kaynaklı enerji yerine; yenilenebilen, hammaddesi kolay temin edilebilen, kullanım ve üretimde minimum dezavantaja sahip yeni enerji kaynaklarına geçiş ertelenemeyen bir son haline gelmiştir. Çizelge 2.17’de enerji kaynaklarının sınıflandırılması açıklayıcı bir şekilde görülmektedir [54].

Çizelge 2. 17 : Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [54]



Çizelge 2. 17’de görülen kullanım durumuna göre tükenmez yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle ve bu kaynaktan elde edilen enerjinin önemini anlamak için

öncelikle dünyamızı önemli ölçüde tehdit eden, küresel ısınma ve çevre kirliliği konuları açısından bakmak gerekir.

Güney Kore’de IPCC’nin girişimi ile dünya devletlerinden 52 ülke 103 bilim insanı tarafından 6000’in üzerinde bilimsel çalışma incelenerek hazırlanan raporu onaylamıştır. 2019 yılında tüm dünya ile paylaşılan bu raporda atmosferin sadece 1,5 °C ısınması ile tüm insanlığın ortak evi olan dünyamız için geri dönüşümü mümkün olmayan durumların yaşanacağı açıklanmıştır. Bu çaresizliğin yaşanmaması adına atmosferin ısınmasını sağlayan sera gazlarını salınımı ile ilgili çok ciddi yaptırımların getirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Sera gazı oluşumunu, önemli ölçüde fosil yakıt kullanımının meydana getirdiği düşünülürse bu konuda alınacak en ciddi ve gerekli önlemin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek olduğu aşıkardır. İşte tam da bu anlamda beslenme ve gıda ihtiyacındaki zorunluluk ve gelecek zamanlardaki iklim değişikliklerinden kaynaklanan bu ihtiyaçların sağlanamaması tehdidi, yenilenebilir enerji kaynaklarının arasında yer alan biyokütle ve bu kaynaktan elde edilen enerjiye verilmesi gereken hassasiyeti artırmıştır [52].

Dünyada biyokütlenin yeri toplam yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde Afrika’da %96, Amerika’da %59, Asya’da %65 ve Avrupa’da %59 kullanım oranına göre dağılım göstermiştir. Asıl olarak dünya çağında bir değerlendirme yapıldığında biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki oranı 1990 yılında %80,4 iken 2000 yılında %78’e, 2018 yılında ise %67,5’e düşmüş ve 2019 yılı verileri olarak literatüre geçmiştir [56]. (Çizelge 2.18) Bu düşüşe rağmen biyokütle enerjisi toplam yenilenebilir enerji kaynakları içinde hâlâ büyük bir paya sahiptir. Küresel olarak bakıldığında günümüzde 1990-2005 yıllarına kıyasla biyokütle oranının ciddi ölçüde azalmasında gelişmekte olan ülkelerin biyokütleyi, pişirme ve ısıtma gibi geleneksel kullanımının azalmasının etkisi olmuştur. Ayrıca gelecek yıllarda modern biyokütle dönüşümlerinin de yardımı ile artan biyokütlesel çözümlerin de bu oranı etkileyeceği öngörülmektedir [55].

Çizelge 2. 18 : Biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki yerinin yıllara göre oranı [56]

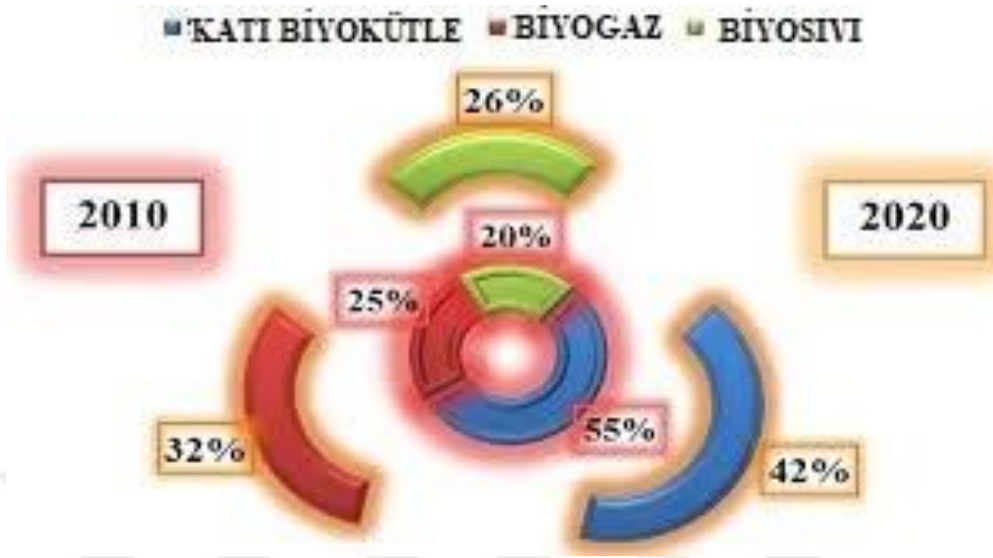
YIL	TOPLAM (MTEP)	KÖMÜR (%)	DOĞAL GAZ (%)	PETROL (%)	FOSİL YAKIT (%)	NÜKLEER (%)	YENİLENEBİLİR (%)	BİYOKÜTLE/ YENİLENEBİLİR (%)
1990	8,77	25,3	19,0	36,9	81,2	6,0	12,8	80,4
1995	9,22	23,9	19,6	36,6	80,2	6,6	13,2	79,1
2000	10,02	23,1	20,7	36,5	80,3	6,7	12,9	78,0
2005	11,48	26,1	20,6	34,8	81,5	6,3	12,2	77,0
2010	12,85	28,4	21,3	32,2	81,9	5,6	12,5	74,7
2015	13,63	28,3	21,6	31,8	81,7	4,9	13,4	70,4
2017	13,97	27,1	22,2	31,8	81,2	4,9	13,9	68,6
2018	14,31	26,7	22,9	31,4	81,0	5,0	14,0	67,5

Dünya enerji kaynağı olarak biyokütle 2018 yılında başta Asya olmak üzere sırasıyla Afrika ve Amerika’da kullanılmaktadır. Bu sıralamada Asya ve Afrika kıtalarında biyokütle kaynak potansiyelinin daha yüksek oluşu gelmektedir. Bu oranın yüksek oluşunun bir diğer sebebi de bu bölgelerde klasik biyokütle olarak ısıtma ve pişirme amaçlı odun ve odun kömürünün kullanımının geldiği bilinmektedir ABD ve Brezilya’da ise mısır ve şeker kamışından yüksek oranlarda biyoetanol üretilmekte dünya sıvı biyoetanol üretiminin %70’inden fazlasını karşılamaktadırlar. Avrupa ise belediye atıklarının geri dönüşüm şeklinde kullanımında modern biyokütle olarak tanımlanan biyogaz, atık yakma ve gazlaştırma gibi enerji teknolojilerinin kullanımında önde gelen bölgedir.

Dünya enerji verilerine bakıldığında ise 2017 yılında enerji amaçlı 1.328 milyon TEP biyokütle kullanılmış ve bu kullanımın %86’sı odun yongaları, odun peletleri, pişirme ve ısıtma için yakacak odun gibi birincil katı biyoyakıtlar, %7’si sıvı biyoyakıt, her biri %2-3 oranında eşit paya sahip olarak biyogaz, belediye atıkları ve endüstriyel atıklar olarak belirtilmiştir. Biyokütle arzının 2017 yılında 2016 yılına kıyasla, yaklaşık 24 milyon TEP olarak %1,5’lik düşüş ile son 17 yılda ilk kez azaldığı görülmüştür. Bu düşüşün ilk kısmının klasik biyokütlenin (katı biyoyakıt) azalmasıyla gerçekleştiği ancak buna karşılık olarak modern biyokütle kullanımı ile atık, biyogaz ve sıvı biyoyakıtlar gibi kategorilerde artış olduğu görülmüştür [56].

Ayrıca Şekil 2.4’de 2010 yılı ile 2020 yılı arasındaki biyokütleden elde edilen katı, sıvı

ve gaz ürünlerin yüzde değişimleri verilmiştir. Geçen 10 yıllık sürede gaz ve sıvı ürün kullanımının artması biyokütle dönüşüm teknolojilerinden yararlanmanın artışının bir göstergesidir [57].



Şekil 2.4 : Biyokütleden elde edilen katı, sıvı, gaz ürünlerin yüzdesi [57]

2.1.6 Türkiye’de biyokütle potansiyeli

Türkiye, biyokütle üretiminde arazi potansiyeli, su kaynakları ve ulaşılabilirliği, iklim şartları ve güneşlenme süresi gibi koşulları sağlayan ve üretime çok uygun bir ülkedir. Biyokütlenin birincil kullanıldığı alan olan biyokütle enerjisinde klasik ve geleneksel yöntemlere bağlı olarak yakıt amaçlı kullanılmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de son yıllarda modern biyokütle kullanımının artması kullanım alanlarının da farklılaşması söz konusudur. Yakıt olarak kullanımının dışında oluşan kullanımları endüstriyel, ekonomik ayrıca çevresel olarak Türkiye’ye katkı sağlamaktadır. Buna bağlı olarak küresel ısınmanın azalması yaşam sürdürdüğümüz evimiz, dünyamız açısından önemli bir gelişmedir. Enerji bakımından bakıldığında ise biyokütle enerjisinin kullanılmaya başlanması ile ekonomik açıdan dışa bağımlılığımız önemli ölçüde azalmıştır. Yeni istihdam alanlarının açılması ile yerel kalkınmanın sağlanması da gerçekleşmiştir. Ayrıca biyokütle kullanımı ile tarımsal ve endüstriyel atıklardan kaynaklanan kirliliğin de önlenmesine yardımcı olmuştur.

Türkiye; nüfusunun %35’inin tarım sektöründe istihdam ediyor olması, tarım alanlarının %55,6’sının ekilebilir nitelikte olması ve %15’inin ormanlarla kaplı olması sonucunda, 77 milyon ton’luk tarımsal biyokütle potansiyeline sahiptir [58].

Mevcutta bulunan fosil yakıt hammaddeli enerji üretim yapılarında biyokütlenin kullanımını ya sistemin olduğu gibi ya da ufak tefek değişikliklerle kullanılabilir hale gelmesi ile mümkündür. Bu da biyokütle kullanımının ekonomik açıdan değerlendirildiğinde sistemin tamamen değiştirilmesini zorunlu kılan teknolojilerle kıyaslandığında bir artı olarak görülebilmektedir. Bir diğer avantaj da ülkemizin tarım ve sanayi altyapısına uygun oluşu ile teknolojinin ihtiyaç duyduğu sistemin mevcut durumda kimya, makine ve tarım endüstrilerinin var olan altyapıları ile karşılanması ile mümkün oluşudur.

Fosil yakıt enerjisi azaldıkça, Türkiye, gelecek yıllarda, enerji darboğazı, enerji fiyatlarında belirgin artış ve enerji güvensizliği ile yüz yüze kalacaktır. Bu sebeplerle, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesi, Türkiye'nin sürdürülebilir ekonomik gelişimi için giderek artan şekilde önem kazanmaktadır [14].

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahip olmasına karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarının genel enerji üretimindeki payı oldukça düşüktür. Ülkemiz enerji tüketimi içinde hidroelektrik enerji dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım payının %8,9 olduğu bilinmektedir. Bu kaynakların kendi içerisindeki dağılımları; %75,6 odun, %21,4 hayvan ve bitki atıkları, %1,5 jeotermal, %1,5 güneş enerjisi şeklindedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle enerjisi, toplam enerji üretimindeki payının oldukça yüksek olmasından dolayı ülkemiz için büyük bir öneme sahiptir. Bunlar içerisinde özellikle tarımsal biyokütle artıklarından (hububat, meyve, sebze vb.) elde edilebilecek enerji miktarı yılda ortalama 545 PJ değerindedir. Bu enerji miktarı da Türkiye'nin enerji tüketiminin yaklaşık %25'ine eşdeğerdir [59,60].

Dünyada da olduğu gibi biyokütle hammaddesi temininde ülkemizde de oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Tarımsal alanlarımız ile birlikte su kaynaklarımızın elverişli ve kolay bir şekilde kullanılabilir olmasına, iklim koşullarımızın da uygun şartlara sahip oluşu eklenince Türkiye biyokütle madde potansiyeli için yeterli miktarda kaynak sağlayabilecek bir konuma gelmiştir.

Endüstriyel bir hammadde olarak biyokütle bir bütün olarak ele alındığında özellikle kimya endüstrisi için önemli bir hammaddedir. Fosil yakıt temelli hammaddelerin azalması, polimerik atıkların geri kazanımındaki güçlükler ve doğadaki bozunma süreçlerinin çok uzun olması biyolojik temelli hammadde kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Bitkisel kökenli biyokütle atıklarının sürekli yenilenebilir üretiliyor olması ve yapısının selülozik temelde benzer olması, kolaylıkla işlenebilir olmasını sağlamaktadır. Katalizör kullanılarak selüloz temelli ve selüloz türevli bileşiklerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu bileşikler yine katalizör ve

uygun proses koşulları ile endüstrinin ihtiyacı herhangi bir organik bileşiğin üretimini mümkün kılmaktadır.

Ayrıca biyokütleden enerji ve yakıt üretimi yanında, kâğıt, mobilya, yalıtım maddesi üretimi gibi endüstrinin daha birçok alanında faydalanılmaktadır [61,62].

Endüstrinin ihtiyacı hammadde üretimi dışında biyokütleden diğer önemli bir ürün aktif karbon üretimidir. Aşağıda detaylı açıklama verilmiştir. Bunların dışında, uygun teknolojilere sahip olmayan ülkelerde biyokütle yakılarak enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

2.2 Aktif Karbon

Aktif karbon, kullanımı milattan önceye dayanan, genellikle organik bazlı, yapısında yaklaşık olarak %87 -97 oranında karbon içeren, yüksek gözenekliliğe ve yüksek yüzey alanına sahip amorf bir adsorban olarak tanımlanır.

En eski adsorbanlardan biri olan aktif karbon, yüksek yüzey alanı, kontrol edilebilir gözenek yapısı, ısıl-kararlılığı ve asit- baz reaktivitesi olan, sıvı ya da gaz fazda çözünmüş çeşitli inorganik ve organik kirletici maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Aktif karbonlar, üç boyutlu bir yapıyı vermek üzere rastgele dağıtılan, genellikle bükülmüş, küçük, kusurlu grafen tabakalarından ve şeritlerden oluşan yapıya sahip karbonlardır. Şekil 2.5' de de görüldüğü gibi levhalar arasındaki değişken büyüklükteki boşluklar, ham maddenin aktivasyon işlemi sırasında oluşur ve aktif karbonlar 500 ile 5000 m² arasında değişen büyük iç ve dış yüzey alanına sahiptirler [63-65].



Şekil 2. 5 : Aktif karbonun yapısı [63-65]

2.2.1 Aktif karbonun tarihsel gelişimi

Eski çağlarda karbon, yakıt olarak kullanımının dışında çok farklı amaçlar için de kullanılmıştır. Zaman içindeki ihtiyaçların değişmesi ve gelişmesi ile aktif karbonun kullanımı ve üretim teknolojilerinin gelişmesi ile serüveni başlamıştır.

Mısırlılar ve Sümerler'in aktif karbonu en eski kullanan uygarlıklar olduğu bilinmektedir. MÖ 3750 yılında, odun kömürünü (wood char) bronz yapımı esnasında bakır ve çinkonun indirgenmesinde kullanmışlardır. Bu çarın (char) tıp alanında kullanımını ilk belgeleyen yazılı kayıt Mısır Papirüsleri olup yaklaşık olarak MÖ.1550 yıllarına dayanmaktadır. Bu dönemde odun kömürünü, çürümekte olan yaralar ile bağırsak bölgesinden buharlaşan kötü koku giderilmesinde kullanılmıştır. MÖ 460 yılında Hipokrat ve Pliny, odun kömürü tedavi amacıyla, epilepsi, chlorosis ve anthrax gibi hastalıkları da içine alan geniş bir alanda kullanmışlardır. Hint ve Portekizliler ise içme suyunun saflaştırılmasında kullandıklarına dair bilgilere dokümanlarda rastlanmaktadır. MS 157'de Claudius Galen, hem bitki hem hayvan orjinli karbonları, hastalık tedavisinde kullanımları üzerinde 500 tıbbi uygulama yapmıştır. 1773 yılında Scheele, farklı kaynaklardan ürettiği aktif karbonları, gaz adsorpsiyonu uygulamalarında kullanmış, 1785 yılında Lowitz, odun kömürünün tıbbi uygulamalardaki kokuları adsorbe edebilme özelliğinden yola çıkarak, organik kimyasalların büyük bölümünün de odun kömürü ile adsorbe edilebileceğini açıklamıştır. 1793 yılında Kehl, mide ülserlerinden buharlaşan gazın kontrolünde kömürlerin kullanımı konusunu gündeme getirdi ve hayvansal dokulardan hazırlanan karbonu çözeltilerdeki rengin uzaklaştırılmasında kullanmıştır. 1794 yılında ise bir İngiliz şeker üreticisi, şeker şurubunun renk giderimini odun kömürü ile başarıyla kullanmıştır. 19. Yüzyılda da aktif karbon kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. 1805 yılında Gruillon, şurupların renk giderimi için, yıkanmış odun kömürünü ilk kez büyük ölçekli bir şeker rafinerisinde kullanmıştır. 1808 yılında Delessert odun kömürünü şeker pancarı sıvısının renk gideriminde kullanmıştır. 1822 yılında Bussy, kemik karbonlarının kandaki potasyum bileşikleriyle birlikte ısıtılması durumunda ağartma gücünün 30 kat arttığını tespit etmiş olup klorür çözeltisinden altının adsorplanmasında aktif karbonun kullanımı ilk olarak 1847 yılında gerçekleştirilmiştir. Hunter'ın 1865 yılında Hindistan cevizi kabuğuyla elde ettiği aktif karbonun gaz adsorplamada oldukça yüksek bir kapasiyete sahip olduğunu saptamıştır. 1880 yılında Davis'in yaptığı çalışmalarda ise bu konu ile ilgili patentini, odun kömürü kullanılarak altının klorür ekstraksiyon çözeltisinden kazanılması prosesi ile almıştır [66].

1900' lü yılların başında ise şu anki aktif karbon üretiminin temelini oluşturan patentler yayınlanmıştır ki bunlar günümüzde dahi hala geçerli olan aktif karbon üretiminin temel prensipleri olan kimyasal ve gaz aktivasyonu yöntemleridir [66,67].

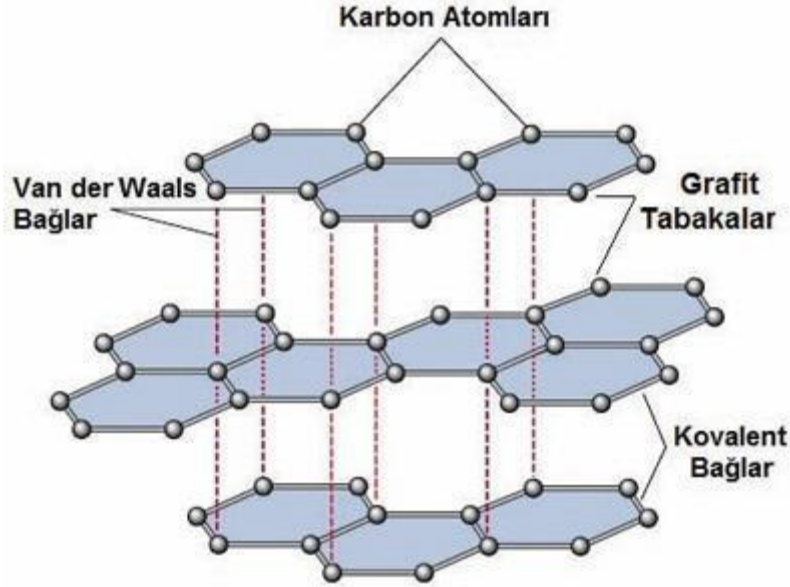
Fanto Works tarafından 1909 yılında Avusturya'da aktif karbon ile şeker rafinerisinde renk gideriminde kullanılmak üzere Eponit isimli ve ağaç esaslı başlangıç malzemesi kullanılarak üretilen aktif karbon satışa sunulmuştur. 1914-1918 yıllarında 1.Dünya savaşında zehirli gazların kullanılmasıyla, gaz maskelerinde uygun adsorban olarak aktif karbonun kullanılması, aktif karbonun sentezinin gelişmesine ve büyük çapta üretimine imkân sağlamıştır. Çinko klorürle aktive edilmiş odun kırıntıları kullanılarak, granül halde aktif karbonlar geliştirilmiştir. Bunlar adsorpsiyon ve fiziksel özellikleri kontrol edilerek üretilen ilk ticari aktif karbonlardır. 1920 yılından sonra ilk olarak aktif karbon su arıtımında kullanılmıştır. 1929 yılında, Hamm Water Works aktif karbonun granüler formunu kullanmış, bundan bağımsız olarak 1930'da Harrison tarafından Michigan Bay City'de, yine 1929 yılında Spalding tarafından içme suyundaki kokuların uzaklaştırılmasında kullanılmışlardır. 1932 yılında ise Amerika'da 400 fabrika, 1943 yılında yaklaşık 1200 fabrikada içme sularında, kokuların giderilmesinde aktif karbon kontrollü bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [66,68-70].

2.2.2 Aktif karbonun yapısı

Aktif karbonun temel kimyasal yapısı, saf grafitin yapısı ile yakından benzerlik gösterir. Grafit kristali, zayıf Van der Waals kuvvetleri ile bağlanmış olup kaynaşmış altıgen tabakaların birbirini 3.354 Å uzaklıkta konumlanması ile oluşur. Aktif karbonun kristal yapısı ile benzer özellik gösteren grafitin kristal yapısı Şekil 2.6' da verilmiştir [71,72]. Esas olarak aktif karbon, safsızlıklar ve hazırlama şartları (aktivasyon şartları) nedeniyle düzensiz bir grafit formudur.

Katmanlar aralarında 1.415 Å mesafe bulunan karbon-karbon bağları ile bağlıdır.

Aktif karbondaki gelişen gözenek yapısı ve dolayısıyla aktif karbonun nihai özellikleri, esas olarak hammaddeye ve üretim sürecine bağlıdır.



Şekil 2. 6 : Grafit kristallerinin yapısı [71-72]

Grafite göre daha düzensiz bir yapıya sahip aktif karbona uygulanan aktivasyon işlemi boyunca kristallerin yüzeyinde düzenli halde bulunan karbon bağlarının düzeni bozulur.

Uygulanan karbonizasyon ve aktivasyon işlemleri sırasında yapı değişim gösterir.

Aktif karbonun yapısında hidrojen ve oksijen ile kimyasal bağ yapmış elementler mevcuttur ki bu elementler

a) Hammadde kaynaklı olabilmekte ya da

b) Tam olarak gerçekleşmemiş karbonizasyon işlemi kaynaklı olabilmekte ve aktivasyon süresince yüzeyle kimyasal bağ yapmaktadır.

Aktif karbonun özelliğini etkileyen bir diğer unsur da yapısındaki mineral madde, oksijen ve hidrojendir. Mineral maddenin varlığı, elektrolit ve elektrolit olmayan çözeltilerin adsorpsiyonunda minimal düzeyde bile etki etmektedir [72].

2.2.3 Aktif karbon üretiminde kullanılabilen hammaddeler

Her türlü doğal ve sentetik malzemeden aktif karbon üretmek yapının karbon bakımından zengin olması şartı ile mümkündür. Yalnız ticari olarak genellikle aktif karbon üretiminde odun, kömür ve Hindistan cevizi kabuğu olarak üç ana kaynak kullanılarak üretim yapılmaktadır [73,74]. Kömür ve linyitin aktif karbon üretiminde hammadde olarak tercih edilmemesi, yüksek maliyetli oluşunun yanı sıra içerdikleri yüksek oranda inorganik madde sebebi ile üretim aşaması ve üretim sonrasında demineralizasyon için yıkama işlemi gerektirdiğinde işlem

uzun, zahmetli ve maliyetlidir [75]. Düşük inorganik madde ve yüksek karbon içeriği, kolay bulunabilirlik ve ekonomiklik açısından tarımsal atıklar tercih edilmektedir [74]. İlaç ve gıda endüstrisinde ihtiyaç duyulan, yüksek saflık gerektiren aktif karbon üretiminde de yapısında sülfür ve ağır metal içermeyen tarımsal atıklardan elde edilen hammaddeler tercih edilmektedir. Ayrıca tarımsal atık hammadde kaynaklı üretimde prosesin uygulanma aşaması linyit kökenli hammadde ile karşılaştırıldığında uzun ve maliyetli değildir [75].

Aktif karbon elde etmek için üretimde tercih edilen hammadde seçiminde düşük inorganik madde içeriği ve yüksek karbon içeriği başta aranacak unsurlardır. Aktif karbon elde ederken hammaddeye uygulanan karbonizasyon ve aktivasyon işlemleri ile sonuç üründe elde edilen ürünün mineral içeriği, yoğunluğu ve uçucu madde içeriği de dikkat edilmesi gereken parametrelerdendir. Aktif karbonda yüksek yoğunluğun tercih edilme sebebi dayanımıdır. Yüksek yoğunluğun yapısal dayanımı artırdığı bilinmektedir.

Aktif karbonun üretiminde kullanılacak olan hammaddeyi seçerken aşağıdaki parametrelere dikkat edilmelidir;

- * Hammaddenin mevcut bulunabilme, elde edilebilme ve ulaşılabilme kısaca potansiyeli
- * Hammaddenin asgari inorganik bileşen içeriği
- * Hammaddenin fiyatı ve temin edilebilecek miktarı, ekonomisi
- * Hammaddenin depolama ömrü ve saklama koşulları
- * Hammaddenin işlenebilirliği

Fosil ve bitkisel kökenli olan hammadde kaynaklarının mineral madde içeriğinin %3'den fazla olması tercih edilmemektedir. Bunu yanında mineral madde içerikleri

- Odun ve kömür için %2,
- Turba için %1-2

olarak tercih edilmektedir.

Endüstriyel aktif karbon üretiminde beş farklı tipte karbonlu hammadde dikkat çekmektedir. Bunlar önem sırasına göre odun, kömür, linyit, Hindistan cevizi kabuğu, turba ve diğerleri şeklindedir. Odun hammaddesi içerisinde çam ise en büyük paya sahiptir. Bitümlü ve yarı bitümlü kömür, kömürden aktif karbon üretiminin %90'nını oluşturmaktadır [76]. Aktif karbon üretimi amacıyla kullanılabilen hammaddeler Çizelge 2.19 'da verilmiştir.

Çizelge 2. 19 : Aktif karbon üretmek için kullanılan hammaddelerden bazıları [76]

Susuz Şeker Kamışı	Damıtma Proseslerindeki Organik Atıklar	Yağ Taşı
Şeker pancarı çamuru	Balık	Pirinç kabuğu
Kan	İs	Odun
Kemik	Meyve çekirdekleri	Turba
Karbonhidratlar	Grafit	Petrol asit çamuru
Hububatlar	Esmer su yosunu	Petrol koku
Kömür	Su yosunu	Kauçuk atıkları
Hindistan cevizi kabuğu	Deri atıkları	Testere talaşı
Kahve tanesi	Linyit	Lignin
Mısır koçanı	Selüloz	Mısır sapı
Pamuk çekirdeği kabuğu	Fındık Kabuğu	Melas

Aktif karbonun üretiminde seçilen hammadde ile aktif karbonun özellikleri değişmektedir. Örneğin gaz adsorpsiyonunda düşük yoğunluklu ve büyük gözenek yapısına sahip aktif karbonlar tercih edilmektedir. Bu aktif karbonların üretiminde tercih edilen hammadde ise yüksek uçucu madde ve düşük yoğunluklu maddeler olan odun ve lignindir. Yani hammaddenin uçucu madde içeriği ve yoğunluğu üretilen aktif karbonun özelliklerini direkt etkilemektedir. Hindistan cevizi kabuğu, bu tezde de kullanılan meyve çekirdekleri ve kabukları gibi tarımsal atıklar ise odun ve ligninden daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Uçucu madde içeriği bakımından ise kömürden daha yüksek uçucu madde içeriğine sahiptir.

Su arıtımında genellikle linyitten üretilen mikro gözenekli aktif karbonlar tercih edilmektedir. Büyük mikro gözenek hacmine sahip granüler aktif karbonlar ise sıvı ve gaz faz uygulamalarında tercih edilmektedir.

Aktif karbon üretiminde hammadde olarak tercih edilen yumuşak kömürlerde ise karbonizasyon işlemi öncesinde yeniden yapılandırma işlemi uygulanmalıdır. Bu şekilde elde edilen aktif karbonlar linyit ve Hindistan cevizi kabuğundan elde edilen aktif karbonlara göre daha sert ve yoğundur ve petrol kokundan elde edilen aktif karbonla benzer özellik göstermektedir.

Hindistan cevizi kabuğundan elde edilen aktif karbonlar ise yarı sert ve sert kömürden elde edilen aktif karbonlarla benzer özellik sergilemektedir [77].

2.2.4 Aktif karbonun uygulama alanları

Aktif karbonlar yüksek yüzey alanları, gözenekli yapısı ve adsorpsiyon kapasiteleri sayesinde birçok endüstride kullanılmaktadırlar. Kullanım amaçlarına göre iki kategoriye ayrılan aktif karbonlar sentez özelliklerine göre ve kullanılan hammaddeye göre özellikleri değişmekte ve hangi kategoride kullanılacaklarına karar verilmektedir. Kullanım alanları sıvı faz uygulamaları ve gaz fazı uygulamaları olarak ayrılır. Sıvı faz uygulamalarında en önemli uygulama alanları su saflaştırma, renk koku ve tat giderimi, organik veya inorganik safsızlıkları giderme ve madencilik sektöründe kullanılır [78].

Gaz fazı uygulamalarında endüstriyel boyutta eczacılık ve tıpta, gaz maskelerinde, havalandırma proseslerinde, nükleer santrallerde, sigara izmaritlerinde kullanılmaktadır. Toplam üretilen aktif karbonları yaklaşık olarak %80'i sıvı faz uygulamalarında yaklaşık %20'si de gaz fazı uygulamalarında kullanılır [79].

Farklı uygulama alanları için aktif karbon özellikleri Çizelge 2. 20'da verilmiştir.

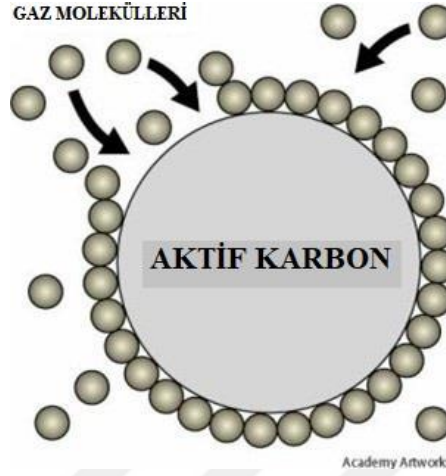
Çizelge 2. 20 : Farklı uygulama alanları için aktif karbon özellikleri [80-82]

ÖZELLİKLER	UYGULAMA ALANLARI					
	Gaz ve Buhar Geri Kazanımında	Gaz Maskeleri için	Suyun Temizlenmesi İçin		Renk Gideriminde	Katalizör Olarak
Yığın Yoğunluğu (g/L)	320-400	350-500	300-400	350-500	300-650	350-500
Gözeneklilik	Makro, Mezo ve Mikro	Mezo ve Mikro	Mikro	Mikro	Makro, Mezo ve Mikro	Makro, Mezo ve Mikro
Özgül İç Yüzey Alanı (m ² /g)	600-1200	500-1000	300-800	300-800	400-1200	600-1200
Benzol Adsorplama Kapasitesi (20 °C'de %90 Buhar Yoğunluğunda g/100g Karbona Kapasite)	50-80	50-80	20-50	40-100	50-80	50-80
Melas Faktörü (Renk Gideme Gücü)	-	-	3-7	3-7	0,7-5	-
Fenol Adsorplama (1 mg Fenol/L Çözültide %Fenol / g Karbon)	-	2	2-5	2-5	1-3	-
Metilen Mavisi Testi (100 g Karbon kullanılarak 5 dk da tamamen renksizleştirilebilen %15'lik metilen mavisi çözeltisi hacmi)	4-10	4-20	4-8	4-8	4-40	-

2.2.4.1 Gaz faz uygulamalar

Sıvı faz uygulamalarında kullanılan aktif karbonlardan daha yüksek yoğunlukta tane-ciklere sahip ve şekillendirilmiş 1000 ila 2000 m²/g yüzey alanına sahip aktif karbonlar gaz faz uygulamalarında tercih edilmektedir. Gaz fazı uygulamalarında kullanılan aktif karbonlarda bulunan küçük gözenekler, gazlar ve organik buharlar için seçicilik ve yüksek adsorpsiyon kapasitesi sağlamaktadır [80]. Gaz faz uygulamaları, toplam aktif karbon kullanımının %20'sini oluşturmaktadır [81]. En geniş uygulama alanları; çözücü geri kazanımı, koruyucu filtreler ve

otomobillerdeki emisyon kontrol ekipmanlarıdır [69,80]. Çizelge 2.21’de aktif karbonun tipleri ve gaz faz uygulamalarından bazıları görülmektedir [82]. Şekil 2. 7’de ise aktif karbon yüzeyinde bulunan gaz moleküllerini görülmektedir.



Şekil 2. 7 : Aktif karbon yüzeyindeki gaz molekülleri [82]

Çizelge 2. 21 : Aktif karbonun gaz fazı uygulamaları [82]

ENDÜSTRİ	TANIMI	TİPİK KULLANIMI
ÇÖZÜCÜ GERİ KAZANIMI	İşlemin ekonomisini optimize etmek ve buhar emisyonlarının kontrolü için organik çözeltilerin geri kazanımı	Asetat fiberler(aseton), eczacılıkla ilgili uygulamalar (metilen klor),film kaplama ve boya(etil asetal),manyetik bant(MEK)
KARBONDİOKSİT	Fermentasyon işlemlerinde karbondioksit saflaştırılması	Aminlerin, merkaptanların ve alkollerin adsorpsiyonu
ENDÜSTRİYEL HAVALANDIRMA	Organik buharların adsorpsiyonu	
ATIK İMHA	Evsel, kimyasal ve klinik atıkların yüksek sıcaklıkta yakarak imhası	Baca gazlarından dioksitlerin ve ağır metallerin uzaklaştırılması
SİGARA	Ağızlıkta toz ve granül filtreler	Tadının ve kokusunun kontrolü veya sigara dumanındaki zararlı elementlerin bazılarının ekstraksiyonu
ŞARTLANDIRMA	Isıtma ve havalandırma	Havaalanları, ofisler
KOMPOZİT FİBERLER	Köpük/lifli bileşenler içinde toz aktif karbonun emdirilmesi	Gaz maskeleri, suyun işlenmesi, ayakkabı içi koku gidericileri
KOKU GİDERİCİSİ	İstenmeyen kokuların giderilmesi	Filtre birimleri

2.2.4.2 Sıvı faz uygulamaları

Artan nüfus, sanayi ve yaşam şartlarına bağlı olarak su kaynaklarının zamanla kısıtlı hale gelmesi sebebiyle insanoğlunu kullanılmış suların gerekli işlemlerden geçerek tekrar kullanılabilir hale gelmesi konusunda su arıtımını geliştirmiş, özellikle kimyasal ve biyolojik açıdan temiz su elde edilmesi için uğraş sarf etmiştir. Sanayi kollarından özellikle ilaç ve gıda sanayi olmak üzere tüm sanayi suları ve özellikle de içme suları berrak, kokusuz, lezzetli olmalı ve sağlığa zarar verecek organizmalardan, metal iyonlarından arındırılmış olmalıdır. Çizelge 2.22’de aktif karbonun sıvı faz uygulamalarına örnek bazı çalışmalar verilmiştir [83].

Çizelge 2. 22 : Aktif karbon ve sıvı faz uygulamaları [83]

ENDÜSTRİ	TANIMI	TİPİK KULLANIMI
İçilebilir Su işlemleri	Tanecikli aktif karbon filtreleri kullanılır.	Organik bileşiklerin uzaklaştırılması, kötü koku ve tadın giderilmesi
Alkolsüz içecekler	İçilebilir su işlemleri, klor ile sterilizasyon işlemleri	Organik bileşiklerin uzaklaştırılması ve klorun giderilmesi
Altının Geri Kazanımı	Cevher özütleme (leaching) işlemleri	Sodyum siyanürde çözülmüş altının geri kazanımı
Petrokimya	Kullanılan buharın temizlenmesi	Yağ ve hidrokarbonların uzaklaştırılması
Yer Altı Suları	Yeraltı sularındaki istenmeyen maddelerin uzaklaştırılması	Kloroform, tetrakloroetilen ve trikloreten içeren adsorplanabilir organik halojenlerin ve toplam organik halojenlerin azaltılması
Endüstriyel Atık Sular	İşlemler sırasında açığa çıkan suların çevre için uygun hale getirilmesi	Biyolojik oksijen içeriğinin, kimyasal oksijen içeriğinin ve toplam organik halojenlerin azaltılması
Yüzme Havuzlar	Organik içeriklerin uzaklaştırılması için ozon enjektisi	Kloramin seviyesinin kontrolü ve kalan ozonun uzaklaştırılması
Yarı İletkenler	Yüksek saflıkta su	Toplam organik karbonun azaltılması
Alkoller	İçilebilir su işlemleri	Fenol ve trihalometanların uzaklaştırılması

2.2.5 Aktif karbon üretim yöntemleri

Çok eski zamanlardan beri karbon içeren bütün maddeler aktif karbon üretiminde kullanılabilirken [84], günümüzde aktif karbon üretiminde yüksek karbon ve düşük inorganik madde içeriğine sahip uygun maliyetli hatta atıklar tercih edilmektedir. Bunlara örnek olarak, kömür, petrol kalıntısı, odun, fındık ve Hindistan cevizi kabuğu, meyve çekirdekleri gibi birçok atıl biyokütle, fosil yakıtların pirolizinden elde edilen ziftin yanı sıra, polimer bazlı sentetik hammaddeler verilebilir. Başlangıç hammaddenin seçimi, kolay elde edilebilmesine, maliyeti gibi parametrelere bakılarak yapılmaktadır [81].

Karbon içeren hammaddeden aktif karbon üretimi sırasında, karbon içermeyen kısımların bünyeden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem esnasında karbon içeren malzemeden de bir kısım okside olarak uzaklaşırken bu işlem sonucu yeni bağlar oluşur ve yüksek miktarda gözenekli yapılar elde edilir. Günümüzdeki uygulamalarda yabancı maddelerin uzaklaştırılması ve bölgesel oksidasyonlar yeterli kalmamakta, nihai ürün eldesi için aktivasyon işlemine gerek duyulmaktadır [85]. Aktif karbon, seçilecek uygun başlangıç malzemesinden toz, tane-cikli, küresel şekillerde üretilebilmektedir [69]. Üretim süreci fiziksel ve kimyasal aktivasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [81].

Genel olarak aktivasyon süreci aşağıdaki adımları içermektedir;

1. Dehidrasyon: Bünyedeki bütün suyun uzaklaştırılması
2. Karbonizasyon: Organik maddelerin karbon olmayan kısımlarının uzaklaştırılarak elementel karbona dönüşümü
3. Aktivasyon: Katranın yanması ve gözenek (por) genişlemesi [86,87].

Fiziksel aktivasyonda; su buharı veya CO₂ gibi gazlar kullanılır. Bu gazlar sıcak haldeki kömürleşmiş malzeme üzerinden üflenmektedir. 800–1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda karbonlu başlangıç malzemelerinin bir kısmı ayrışıp sayısız gözenek ve çatlak oluşturmaktadır [85].

Kimyasal aktivasyon ise ağaç, turba ve benzeri esaslı malzemelere çinko klorür, potasyum hidroksit, soydum hidroksit, fosforik asit, potasyum karbonat gibi dehidrasyon özelliği olan çözeltilerin emdirilmesi işlemiyle gerçekleşmektedir [88]. Başka bir deyişle, kimyasal aktivasyon, çinko klorür, fosforik asit, sodyum hidroksit gibi kimyasalların başlangıç malzemesinden su giderme işlemine bağlıdır. İşlemler 400–1000 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmekte-

dir. Kimyasalların özütleme (ekstraksiyon) işlemiyle uzaklaştırılmasından sonra geriye gözenekli aktif karbon yapısı kalmaktadır. Aktif karbon üretimi döner fırın, çok kamaralı fırın, dikey shaft veya akışkan yatak tipindeki fırınlarda gerçekleştirilebilmektedir [84].

Aktif karbonun özelliği kullanılan hammaddeye göre, aktivasyon şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Aktif karbon eldesinde kullanılan hammaddenin yoğunluğu, uçucu madde içeriği elde edilen aktif karbonun özelliğini önemli ölçüde etkiler. Genellikle düşük yoğunluklu maddeler yüksek oranda uçucu madde içermekte olup bunlara odun ve lignin örnek olarak verilebilir. Ayrıca bunlardan elde edilen aktif karbonlar sahip oldukları büyük gözenek hacimleri sayesinde gaz adsorpsiyonuna uygundur.

Aktif karbon üretiminde kullanılan hammadde, aktif karbonun yüzey alanını ve gözenek boyut dağılımını etkilemek üzere bazı ön işlemlere tabi tutulabilir. Şöyle ki hammadde, bazı durumlarda safsızlıklardan arındırılmak amaçlı asit çözeltisiyle, çözücülerle ya da saf su yıkaması ile muamele edilebilir. Nem giderimi için kurutma işlemine tabi tutulabilir. Hammaddeye aktivasyon öncesi boyutlandırma yapılabilir [89].



Şekil 2. 8 : Aktif karbon hammadde, çeşitleri ve uygulaması

Toz Aktif Karbon (PAC): Toz veya ince granüllerden oluşur. Bunlar, ortalama çapı **0.15** ila **0.25** mm olan ezilmiş veya öğütülmüş karbon parçacıklarıdır ve daha sonra 50 ila 80 mesh elekten geçer.

Granüler Aktif Karbon (GAC): Parçacık boyutu PAC'den daha büyüktür ve difüzyon hızı hızlı olduğundan gazların ve buharın adsorpsiyonu için tercih edilir. Su veya sıvı uygulamaları için idealdir.

Ekstrüde Aktif Karbon (EAC): Hava ve gaz uygulamaları için ideal olan ekstrüde veya silindirik şekilli karbondan yapılmıştır. Mekanik dayanım yüksektir ve toz içeriği düşüktür.

Emdirilmiş Aktif Karbon (IAC): Bu gözenekli aktif karbonlar, demir, kalsiyum, Alüminyum, demir vb. inorganik elementlerle emdirilir. Bu karbonlar, kömürle çalışan üretim tesisleri, baca gazları vb. Arıtmada yararlı antiseptik ve antimikrobiyal özellikler bakımından zengindir.

Polimerle Kaplı Aktif Karbonlar (PCAC): Polimer kaplı aktif karbon, su arıtımı için kullanılır. Bu aktif karbonlar, geçirgen bir kaplama görevi gören ve gözenekleri tıkamayan biyolojik bir polimer ile kaplanmıştır. Kalan PCAC, hemoperfüzyon için kullanılır (toksin maddelerini uzaklaştırmak için büyük miktarda kan PCAC ve GAC yatağından geçer).

Aktif Karbon Kumaş (ACC): Bu karbon türü, ordu tarafından kullanılan koruyucu çorap, eldiven ve giysi olarak kullanılan elyaf ve kumaş şeklinde mevcuttur. Koruyucu maskeler, yara pansumanları, uçağı bozulma veya renk değişikliğinden korumak, suyu arındırmak ve daha pek çok şey için kullanılır.

BiyoAktif Kömür (BAC): Biochar karbonları piroliz prosesi ile üretilir (sıcaklığa bağlı olarak daha az inaktivasyon gerektiren bir proses ve bu nedenle burada karbon emisyonları da düşüktür) ve bunlar aktif kömür ailesinin son karbonlarıdır. Bunlar çevre dostu ve daha yeşildir [90,166].



Şekil 2. 9 : Aktif karbon tipleri

Elde edilecek ürünün yüzey alanının genişletmek, gözenek hacmini artırarak gözenekliliği artırmak amacı ile aktivasyon işlemi uygulanır. Bu aktivasyon işlemi genel olarak iki yöntem ile yapılır. Bu yöntemler fiziksel aktivasyon ile kimyasal aktivasyondur [90].

2.2.5.1 Fiziksel aktivasyon

Fiziksel aktivasyon işlemi de kendi içinde iki aşamada gerçekleşir. Bunlar, karbonizasyon (piroliz) ve/veya aktivasyon işlemleridir.

Sırası ile ilk olarak hammadde yüksek sıcaklıkta karbonize edilir. Daha sonra karbonize edilen ürün yüksek sıcaklıklarda karbondioksit (CO₂), oksijen (O₂), su buharı gibi gazlarla veya karbondioksit (CO₂) ve su buharı karışımı ile aktive edilir.

Fiziksel aktivasyonda yapının yüzey alanının ve gözenekliliği artırma mekanizması, kullanılan oksitleyici gazın fonksiyonel grupları kendine bağlayarak karbonlu yapıdan bu grupları uzaklaştırmak sureti ile gerçekleştirir.

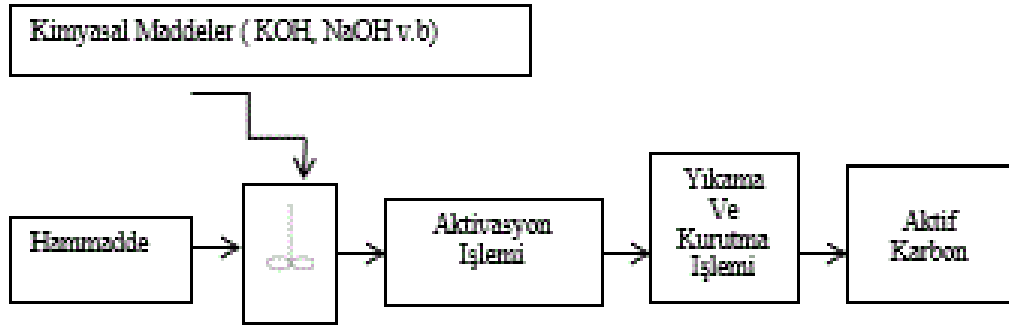
Genellikle endotermik olarak gerçekleşen fiziksel aktivasyon işleminde aktivasyon hızı, aktivasyon sıcaklığına ve aktivasyon maddelerine göre değişir [91].

2.2.5.2 Kimyasal aktivasyon

Kimyasal aktivasyonda aktivasyonu sağlamak için H_3PO_4 , $ZnCl_2$, K_2CO_3 KOH, $CaCl_2$, KCl, $Fe_2(SO_4)_3$ ve H_2SO_4 gibi kimyasallar kullanılır [91]. Kullanılan bu kimyasal maddeler yapının gözenek durumunu etkileyerek mikro gözenek oluşumunu sağlamaktadır.

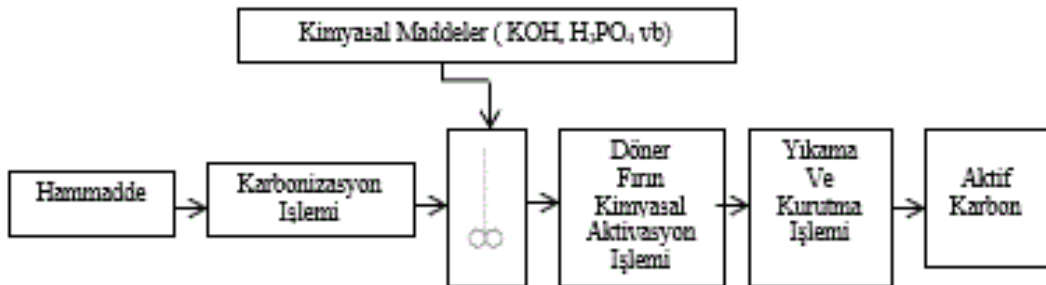
Kimyasal aktivasyon yönteminde kullanılan kimyasal madde, hammadde, kimyasal maddenin hammaddeye emdirme oranı, uygulanan karbonizasyon ve aktivasyon sıcaklıkları ve şartları gibi parametreler ürünü oldukça etkilemektedir.

İki farklı yöntem ile yapılan kimyasal aktivasyonda Şekil 2.10'da birinci yöntemle elde edilen aktif karbon üretim şeması yer almaktadır [92]. Şekilden de görüldüğü üzere, hammadde yönteme uygun olarak belirlenen emdirme oranına sadık kalınarak uygun kimyasal ile empregne edilerek reaktörde belirlenen sıcaklık şartlarında aktivasyon işlemine alınır. Daha sonra yıkama ve kurutma işlemlerinden geçirilerek ürün elde edilir.



Şekil 2. 10 : Kimyasal Aktivasyon Birinci Yöntem

Şekil 2.11'de ikinci yöntemle de yapılan aktif karbon üretim şeması yer almaktadır [93].



Şekil 2. 11 : Kimyasal aktivasyon ikinci yöntem

Şekilde de görüldüğü üzere, hammadde reaktörde belli sıcaklık şartlarında karbonize edildikten sonra yönteme uygun olarak belirlenen emdirme oranına sadık kalınarak uygun kimyasal ile emdirilerek reaktörde belirlenen sıcaklık şartlarında aktivasyon işlemine alınır. Daha sonra yıkama ve kurutma işlemlerinden geçirilerek ürün elde edilir.

Her iki yöntem ile yapılan kimyasal aktivasyon işleminde yıkama işlemi sırasında genellikle saf su kullanılmaktadır. Yıkama işleminin temel amacı gözeneklerde biriken kimyasalları temizlemektir [93,94].

Hem fiziksel hem de kimyasal aktivasyon yöntemleriyle elde edilen aktif karbonların birbirlerine göre olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır.

Kimyasal aktivasyonun fiziksel aktivasyona göre olumlu yönleri:

- Kimyasal aktivasyon işlemi, fiziksel aktivasyon işlemine göre daha düşük sıcaklıklarda yapılmaktadır.
- Kimyasal aktivasyon yöntemiyle hazırlanan aktif karbonların verimleri genellikle fiziksel aktivasyon ile hazırlanan aktif karbonların verimlerinden daha yüksektir.
- Kimyasal aktivasyon ile sentezlenen aktif karbonların gözenek hacimleri yüzey alanları, gözenek boyut dağılımları fiziksel aktivasyon yöntemine oranla daha yüksektir.
- Aktif karbon üretimi kimyasal aktivasyon yönteminde tek basamakta (karbonizasyon ve aktivasyon eş zamanlı) yapılabildiği gibi fiziksel aktivasyon yönteminde iki basamakta gerçekleştirilmektedir [92].

Kimyasal aktivasyonun fiziksel aktivasyona göre olumsuz yönleri:

- Kimyasal aktivasyonda kullanılan kimyasallar fiziksel aktivasyonda kullanılan kimyasallardan daha fazla çevreye zarar verebilmektedir.
- Genellikle kimyasal aktivasyon yöntemi için kullanılan kimyasalların genel özellikleri, ısıtma hızları, emdirme oranları, sıcaklıkları aktif karbonun yapısını değiştirebilmektedir.
- Kimyasal aktivasyon için kullanılan kimyasallar fiziksel aktivasyonda kullanılan gazların çeşidine göre daha fazla olduğu için kimyasal aktivasyonda daha fazla safsızlıklar oluşmaktadır.
- Kimyasal aktivasyon yöntemi ile oluşan safsızlıkların giderilmesi için saf suyla yıkama yapılmakta ve bu durum maliyetin artmasına neden olmaktadır [95].

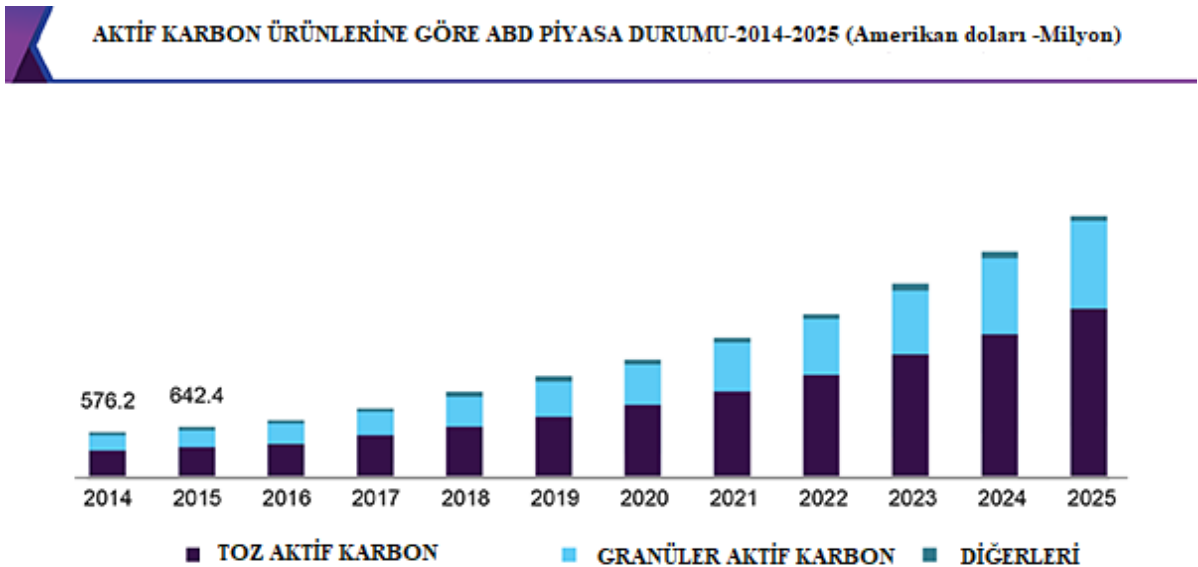
2.2.6 Aktif karbonun Dünya ve Türkiye'deki durumu

2015 yılında küresel aktif karbon ekonomisi 4,7 milyar dolar iken 2021 yılında 8,1 milyar dolar olması öngörülmektedir. Bu artış aktif karbonun gelecekte ne kadar değerli bir ürün olacağına bir örneğidir. 2015 yılında 2,74 milyon ton aktif karbon talebi mevcutken 2021 yılında 5,42 milyon ton aktif karbon talebinin olacağı öngörülmüştür. Gerek miktarsal olarak talep gerekse ekonomik değeri aktif karbonun üretiminin ve kullanım alanlarının endüstriyel önemi ortaya koymaktadır.

Aktif karbon, partikülleri ve çözünmüş safsızlıkları giderebilme kabiliyeti nedeniyle su ve kanalizasyon arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bazı organik safsızlıkları ortadan kaldırır ve sudaki kloru giderir. Seralarda ve imalat endüstrilerinde hava temizleme ve zehirli gazları, kokuları ve zararlı toz parçacıklarını gidermek için kullanılır. Yiyecek ve içecek işleme, ilaç ve tıp ve otomotiv endüstrileri, ürünün diğer uygulama alanlarıdır.

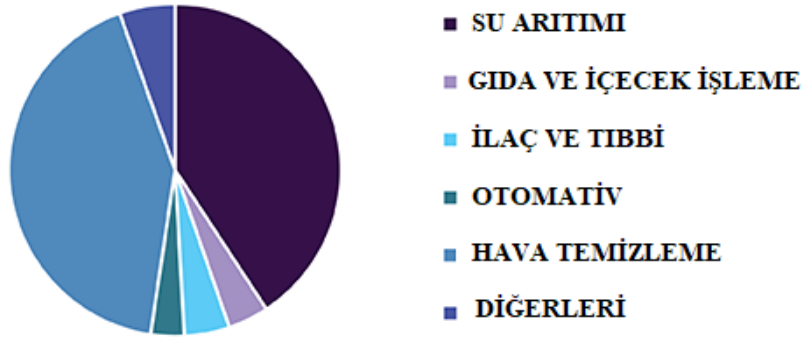
Artan hava ve su kirliliği seviyesi, dünya çapında hükümetlerin katı, hava ve su kirliliği kontrolü ve atık arıtma normları empoze etmesine sahiptir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve resmi düzenleme kurumları, cıva gibi kimyasal safsızlıkları gidermek için mevcut en iyi malzeme olarak aktif karbonu önermektedir [96]. Çizelge 2. 23'de aktif karbon ürünlerine göre ABD piyasa durumu verilmiştir. 2014-2015 yılları verileri ile 2016-2025 yılları arasında öngörülen değerlere göre çizelge incelendiğinde özellikle toz aktif karbon piyasasının hızla artmasını granüler aktif karbon takip etmektedir.

Çizelge 2. 23 : ABD'de aktif karbon ürünlerine göre piyasa durumu (2014-2025) milyon dolar



Su arıtma teknolojisi tüm dünyada önem kazanıyor. Şirketler, son birkaç yılda aktif karbon talebini artıran çevre dostu ve verimli su bertaraf tekniklerini benimsemeye çalışıyor. 2018 yılında su arıtma uygulamasında ürün tüketimi dünyada üretilen toplam hacmin %40'ından fazlasına ulaşmıştır. Yiyecek ve içecek sektöründe, tatlandırıcılar, gıda sıvıları, şuruplar, içecekler, gliserin, amino ve organik asitlerden kirletici maddelerin veya renk ve koku gibi safsızlıkların giderilmesi gibi işlemlerde aktif karbon tüketilmektedir. İşlenmiş gıda ve içeceklere yönelik artan talep, yakın gelecekte pazarı yönlendirmesi beklenen önemli bir faktördür. İlaç ve tıpta aktif karbon talebi 2018 yılında 104,1 kilo ton idi. Ürün, hammadde bileşikleri, böbrek makinesi, bakım malzemeleri ve solunum cihazlarının saflaştırılmasında kullanılmaktadır. Artan nüfus ve sağlık endişelerinin talebi öngörülen süre boyunca ilerletmesi bekleniyor.

NİHAYİ KULLANIMA GÖRE KÜRESEL AKTİF KARBON PAZAR PAYI. 2018

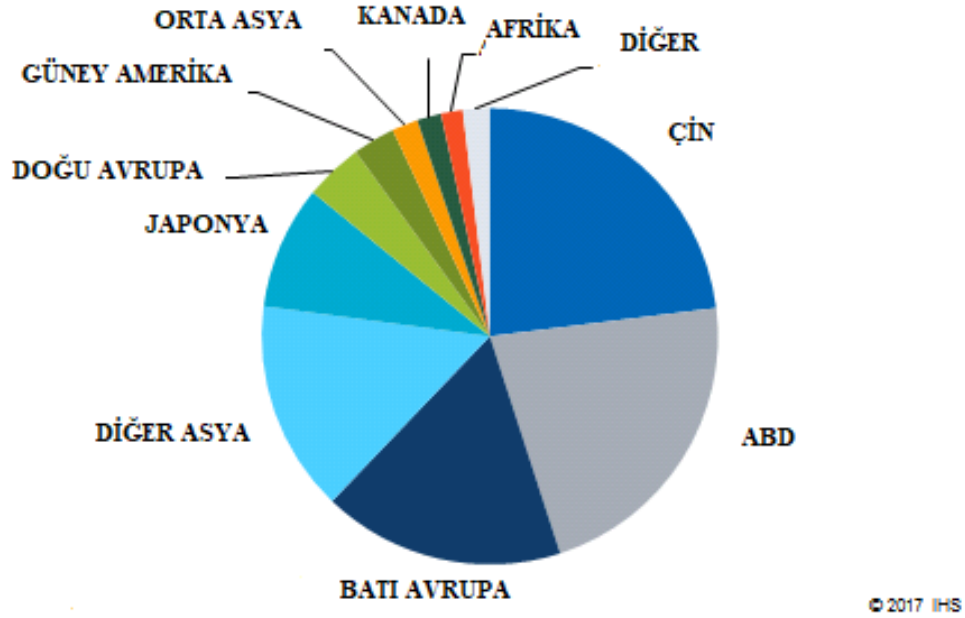


Şekil 2. 12 : Dünyada aktif karbonun nihai kullanımına göre pazar payı, 2018

Aktif karbon, odun, kömür veya Hindistan cevizi kabukları dahil olmak üzere çeşitli karbonlu ham maddelerden herhangi birinin yıkıcı damıtılmasıyla hazırlanan amorf bir element karbon şeklidir. Öncelikle sıvılardan veya gazlardan gazları, buharları veya koloidal katıları seçici olarak adsorbe etmek için bir substrat olarak kullanılır. Aktif karbonun başlıca ticari ürün biçimleri tanecikli, toz haline getirilmiş, ekstrüde edilmiş ve elyafıdır.

Aktif karbon işi, özellikle dünyanın daha olgun ve daha sanayileşmiş bölgelerinde- özellikle su ve hava arıtma ile ilgili çevresel düzenlemeler tarafından yönlendirildi ve yönlendirilmeye devam edecek. Başta Çin ve Hindistan olmak üzere hızla gelişmekte olan ülkelerin pazarlarında çevre sorunları hâkim güç olmaya devam edecek.

Şekil 2.13, 2016 yılı verilerine göre dünya aktif karbon tüketimini göstermektedir.



Şekil 2. 13 : Dünyadaki aktif karbon tüketimi, 2016

Endüstrinin son yıllarda, özellikle Avrupa'daki bazı büyük oyuncular tarafından bir miktar konsolidasyon görmesine rağmen, toplam dünya kapasitesi 2012'den bu yana yaklaşık 400.000 mt arttı. Bu büyümenin çoğu Çin, Hindistan ve Filipinler'de gerçekleşti. Büyüyen bir eğilim, yeniden aktive edilmiş karbon kullanma yönünde itme veya öneridir. Kullanılmış karbonun yeniden aktivasyonu, azaltılmış bertaraf maliyetleri ve yeniden aktifleştirilmiş karbon için daha düşük CO₂ ayak izi nedeniyle işlenmemiş aktif karbon üretimine uygun maliyetli bir alternatif olabilir.

Dünya çapında su arıtma, toplam tüketimin%41'ini oluşturmaktadır ve aktif karbon için en büyük uygulama olmaya devam etmektedir. Hava ve gaz arıtma toplamın%30'unu oluştururken, bunu%14 ile gıda işleme uygulamaları izledi. Önümüzdeki beş yıl içinde bu yüzdelerin önemli ölçüde değişmesi beklenmiyor. Aktif karbon tüketimi hem uygulama hem de büyüme oranı açısından bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde, gıda işleme uygulamaları için aktif karbon toplamın%7'sinden fazlasını oluştururken, Çin'deki gıda işleme uygulamaları toplamın%25'ini oluşturuyordu. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki toplam tüketimin, Çin'deki%5,4'e kıyasla yıllık ortalama%2,6 artacağı tahmin ediliyor [96].

2.3 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon; atom, iyon ve moleküllerin (adsorplanan) katı (adsorban) bir yüzeyde tutunması olayıdır. Atom, iyon ve moleküller gaz ve sıvı fazda bulunabilirler. Adsorpsiyon gaz ve sıvı fazda bulunan adsorplanan ile adsorban arasındaki sınır yüzeyde konsantrasyon değişmesi ya da diğer bir deyişle gaz ya da çözünen madde birikimine adsorpsiyon denir. Bu iki faz sıvı-sıvı, gaz-sıvı, gaz-katı veya sıvı-katı olabilmektedir [97,98].

Gaz adsorpsiyonu, gaz faz içerisindeki bir ya da birçok bileşenin katı yüzeyinde tutunması işlemidir. Gaz-katı ara yüzeyinde gerçekleşen bu adsorpsiyon işleminde basınç, sıcaklık ve katı yüzeyin yapısı adsorplanan gaz miktarını etkilemektedir. Bu üç özellikten basınç ve sıcaklık parametreleri sabit tutulduğunda ise adsorplanan gazın miktarı doğrudan katı yüzeyin yapısına yani yüzey alanı, gözenek boyut dağılımı ve katını kimyasal yapısına bağlı olur. Gaz adsorpsiyonunda katı-gaz temas süresi boyunca gözeneklerde adsorplanan madde birikir. Buda adsorplama kapasitesi ile katının gözenek hacim büyüklüğü arasındaki orantıyı bize verir.

Adsorpsiyon makro, mezo ve mikro gözenekler değerlendirildiğinde mikro gözeneklerde gerçekleşmektedir [99].

2.3.1 Adsorpsiyon çeşitleri

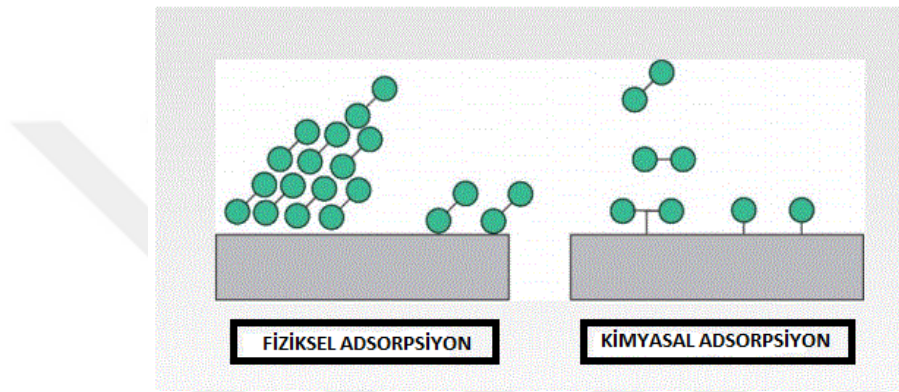
Adsorplayan madde yüzeyi ile adsorplanan kimyasal arasındaki çekim kuvvetinin etkileşimine ve yapıya göre gerçekleşen üç tür adsorpsiyon çeşidi aşağıda izah edilmektedir [100,101].

a) Fiziksel adsorpsiyon (Van der Waals adsorpsiyonu): Fiziksel adsorpsiyonda, adsorplanmış molekülleri adsorban yüzeyine bağlı tutan kuvvetler, moleküller arasında var olan Van der Waals kuvvetleridir. Az seçimseldir ve katının bütün yüzeyini ilgilendirir [102]. Adsorpsiyon ısısı düşük olup, yaklaşık 8-10 kcal/mol dır [103]. Adsorpsiyon dengesi iki yönlüdür ve çabuk gerçekleşir. Fiziksel adsorpsiyon basıncının düşürülmesi veya ısının artırılması ile kolaylıkla geriye dönüşümü mümkündür. Bu tür adsorpsiyonda, adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır [102]. Yüzeye tutulan adsorbat belli bir bölgeye bağlanmaz. Adsorbat yüzeyden kolayca ayrılır ve başka bir adsorbat boşalan bölgeye tekrar tutulur. Bu fiziksel adsorpsiyon ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki en önemli farklılıktır [104-106].

b) Kimyasal adsorpsiyon: Kimyasal adsorpsiyon (Chemisorption) veya aktive edilmiş adsorpsiyon, adsorplanan moleküllerle adsorbanın yüzey molekülleri ya da atomları arasındaki gerçek bir reaksiyondan meydana gelir. Adsorpsiyon aktivasyon enerjisi bir kimyasal reaksiyonunki

aynı olup, yaklaşık 20–100 kcal/mol olup fiziksel adsorpsiyona göre yüksek aktivasyon enerjisine sahip olup kimyasal bağlarla bağlıdır ve yüzeyden kopmasının oldukça zor olduğu görülmüştür. Reaksiyon hızı sıcaklıkla artar ve adsorplanmış tabaka monomoleküllerdir. Birçok durumda kemisorpsiyon, katının bütün yüzeyinde değil, aktif merkez denilen merkezlerde bağlanır ve bağlanacak yüzey kalmadığında adsorpsiyon durur. (Şekil 2.14). [105,106].

10–20 kcal arasında adsorpsiyon ısısına sahip olan adsorpsiyon ise fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arası bir tür adsorpsiyondur ki buna persorpsiyon denir [102]. Çizelge 2.24’de fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon şartlarına göre özellikleri karşılaştırılmaktadır [103].



Şekil 2. 14 : Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon

Çizelge 2. 24 : Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması

	Fiziksel Adsorpsiyon	Kimyasal Adsorpsiyon
Adsorpsiyon ısısı k. jmol ⁻¹	20-40 Sıvılaştırma ısısı	>80 Hacim-faz kimyasal reaksiyonları
Adsorpsiyon hızı (273K’de)	Hızlı	Yavaş
Sıcaklığa bağlılığı (T artışı)	Azalma	Artma
Desorpsiyon	Kolay-düşük basınçta veya artan sıcaklıkta	Zor-yüksek sıcaklıkta bağlarını kırmak ister
Spesifikliği	Spesifik olmayan	Oldukça spesifik
Tek-tabaka kapsamı	Koşullara bağımlı olarak tekli veya çoklu tabakalar	Tek-tabaka

c) İyonik adsorpsiyon: İyon adsorpsiyonunda sıvı faz içerisindeki iyonlar adsorban yüzeyine bağlanma şekli için 3 farklı mekanizma ön görülmüştür. Bu mekanizmalardan birincisi adsorbent ile adsorban arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır. Burada adsorbanın yüzey grubu önemlidir ve etkileşimi fazla olan yüzey grupları genellikle oksijen içerenlerdir. İkinci mekanizma ise gözeneklerden içeri giren madde belli bir süre sonra adsorpsiyon potansiyelini arttıracak ve gözenekler daralacaktır. Bundan dolayı adsorpsiyon güçlü bağlarla kurulacak ve yapı iyonları bırakmayacaktır. Üçüncü mekanizma ise kuvvetli veya zayıf asit ve bazların amfoter gibi davranan aktif karbon yüzeyleri ile etkileşmesi sonucu oluşan adsorpsiyondur [107].

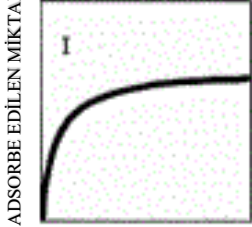
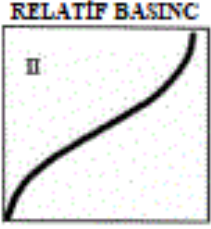
2.3.2 Adsorpsiyon izotermi

Aktif karbon adsorpsiyonu, organik kimyasalları, kloru, kurşunu ve hoş olmayan tatları ve gaz veya sıvıdan gelen atık veya renkli maddelerdeki kokuları azaltmak için etkili bir araçtır. Boyarmaddelerin geleneksel kimyasal ve biyolojik kararlılığı endüstriyel atık sulardan adsorpsiyon teknikleriyle renk gidermedeki önemi giderek artmaktadır. Ayrıca tedavi yöntemleri ve yüksek kaliteli tedaviye artan ihtiyaç, adsorpsiyonu çok uygun bir tedavi süreci haline getirmiştir. Adsorpsiyon hızı ve denge verileri adsorpsiyon sistemlerinin tasarımı için temel gereksinimlerdir ki birçok araştırmacı tarafından incelenmiş bir dizi adsorpsiyon izotermi vardır. [108-113]

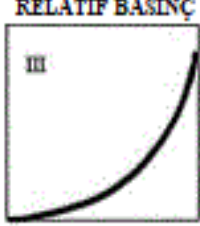
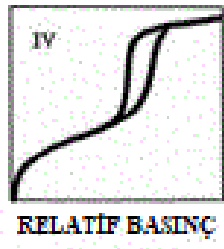


Buhar fazının yanında çözelti fazında da kullanılabilen ve sistemde en yaygın kullanımı olan 6 adsorpsiyon izoterm tipleri Çizelge 2.25’de verilmiştir. Bu izotermelerde gösterilen P/P_0 bağıl denge basıncını gösterirken C/C_0 bağıl denge derişimini göstermekte olup P_0 doygun buhar basıncını C_0 ise doygun çözelti derişimin ifade etmektedir [114].

Ayrıca adsorpsiyon izoterm modelleri de dikkate alınarak hem denge verileri hem de adsorpsiyon özellikleri, kirleticiler ve adsorban malzemelerin etkileşim mekanizmaları tanımlanır. IUPAC sınıflandırmasına göre, adsorpsiyon izotermi adsorban-adsorban çiftlerinin şekline göre altı tip izoterm Çizelge 2.25’de gösterildiği üzere kategorize edilebilir [115].

Çizelge 2. 25 Adsorpsiyon izoterm tipleri [115-142]

İzoterm Tipleri	Tanımı	Örnek	Grafik	Referans
Tip I izoterm-leri (Dışbükey Yukarı)	Çok yüksek gaz basınçlarının içinde bulunduğu yatay bir platform ile karakterize edilmiştir ve Langmuir denklemi ile tanımlanabilir.	Su buharının zeolit üzerine adsorpsiyonu, odun kömürü üzerine hidrojenin adsorpsiyonu. Potasyum iyot çözeltisinden çinko klorürlü AC üzerine iyot adsorpsiyonu	 <p>ADSORBE EDİLEN MİKTAR</p> <p>RELATİF BASINÇ</p>	[115-117]
Tip II izoterm-leri	Düşük basınçta mezogözenekli tek katmanlı malzemeler üzerindeki adsorpsiyonu ve doyumluğa yakın yüksek basınçta mezogözenekli çok katmanlı malzemeler üzerindeki adsorpsiyonu tanımlar. Bir bükülme noktasına sahiptir. Üstelik sadece mikrogözenekli, gözeneksiz veya >50 nm gözenek çaplı dağımık katılar olarak gözlenmektedir.	Azotun silika jel veya demir katalizörü üzerine adsorpsiyonu, polimer bazlı adsorban üzerine su buharı adsorpsiyonu	 <p>ADSORBE EDİLEN MİKTAR</p> <p>RELATİF BASINÇ</p>	[115,117, 118]

Çizelge 2. 26 (devam): Adsorpsiyon izoterm tipleri [115-142]

Tip III izoterm-ler (İçbükey Yukarı)	Bu tür, adsorban-adorban etkileşiminin adsorban-sorbent etkileşimine kıyasla daha büyük olduğu durumlarda meydana gelir.	Hidrofobik zeolitler ve aktif karbon üzerinde suyun adsorpsiyonu, silika jel üzerinde brom ve iyotun adsorpsiyonu, mezo gözenekli jel üzerinde karbon tetraklorürün adsorpsiyonu.		[115,117, 119]
Tip IV izoterm-leri	Bu tür, desorpsiyon ve adsorpsiyon dalları arasında meydana gelen gözenek kondenzasyon hysteresis gösteren belirli mezogözenekli malzemelerin adsorpsiyon davranışlarını tanımlar. 2 bükülme noktasına sahiptir.	Nemli havanın, su buharının aktif karbonun belirli türleri üzerindeki adsorpsiyonu, benzenin demir oksit ve silika jel üzerindeki adsorpsiyonu.		[115,116, 117,120]
Tip V izoterm-leri	Bu tür, gözenek kondenzasyonu gibi faz değişimlerinde mesogözeneklerin varlığını gösterir. Bir bükülme noktasına sahiptir	Karbon moleküler elek veya fiber aktif karbon üzerinde suyun adsorpsiyonu		[115,116, 117]
Tip VI izoterm-leri	Düşük sıcaklıklarda katmanlardan daha çok bahsedilir ve izoterm-ler adım adım çok katmanlı adsorbanları bulundurlar. Birkaç bükülme noktası vardır.	Düzlemsel grafit yüzeylerinde soygazların adsorpsiyonu ve alüminyum silikat üzerinde bütanolün adsorpsiyonu, CH4 ve MgO nun adsorpsiyonu.		[115,117, 118,121]

2.3.3 Adsorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon işleminde adsorpsiyon hızı, adsorpsiyonun hangi basamak tarafından belirlendiği gibi parametreler adsorpsiyon kinetiği ile anlaşılmaktadır ayrıca adsorplanan madde ve adsorban temas süresi gibi parametrelerin de belirlendiği kinetik çalışmalar dört ana basamakta meydana gelmektedir.

1. İlk basamakta sıvı veya gaz fazda bulunan adsorplanan madde, adsorbanın dışında bulunan film tabaka sınırına doğru difüzyon yolu ile ilerler. Bu basamağa yığın akışkan difüzyon basamağı denir. Bu basamak çok hızlı gerçekleştiğinden dolayı hız belirleyici basamak olarak görülmez. Bu basamağın adsorpsiyonun hız belirleyici basamağı olabilmesi için adsorbanın bulunduğu fazın hareketsiz olması gerekir.

2. Adsorplanacak madde film tabakasına geldikten sonra buradaki durgun bölgeden geçerek adsorbanın gözeneklerine doğru ilerler. Bu hareket, film kütle transferi ya da sınır tabaka difüzyonu olarak bilinir.

3. Bu basamakta adsorbanın gözeneklerinde ilerleyerek adsorplanacağı yüzeye doğru, ilerlemesi gerçekleşir ki bu gözenek difüzyonu olarak tanımlanır. Adsorpsiyon hızına genellikle sınır tabaka ve gözenek difüzyonu kademeleri birlikte etki eder.

4. Son olarak adsorplanan madde, adsorbanın gözenek yüzeyinde fiziksel ve/veya kimyasal olarak adsorplanır. Bu adsorpsiyonun en hızlı kademesidir ve hız belirleyici basamak değildir.

Aşağıdaki kinetik çalışmaların genel olarak sıvı adsorpsiyon çalışmalarına uyumlu çıktığı görölmüştür:

1. Birinci Derece Denklem
2. Yalancı Birinci Derece Denklem (Lagergen Denklemi)
3. İkinci Derece Denklem
4. Yalancı İkinci Derece Denklem
5. Battacharya ve Venchobacher Eşitliği
6. Üstel Eşitlik
7. Elovich Eşitliği
8. Intraparticle Difüzyon

Çizelge 2. 27: Bu çalışmada kullanılan izoterm ve kinetik denklemlerin lineer ve lineer olmayan formları [123-142]

İzoterm Denklemleri	Eşitlik	Lineer Formu
Tek Parametrelili model Henry	$q_e = K_{HE} C_e$	$q_e = K_{HE} C_e$
İki parametrelili modeller Langmiur	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m}$
Freundlich	$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$	$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$
D-R	$q_e = q_m \exp\left(\frac{RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right)^2}{-2E^2}\right)$	$\ln q_e = \ln(q_m) - k_D - R E^2$
Temkin	$q_e = \frac{RT}{b} \ln(K_t C_e)$	$q_e = b \ln K_t + b \ln C_e$
Koble Corrigan	$q_e = \frac{A C_e}{1 + B C_e}$	$1/q_e = 1/A C_e + B/A$
Jovanovich	$q_e = q_{\max} (1 - e^{-K_J C_e})$	$\ln q_e = \ln q_{\max} - K_J C_e$
Kinetik Modeller Elovich	$q_t = \beta \ln(\alpha \beta t)$	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$
Avrami	$q_t = q_e [1 - \exp(-(K_{Av} t))]^{n_{Av}}$	$\ln[-\ln(1 - \alpha)] = n_{Av} \ln K_{Av} + n_{Av} \ln t$
Yalancı Birinci Mertebe	$q_t = q_e (1 - e^{-kt})$	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{K_1}{2.303}\right) t$
Yalancı İkinci Mertebe	$q_t = \frac{K_2 q_e^2 t}{1 + K_2 q_e t}$	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K^2} q_e^2 + \frac{1}{q_e} t$
Fractional Power	$q_t = K t^v$	$\log q_t = \log K + v \log t$
Intraparticle Diffusion	-	$q_t = K_{diff} t^{1/2} + C$
Bangham	$\text{Log} \log \left(\frac{C_i}{C_i - q_t M} \right) = \log \left(\frac{K_j M}{2.303 V} \right) + \alpha \log t$	-

2.3.4 Adsorpsiyonu etkileyen faktörler

Adsorpsiyon birçok parametreden etkilenmesinden dolayı adsorpsiyon ile yüzeye tutulan madde miktarı parametreler değıştikçe değışmektedir.

Sıcaklık

Sıcaklık adsorpsiyon için önemli bir parametre olup sıcaklıkla adsorpsiyon hızının arttığı bilinmektedir. Sıcaklığın yükselmesiyle adsorbanın kinetik enerjisi ve absorbatın gözeneklerine doğru gidiş hızı artacaktır. Bundan dolayı adsorpsiyon hızı artacaktır. [143,144]

pH

Adsorpsiyonu etkileyen bir diğer parametre olan pH, çözelti içerisindeki H_3O^+ ve OH^- iyonlarının adsorbanın yüzeyine daha güçlü tutunacaklarından dolayı adsorpsiyonu etkileyecektir [145]. Anyon ve katyon formundaki bileşenlerin adsorpsiyonunda pH ile çökelme sözkonusu olduğundan bu bileşenlerin (speciation) türleşme diyagramlarının bilinmesi ve uygun pH değerlerinin tampon çözeltilerle sağlanması gereklidir.

Adsorbanın Yüzey Alanı

Tanecik boyutu küçüldükçe aktif yüzeyler daha çok ortaya çıkacağından adsorpsiyon kapasitesi de artacaktır. Artış temelde iki ucu kapalı gözeneklerin ortaya çıkması ile ilgilidir. Adsorpsiyon bir yüzeye tutulma olduğundan dolayı yüzey ne kadar büyükse o kadar fazla madde tutunacak ve adsorplanan madde miktarı artacaktır. Bundan dolayı adsorbanın yüzey alanının yükselmesi adsorpsiyon için önemli bir parametre olup adsorpsiyonun meydana geldiği yüzeye spesifik yüzey alanı denir ve bu spesifik yüzey alanı toplam alandan her zaman daha düşüktür [106].

Adsorbanın Tanecik Boyutu

Adsorbanın tanecik boyutu adsorpsiyonu etkileyen başka bir parametredir. Absorbat toz halinde olması adsorpsiyon miktarını arttıracak ve adsorplama hızı da yine aynı oranda yükselecektir [106].

Amaç

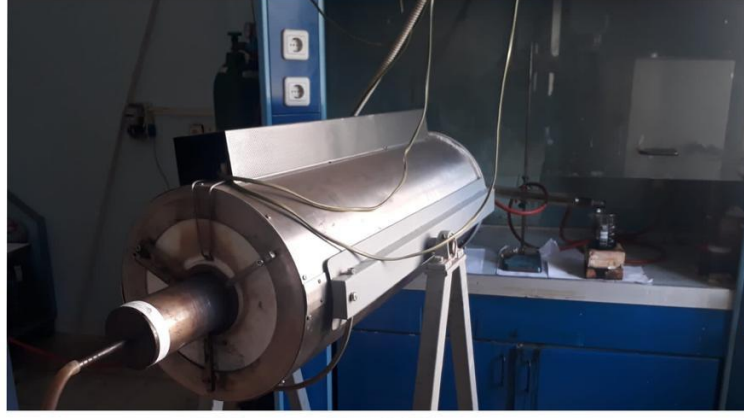
Aktif karbon birçok sektörel alanda kullanılmasından dolayı önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bundan dolayı aktif karbon sentezi son yıllarda önem arz etmektedir. Geçmiş yıllarda aktif karbon sentezi genellikle kömür, kömür türevleri, hayvan fosilleri ve selülozik kökenli hammaddeler (odun vb.) gibi malzemelerden üretilirdi. Günümüzde artan dünya nüfusu ve enerji ihtiyacına bağlı olarak bu malzemeler farklı sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle aktif karbon sentezinde kullanılan hammaddeler farklılıklar göstermiştir. Sentezde kullanılan hammaddeler genellikle atık malzemelerden özellikle biyokütle kökenli malzemelerden elde edilmeye başlanmıştır. Bu şekilde hem ekonomik olarak hem de yenilenebilirlik açısından fayda sağladığından hammadde olarak tercihi artmıştır.

Bu çalışmada 5 farklı biyokütle kullanılmıştır. Bu biyoküteller ceviz kabuğu, şeftali çekirdeği kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, kayısı çekirdeği kabuğu ve badem kabuğudur. Bütün hammaddelerden 100'er gram alınarak karışım oluşturulmuş ve bu karışımdan aktif karbon sentezine gidilmiştir. Çalışmada en yüksek yüzey alanlı malzeme oluşumu amaçlanmıştır. Bu şekilde bu hammaddelerden aktif karbon sentezi yapılabileceği görülmüş ve değişen parametrelerin yüzey alanlarına nasıl etki ettiği tespit edilmiştir.

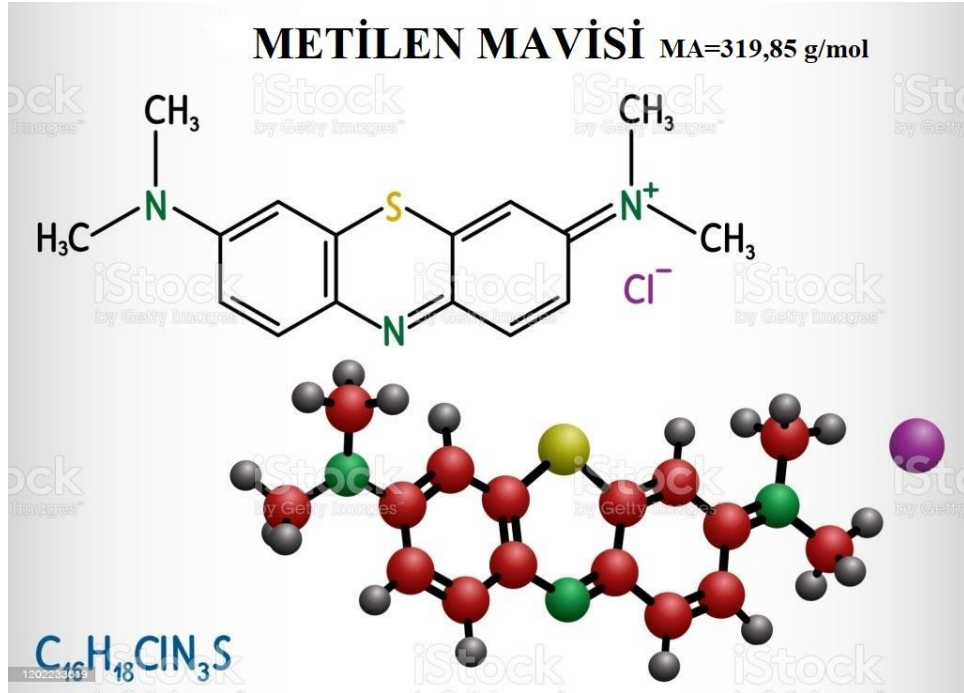
Bu amaçla elde edilen aktif karbon üç farklı aşamadan geçerek sentezi tamamlanmıştır.

1. Karbonizasyon Aşaması: Her hammaddeden 100'er g alınarak 3°C/dk, 5°C/dk ve 10 °C/dk ısıtma hızlarında, 100 ml/dk N₂ akış hızında 400°C, 500°C ve 600°C sıcaklıklarda 1 saat süre ile karbonizasyon işlemi Şekil 2.15'de verilen 3 bölgeli çelik reaktörde gerçekleştirilmiştir.
2. Kimyasal Emdirme Aşaması: Bu basamakta ise karbonize ürünlere 1:1, 1:2 ve 1:3 oranlarında KOH emdirilmiştir.
3. Kimyasal Aktivasyon Aşaması: Bu aşamada ise KOH ile emdirilmiş olan malzemeler 800°C de 1 saat sürede 10°C/dk ısıtma hızı ile aktif karbon elde edilmiştir.

Sentezleri tamamlanan aktif karbonlardan en yüksek yüzey alanına sahip olan kullanılmak koşulu ile Şekil 2.16'de molekül yapısı da verilmiş olan metilen mavisi adsorpsiyonu çalışılmış adsorpsiyon kapasitesi hesaplanmıştır. Adsorpsiyon kapasitesi hesaplanmış aktif karbon numunesinin adsorpsiyon mekanizmasının dahi iyi anlaşılabilmesi için kinetik çalışmaları tamamlanmıştır.



Şekil 2. 15: Protherm PZF 12/50/700 model fırın



Şekil 2. 16: Metilen mavisi

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Deneyde Kullanılan Materyaller ve Cihazlar

Bu çalışmada kullanılan hammaddeler ve görüntüleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 : Kullanılan hammaddeler

Kayısı Çekirdeği Kabuğu	
Badem Kabuğu	
Şeftali Çekirdeği Kabuğu	
Ceviz Kabuğu	
Antep Fıstığı Kabuğu	

Bu çalışmada kullanılan cihazlar ve kimyasallar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 : Kullanılan cihaz ve kimyasallar

CİHAZLAR	KULLANIM AMACI
Protherm PZF 12/50/700 model Fırın	Karbonizasyon ve Kimyasal Aktivasyon İşleminde
UV-VIS Shimadzu 2100S	UV ölçümleri için
Etüv -Nüve Marka FN500	Kurutma işlemleri için
Brunauer- Emmett- Teller (BET) Micromeritics marka Tristar 3000	Yüzey Analiz Ölçümünde
CHNS-932 (LECO) cihazı	Element Analizi Tayininde
Leo EV040 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM)	Yüzey Alanı Görüntülemeye
Rigaku RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-ışını diffraktometresi (XRD)	XRD analizleri için
Perkin Elmer Spectrum One marka cihaz (FTIR)	FTIR analizleri için
Bilyalı Öğütücü	Numune boyut küçültmede
Çoklu magnetik karıştırıcı IKA WERKE	Adsorpsiyon ve Kinetik Çalışmalar için
KİMYASALLAR	KULLANIM AMACI
N ₂ Gazı	Karbonizasyon İşleminde inert atmosfer oluşturmada.
Metilen Mavisi- Fluka Marka	Adsorpsiyon İşleminde boyar madde olarak
KOH -ISOLAB Marka	Kimyasal Aktivasyon için
AgNO ₃	Cl Testinde
HCl (Seyreltik)	Kimyasal Aktivasyonda

3.2 Yöntem

3.2.1 Biyokütle temini

Hiçbir ön işleme tabi tutulmadan analize alınan biyokütlelerden Kayısı Çekirdeği kabuğu, Ceviz kabukları ve Badem Kabukları Malatya ilimize ait işletme fabrikalarından yerel olarak, Şeftali çekirdeği kabuğu ise Aydın ilimizin Söke ilçesine bağlı Tabia Doğal Destek Ürünleri firmasından, Antep Fıstığı kabuğu Gaziantep'ten, alınarak temin edilmiştir.

3.2.2 Karbonizasyon işlemi ve aktif karbon sentezi

Hiçbir ön işleme tabi tutulmadan alınan hammaddeler 100'er gram alınarak çelik küvete konulmuştur. Çelik küvet 3 ısıtma bölgesi fırında bulunan çelik reaktörün içirişine yerleştirilmiş ve çelik reaktör kapatılmıştır. Kapatılan çelik reaktörden 100ml/dk N₂ gazı geçirilerek inert atmosfer oluşturulmuştur. Fırın 3°C/dk, 5°C/dk ve 10 °C/dk ısıtma hızlarına ayarlanarak 400°C, 500°C ve 600°C sıcaklıklarda 1 saat süre ile karbonizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Fırın çıkışına bağlanan geri soğutucular yardımı ile sıvı ürün elde edilmiştir. Elde edilen sıvı ürün bir beher yardımı ile toplanarak tartımı alınmış ve yüzde verimi hesaplanmıştır. Maksimum sıcaklığa çıkarılan fırın oda sıcaklığında soğutulmaya bırakılarak çelik reaktör içerisinden çelik küvet alınmış ve karbonize ürünün tartımı ile verimi hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$V = \frac{a}{b} \times 100$$

V = Verim

a = Tartılan miktar (g)

b = Ham biyokütle miktarı (g)

Katı ve sıvı ürün verimlerinden yüzde hesap ile gaz ürün verimi hesaplanmıştır.

Elde edilen karbonize ürünlerin homojenizasyonu sağlanarak yaklaşık olarak bir behere 20 gram alınan karbonize ürünün üzerine kütlece 1:1 oranında KOH ilave edilmiştir. KOH ın tamamen çözünebileceği miktarda saf su eklenerek karbonize ürün ile tamamen karışması sağlanmış ve beher 105°C deki etüve konulmuş ve suyun tamamen uzaklaşması sağlanmıştır. Bu süre yaklaşık 72 saat sürmüştür. Bu işlemler karbonize ürün üzerine kütlece 1:2, 1:3 KOH ilavesi için de aynen tekrarlanmıştır.

Suyu uzaklaştırılan malzeme çelik küvete alınarak çelik reaktörün bulunduğu fırına yerleştirilmiş ve 100 ml/dk N₂ gazı geçirilerek inert atmosfer sağlanmış fırın 10°C/dk ısıtma hızı ile 800 °C de 1 saat boyunca aktivasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Aktivasyon işlemi tamamlanmış olan ürünün içinde bulunduğu fırın (Çapı 8 cm uzunluğu 120 cm olan reaktör) oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğuma sonrası çıkarılan aktif karbon bir behere alınarak üzerine yavaşça seyreltik HCl ilave edilmiştir. Bu işlem reaksiyon bitene kadar devam etmiştir. Daha sonra reaksiyon sonucunda behere saf su ilave edilerek ısıtıcı yardımı ile sıvının kaynaması sağlanmıştır. Kaynama sonrası beher oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve soğuyan karışım kaba süzgeç kâğıdı kullanılarak süzümüştür. Süzme işlemi saf su kullanılarak Cl giderimi sağlanarak devam etmiştir. Klor giderimi sağlanmış aktif karbon kurumak üzere 105 °C lik etüve konulmuştur. Etüvde kuruyan malzeme alınarak agat havanda iyice öğütülerek karakterizasyon ve adsorpsiyonu deneylerinde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

3.2.3 Aktif Karbon karakterizasyonu

Karbonizasyon işleminden geçerek elde edilen aktif karbonlar uygun 74 mikrometre elek altına öğütülerek analizlere hazırlanmıştır. Örnekler X-Işınları kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Fourier Transform İnfrared Spektrofotometresi (FTIR), yüzey alanları ise Brunauer – Emmet – Teller (BET) yöntemiyle 77 K'deki sıvı azot ortamında, azot (N₂) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak yüzey alanı ve gözeneklilik ölçülmüştür. Gözenek boyut dağılımı DFT Plus yazılımı ile verilmiştir.

3.2.4. Adsorpsiyon ve kinetik çalışması

Metilen mavisi'nden 2 g alınarak 1 litrelik balon jöje de çözülerek stok çözeltimiz olan 2000 ppm lik metilen mavisi çözeltisi hazırlanmıştır. Stok çözeltisi seyreltilerek (1:4 oranında) 500 ppm lik yeni çözelti hazırlanmıştır. 100 ml lik erlenlere 100 er ml olacak şekilde metilen mavisi çözeltisi konulmuş ve her erlene 0,1 gram aktif karbon numunesi eklenmiş ve magnet kullanılarak çoklu karıştırıcıda 400 rpm karıştırma hızında 24 saat süre ile adsorpsiyon işlemi sürdürülmüştür. Bu süreçte bütün erlenlerin ağız kısımları parafilm yardımı ile kapatılmış buharlaşma olayı gerçekleşmeden konsantrasyon değişimine izin verilmemiştir. 24 saat sonunda erlenlerden alınan örnekler şırınga ucu 0,22 µm membran filtre kullanılarak süzölmüş ve UV-VIS cihazı ile konsantrasyon ölçümü yapılmıştır. Kalibrasyon eğrisi dışında kalan çözelti ölçümleri için seyreltme işlemi yapılmış sonuçlar seyreltme faktörü ile çarpılarak hesaplamalar yapılmıştır.

En yüksek yüzey alanlı numunede kinetik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kinetik çalışma metilen mavisi ile yapılmıştır. 2000 ppm lik stok çözeltisinden 500 ppm lik 1 litre metilen mavisi çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltiye 1 gram en yüksek yüzey alanlı aktif karbondan

eklenerek 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 90, 120, 150 ve 210 dakikalar da numuneler alınarak UV-VIS cihazında 664 nm dalga boyunda konsantrasyon tespiti yapılmış ve kinetik değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon eğrisi dışında kalan çözelti ölçümleri için seyreltme işlemi yapılmış sonuçlar seyreltme faktörü ile çarpılarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.2.5. Karbonize ve aktif karbon numune kodları

Bu çalışmada ham örneklerden 400, 500 ve 600 °C sıcaklıklarda 3, 5 ve 10 °C/dk ısıtma hızlarında elde edilen karbonize örnekler ile bu karbonize örneklerden 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbonların kodları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3. 3 : Karbonize ve aktif karbon numunelerine verilen kodlar ve çalışma şartları

T4	:	400 °C sıcaklıkta 5 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T6	:	400 °C sıcaklıkta 3 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T7	:	500 °C sıcaklıkta 3 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T8	:	600 °C sıcaklıkta 3 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T9	:	500 °C sıcaklıkta 5 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T10	:	600 °C sıcaklıkta 5 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T11	:	400 °C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T12	:	500 °C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T13	:	600 °C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında hazırlanan karbonize ürün
T411	:	T4 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T412	:	T4 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T413	:	T4 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T611	:	T6 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T612	:	T6 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T613	:	T6 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T711	:	T7 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi

Çizelge 3. 4 (devam) : Karbonize ve aktif karbon numunelerine verilen kodlar ve çalışma şartları		
T712	:	T7 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T713	:	T7 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T811	:	T8 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T812	:	T8 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T813	:	T8 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T911	:	T9 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T912	:	T9 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T913	:	T9 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1011	:	T10 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1012	:	T10 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1013	:	T10 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1111	:	T11 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1112	:	T11 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1113	:	T11 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1211	:	T12 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1212	:	T12 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1213	:	T12 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1311	:	T13 karbonize üründen 1:1 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1312	:	T13 karbonize üründen 1:2 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi
T1313	:	T13 karbonize üründen 1:3 oranda KOH ile kimyasal aktivasyon ile 800°C sıcaklıkta 10 °C/dk ısıtma hızında elde edilen aktif karbon numunesi

4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

4.1 Hammadde Olarak Kullanılan Biyokütle Analizleri

4.1.1 Hemiselüloz, Selüloz ve Lignin Yapıları

Hammaddelere ait hemiselüloz, selüloz ve lignin yapıları yüzde ağırlıkça Çizelge 4.1’de verilmiştir [22, 11].

Çizelge 4. 1 : Hammaddelerin lignoselülozik analiz verileri(%m/m)

Numune	Hemiselüloz	Selüloz	Lignin
Antep Fıstığı Kabuğu	36,7	31,2	32,1
Ceviz Kabuğu	22,1	25,6	52,3
Şeftali Çekirdeği Kabuğu	24,3	26,6	47,7
Badem Kabuğu	30,8	39,7	29,5
Kayısı Çekirdeği Kabuğu	19,9	32,9	47,2

Hammaddeler den olan kayısı çekirdeği kabuğu 400, 500 ve 600 °C sıcaklıklarda 3, 5 ve 10 °C/dk ısıtma hızlarında karbonizasyon işlemine tabi tutulmuş ve katı ürün, geri soğutucu düzeneğinden alınan sıvı ürün elde edilmiştir. Aynı işlem diğer hammaddeler için de ayrı ayrı uygulanmıştır. Verim hesabından katı, sıvı ve gaz verimleri hesaplanmış ve Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4. 2 : Ham biyokütlelere ait verimler

KAYISI ÇEKİRDEĞİ KABUĞU	400°C			500°C			600°C		
	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
3 °C/dk ISITMA HIZI	33,4	41,7	24,9	30,3	42,2	27,5	28,5	35,3	36,2
5 °C/dk ISITMA HIZI	32,2	38,0	29,8	28,8	35,1	36,1	27,0	36,5	36,5
10 °C/dk ISITMA HIZI	31,8	39,2	29,0	29,1	27,9	43,0	26,3	37,2	36,5

Çizelge 4.3 (devam) : Ham biyokütlelere ait verimler

Çizelge 4.3 (devam) : Ham biyokütlelere ait verimler									
ANTEP FISTIĞI KABUĞU	400°C			500°C			600°C		
	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
3 °C/dk ISITMA HIZI	32,5	37,9	29,6	27,7	46,3	26,1	26,7	41,5	31,8
5 °C/dk ISITMA HIZI	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
	30,3	37,7	32,0	26,8	40,4	32,8	25,4	44,6	30,0
10 °C/dk ISITMA HIZI	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
	29,5	30,0	40,5	25,5	41,9	32,6	23,9	39,4	36,7
BADEM KA-BUĞU	400°C			500°C			600°C		
	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
3 °C/dk ISITMA HIZI	30,8	45,1	24,2	28,3	41,2	30,5	27,3	30,8	41,9
5 °C/dk ISITMA HIZI	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
	31,0	37,7	31,3	28,4	31,6	40,0	27,4	41,6	31,0
10 °C/dk ISITMA HIZI	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
	30,9	35,9	33,2	28,1	32,9	39,0	26,1	34,3	39,6
CEVİZ KA-BUĞU	400°C			500°C			600°C		
	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
3 °C/dk ISITMA HIZI	36,2	40,1	23,7	30,2	31,6	38,2	29,1	41,1	29,8
5 °C/dk ISITMA HIZI	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
	33,8	39,5	26,7	29,3	42,7	28,0	28,1	36,0	35,9
10 °C/dk ISITMA HIZI	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
	32,5	39,0	28,5	29,3	36,7	34,0	26,9	36,7	36,4
ŞEFTALİ ÇEKİR-DEĞİ KABUĞU	400°C			500°C			600°C		
	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
3 °C/dk ISITMA HIZI	34,3	41,2	24,5	30,0	40,1	29,9	29,6	33,9	36,5
5 °C/dk ISITMA HIZI	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
	35,8	38,6	25,6	30,1	41,1	28,8	28,5	38,8	32,8
10 °C/dk ISITMA HIZI	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)	KATI VERİM (%)	SIVI VERİM (%)	GAZ VERİM (%)
	33,9	36,6	29,5	28,5	30,6	40,9	27,2	35,1	37,7

4.1.2 Element analiz sonuçları

Bu çalışmada kullanılan beş farklı hammadde olan biyokütlelerin element analiz sonuçları Çizelge 4.4’ de verilmiştir. Hammaddelerin yüksek karbon içerikleri ile tayin sınırı altında kalan kükürt oranları kıyaslandığında aktif karbon üretimi için uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca beş farklı hammaddenin karbon yüzdelerinin ve hidrojen yüzdelerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir [21,22].

Çizelge 4. 4: Ham biyokütlelerin element analizleri

Numune	%C	%H	%N	%S	%O
Kayısı Çekirdeği Kabuğu	49.26	6.413	0.317	-	44,01
Badem Kabuğu	48.25	5.933	0.092	-	47,73
Şeftali Çekirdeği kabuğu	50.45	5.683	0.072	-	43,80
Ceviz Kabuğu	48.74	5.664	0.149	-	45,47
Antep Fıstığı Kabuğu	47.37	5.896	-	-	46,73

4.1.3 FTIR analiz sonuçları

Bu çalışmada kullanılan beş farklı hammadde olan biyokütlelerin FTIR analiz sonuçları sırasıyla aşağıda Çizelge 4.5’den faydalanarak verilmiştir.

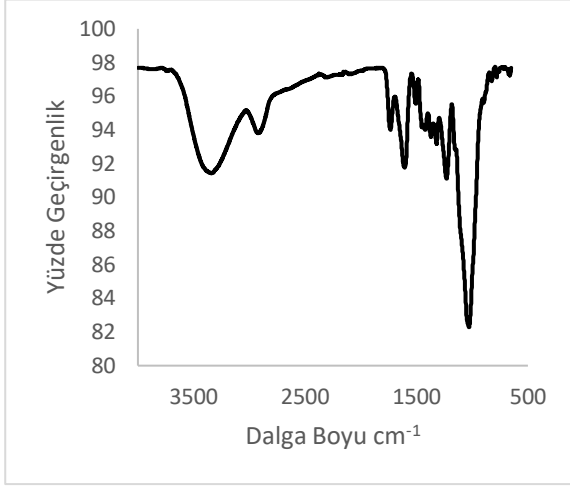
Hammaddelere (ceviz, şeftali, badem, kayısı ve Antep fıstığı kabukları) ait FTIR spektrumları Şekil 4.1-4.5’de verilmiştir. Tüm hammaddeler aynı makromoleküler yapıya sahip olup, selülozik yapılara ait gerilmeler açıkça görülmektedir. 3200 cm^{-1} ’deki geniş bant selülozik yapıdaki $-\text{OH}$ gerilmelerine aittir. 2940 ve 2918 cm^{-1} civarındaki iki pik alifatik $-\text{C-H}$ gerilmelerine aittir. 1036 cm^{-1} ’deki geniş ve keskin belirgin pik C-O-C yapısına aittir. Yine bu geniş pikin hemen yanında az belirgin olan 1163 cm^{-1} piki 1036 cm^{-1} ’deki pikin C-O-C yapısına ait olduğunun göstergesidir. 1727 cm^{-1} civarındaki gerilme $-\text{C-O}$ ve $-\text{C=O}$ gerilmelerine aittir. Kayısı, badem, antep fıstığı, ceviz ve şeftali çekirdekleri kabukları gibi ham biyokütlelerin FTIR spektrumlarının lietratür verileri ile tamamen uyumlu oldukları belirlenmiştir [22,146-155,157-161].

Beş farklı biyokütlede de bulunan $3200\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler $-\text{OH}$ pikleri olup yapıda bulunan fenol ve alkol kaynaklıdır. $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler C=O pikleri olup

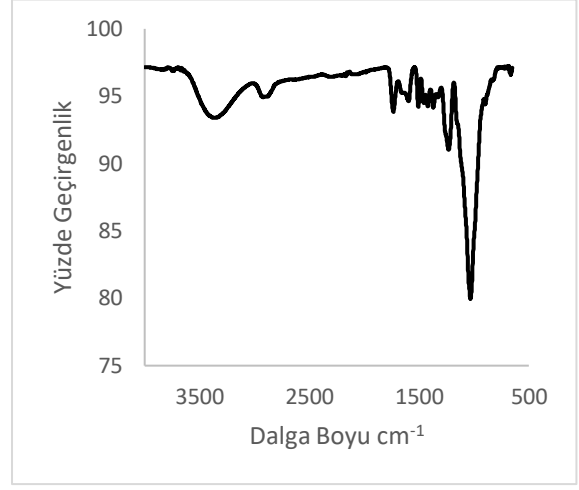
yapıda bulunan asetil/aldehit gruplarından kaynaklıdır. 1300-1000 cm^{-1} aralığındaki pikler C-O pikleri olup yapıda ester, anhidrit, alkol, fenol gruplarından kaynaklıdır.

Çizelge 4. 5 : Biyokütlelere ait FTIR absorpsiyon pikleri [162]

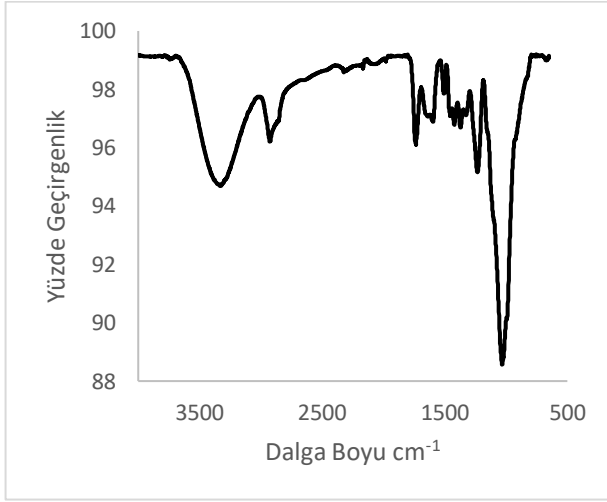
Dalga Boyu, cm^{-1}	Fonksiyonel Gruplar
1031	C-O, C=C, C-C-O titreşim gerilmesi
1043	C-O, C-C ve C-OH Selüloz, hemiselüloz ve ligninin titreşim gerilmesi
1060	C-OH Selüloz ve hemiselüloz titreşim gerilmesi
1157	Selüloz I ve II yapısındaki $\beta(1,4)$ -glycoside yapısındaki C-O-C bağı titreşim gerilmesi
1266	Lignin ve Xylan yapıdaki C-O gerilmesi
1319	C-H Selüloz I ve Selüloz II'nin düzlemsel bükülmedeki
1370	Metil ve Fenol aklolündeki Alifatik C-H Gerilmesi
1427	Düzlemsel deformasyon ve gerilme halindeki C-H ile kombine olmuş aromatik yapı
1457	Ligninin Alifatik bölümü
1511	C=C Ligninin aromatic halkadaki titreşim gerilmesi
1640	C=O Ligninin konjuge karbonildeki titreşim gerilmesi
1730	C=O Hemiselülozun gerilmesi
2855, 2890, 2923	C-H Lignoselülozik bileşenlerin gerilmesi
3392, 3412 (broad)	Selülozun OH bağındaki H'nin titreşim gerilimi



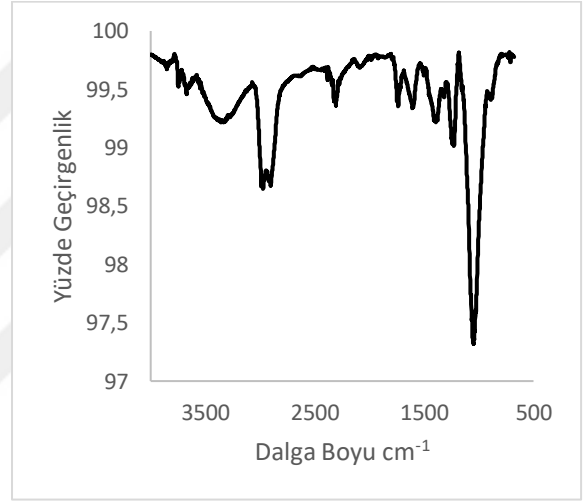
Şekil 4. 1 : Ceviz kabuğunun FTIR spektrumu



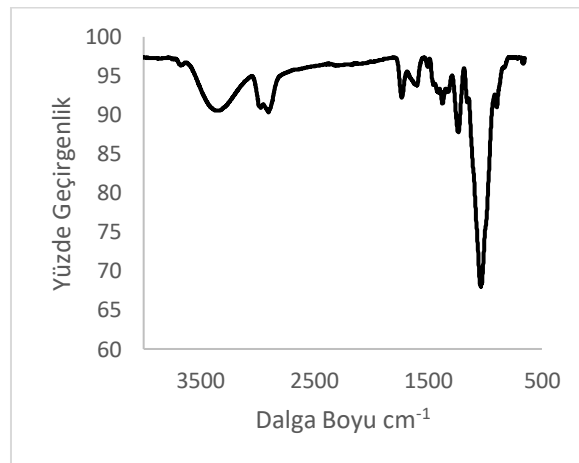
Şekil 4. 2 : Şeftali çekirdeği kabuğunun FTIR spektrumu



Şekil 4. 3 : Kayısı çekirdeği kabuğunun FTIR spektrumu



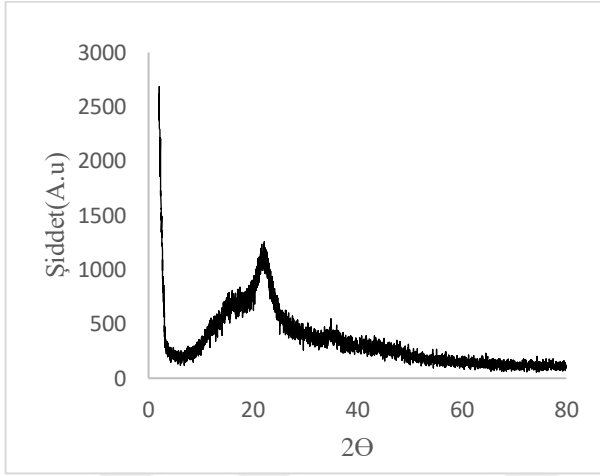
Şekil 4. 4 : Badem çekirdeği kabuğunun FTIR spektrumu



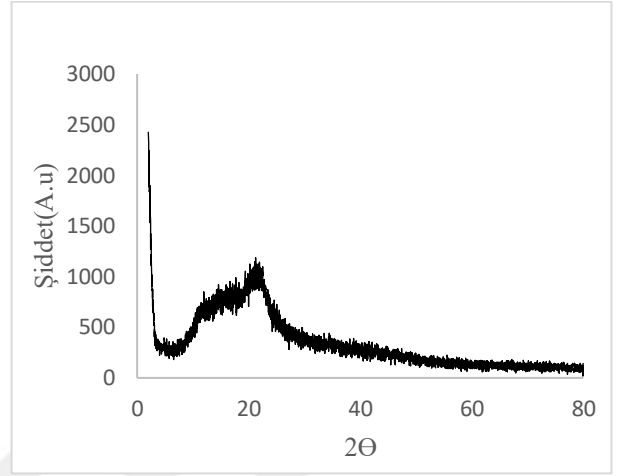
Şekil 4. 5 : Antep fıstığı kabuğunun FTIR spektrumu

4.1.4 XRD Analiz sonuçları

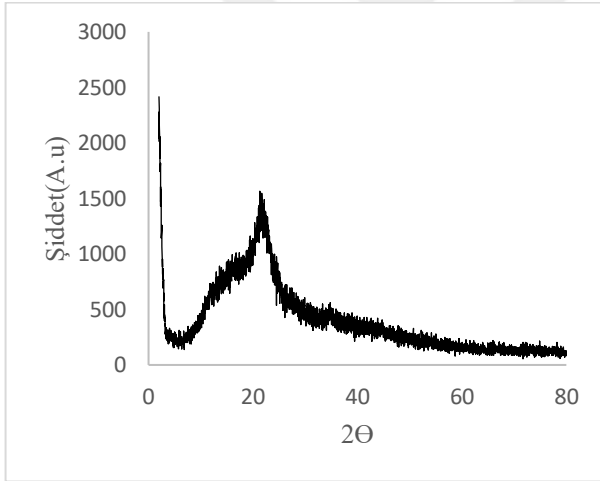
Hammaddeler ait XRD izleri Şekil 4.6-4.10'da verilmiştir. XRD izleri değerlendirildiğinde FTIR verilerinde olduğu gibi aynı makromoleküler yapıya sahip oldukları görülmektedir. Tüm hammaddeler hem amorf hem de kristalin birimler içermektedirler. Tüm örnekler 4 farklı



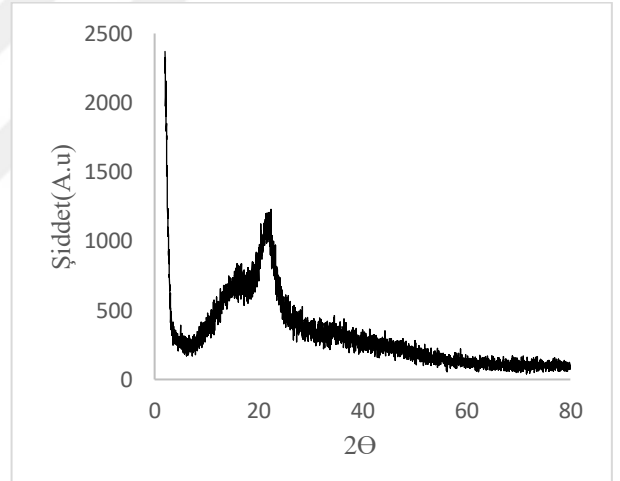
Şekil 4. 6 : Ceviz kabuğunun XRD spektrumu



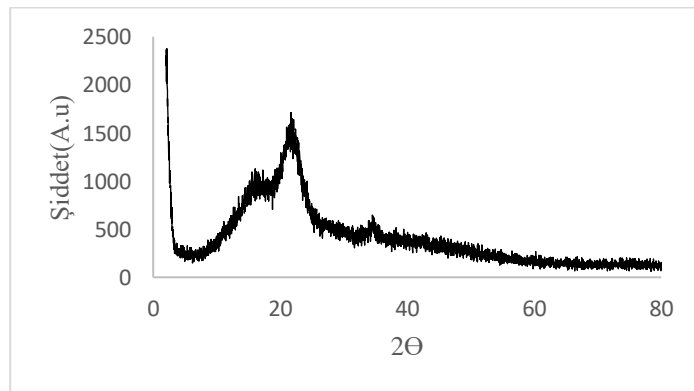
Şekil 4. 7 : Şeftali çekirdeği kabuğunun XRD spektrumu



Şekil 4. 8 : Kayısı çekirdeği kabuğunun XRD spektrumu



Şekil 4. 9 : Badem kabuğunun XRD spektrumu

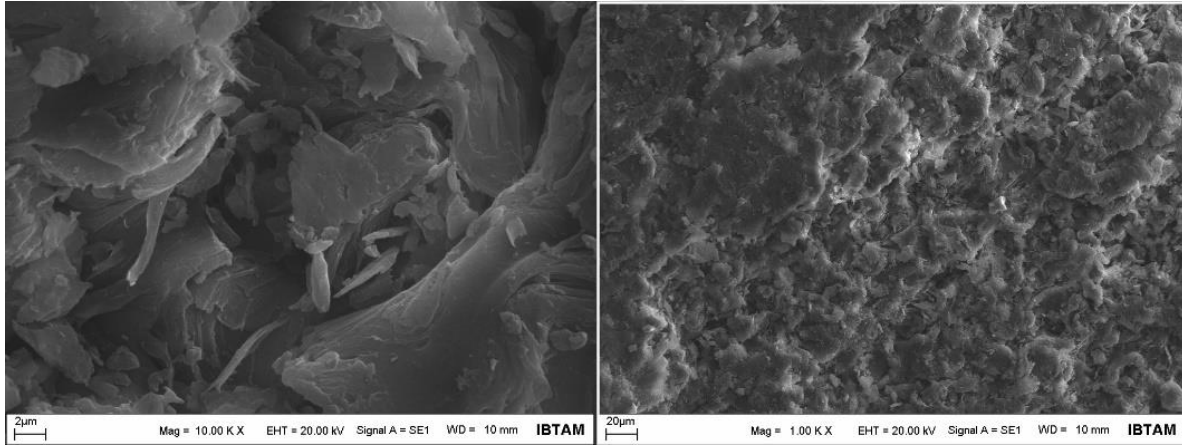


Şekil 4. 10 : Antep fıstığı kabuğunun XRD spektrumu

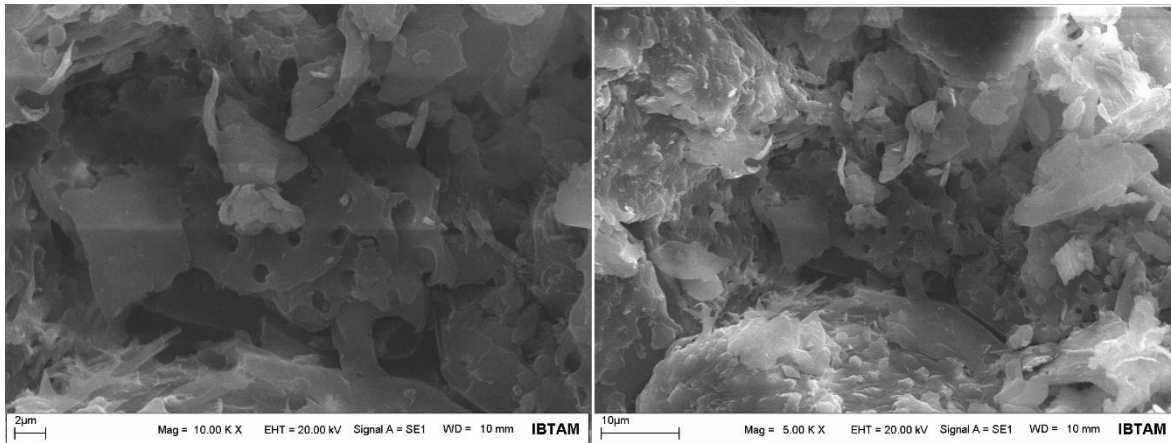
makromoleküler birim içermektedir. En belirgin makromoleküler birim oldukça kristalin yapı gösteren 22 2 θ civarındaki yapıdır. Bu makromoleküler birim karbonizasyonda ve aktivasyonda grafen yapı oluşumlarına sebep olan önemli bir yapıdır [22,153,157,159,160].

4.1.5 SEM Analiz sonuçları

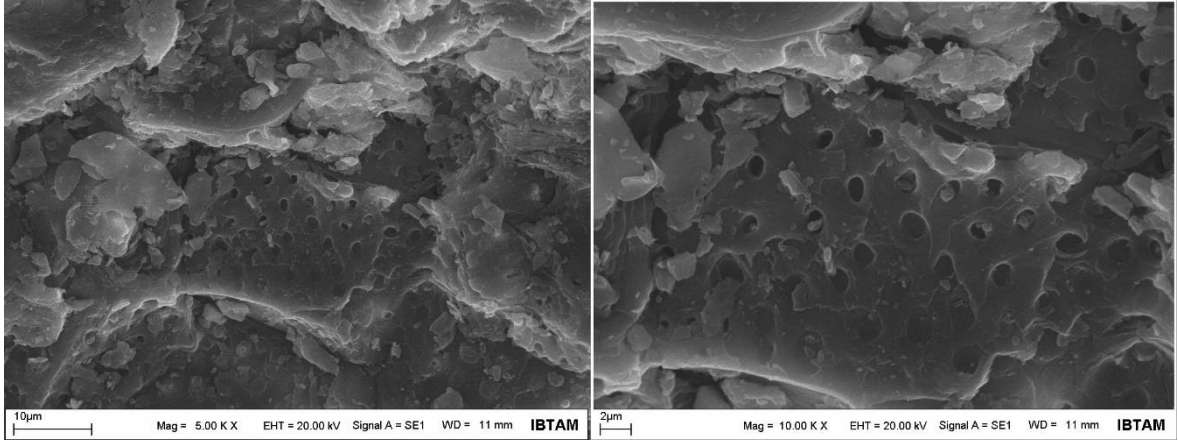
Bu çalışmada kullanılan beş farklı hammadde olan biyokütlelerin SEM görüntüleri Şekil 4.11- 4.15’de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde Antep fıstığı ve seftali kabuğunun grafen yapıda ve gözenek içermediği görülmektedir. Badem, kayısı ve ceviz kabuklarının hem grafen benzeri yapılar hem de gözenekli yapı oldukça açık olarak görülmektedir. Tüm hammaddeler aynı selülozik birimlerden oluşmasına rağmen oranları farklı olup bu durum kabukların yapısı üzerine oldukça etkili olmaktadır. Örneğin Antep fıstığı belirli bölge dışında yetişmemektedir. Oysa diğer ürünlerin hepsi hemen hemen tüm iklim koşullarında yetişmektedir [22,154,156-160].



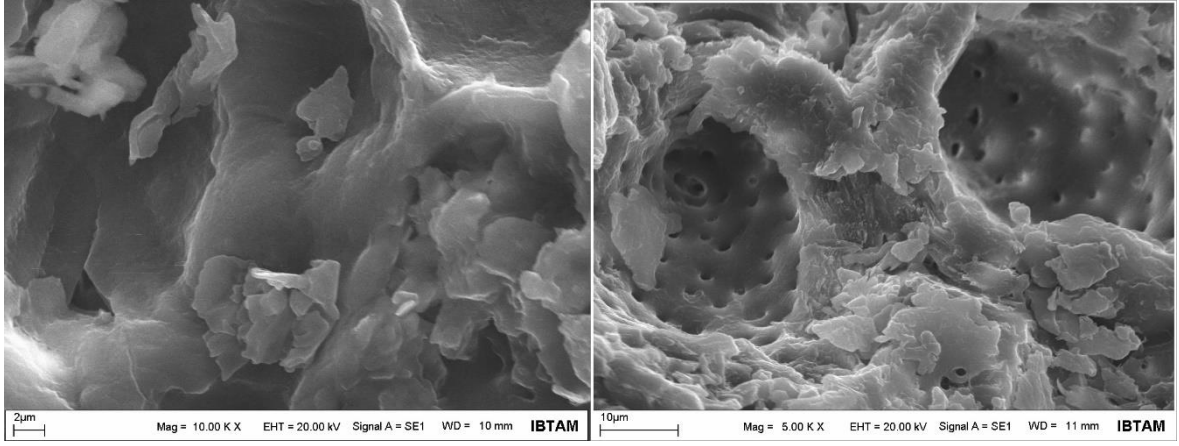
Şekil 4. 11 : Antep fıstığı kabuğunun SEM görüntüleri



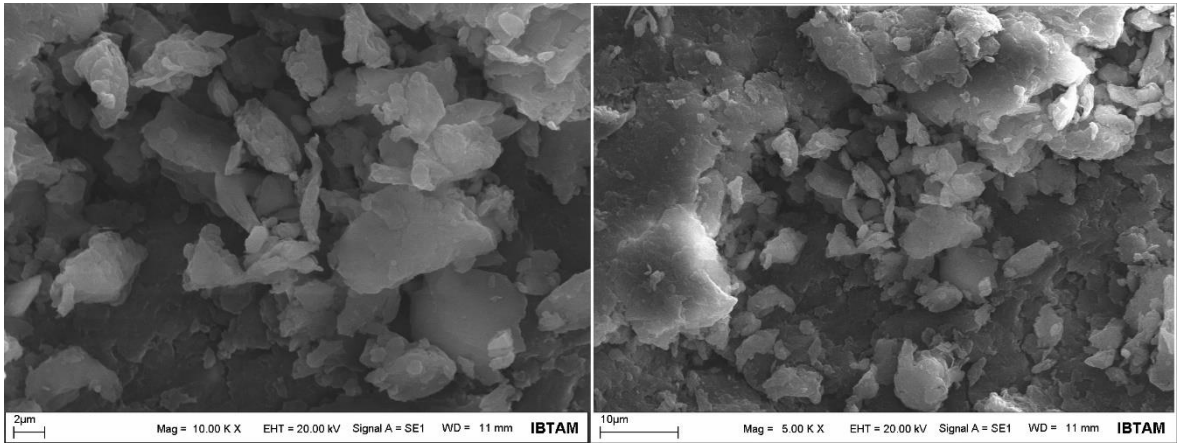
Şekil 4. 12 : Badem kabuğunun SEM görüntüleri



Şekil 4. 13 : Ceviz kabuğu SEM görüntüleri



Şekil 4. 14 : Kayısı çekirdeği kabuğu SEM görüntüleri



Şekil 4. 15 : Şeftali çekirdeği kabuğu SEM görüntüleri

4.2 Karışım Olarak Hazırlanan Karbonize Ürünlerin Analizleri

4.2.1 Katı, sıvı ve gaz verimleri

Karışım karbonize ürünlere ait Katı, Sıvı ve Gaz verimleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Sıcaklık artışı ile genel olarak katı ve sıvı verimi azalırken, gaz verimi artmaktadır. Bunu sebebi sıcaklık artışı ile makro moleküler yapıdaki düzenlenmede ayrılan birimler doğrudan gaz fazına geçmektedir. Yüksek sıcaklıklardaki karbonizasyonlarda gaz ürün Fischer Tropsch gibi proseslerde ham madde kaynağı olduğu için ayrıca enerji üretiminde enerji değeri yüksek olduğu için önemlidir.

Çizelge 4. 6 : Karışım karbonize ürünlere ait Katı, Sıvı ve Gaz Verimleri

KARIŞIM KARBONİZE ÜRÜNLER				
Numune Kodu	Deney Şartları	% Katı Verim	% Sıvı Verim	% Gaz Verim
T6	400 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 3°C/dk Isıtma Hızı	32,5	41,1	26,4
T4	400 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 5°C/dk Isıtma Hızı	33,0	35,2	31,8
T11	400 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 10°C/dk Isıtma Hızı	32,1	38,3	29,6
T7	500 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 3°C/dk Isıtma Hızı	29,2	40,7	30,1
T9	500 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 5°C/dk Isıtma Hızı	28,5	39,4	32,1
T12	500 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 10°C/dk Isıtma Hızı	28,7	30,9	40,4
T8	600 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 3°C/dk Isıtma Hızı	27,6	41,3	31,1
T10	600 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 5°C/dk Isıtma Hızı	26,7	40,1	33,2
T13	600 °C 100 ml/dk N ₂ Akış Hızı 10°C/dk Isıtma Hızı	26,4	26,9	46,7

4.2.2 Element analiz sonuçları

Karışım karbonize ürünlere ait elementel analiz sonuçları Çizelge 4.7' de verilmiştir. Karbonizasyon işlemi sonucu elde edilen karbonize ürünlerin elementel analiz sonuçları incelendiğinde aynı karbonizasyon sıcaklığında ısıtma hızı arttıkça genel olarak karbon miktarının azaldığı, hidrojenin pek fazla değişmediği ve azot miktarlarının azaldığı görülmektedir. Bu değerlerin değişimi sonucu oksijen miktarı da artmaktadır. Düşük ısıtma hızında yapısal düzenlenmede karbon zinciri üzerinde süstitüe grupların yapısal kararlılık açısından ayrılmaları beklenen bir durumdur. Bu yapısal eliminsasyon sonuç yapıda sadece karbon-karbon bağı kalıncaya kadar devam etmesi gerçeği elmasın oluşumu ile açıklanabilir [21,22,154,155].

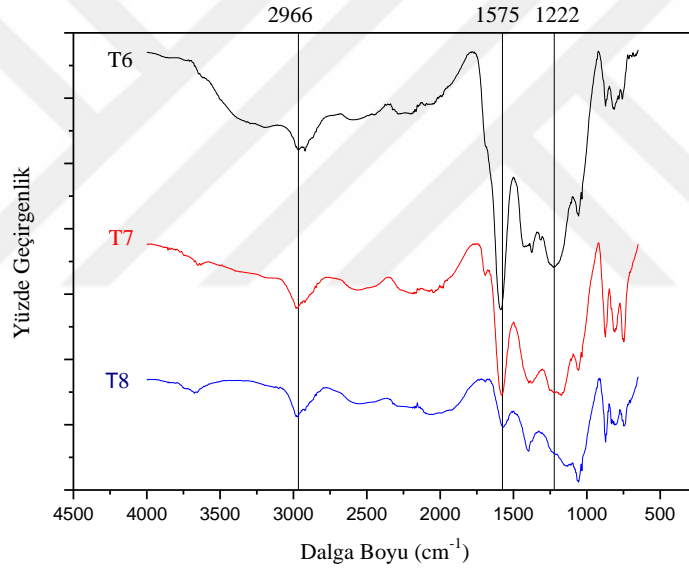
Karbonizasyon sıcaklığı arttığında ısıtma hız artmasına bağlı olarak karbon miktarı değişkenlik gösterirken hidrojen ve azot miktarları azalmaktadır. Oksijen miktarındaki değişim ise değişkendir.

Çizelge 4. 7 : Karışım karbonize ürünlere ait elementel analiz sonuçları

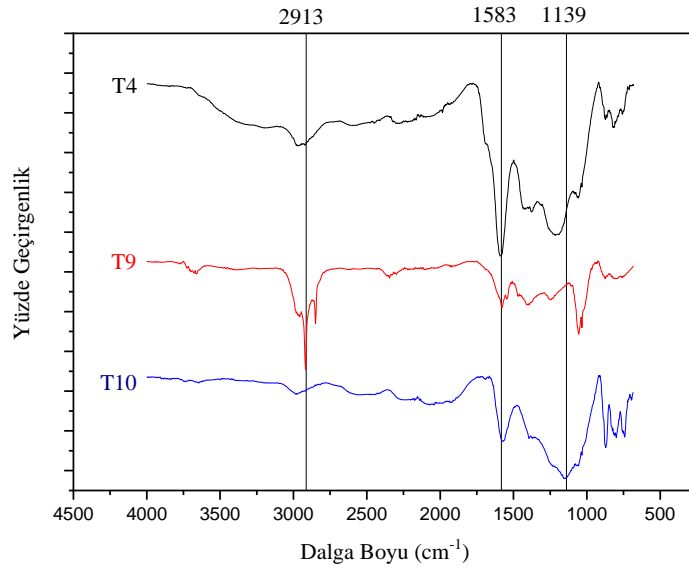
Numune	% C	% H	% N	%O	%S
T4	75,89	4,169	0,499	19,442	-
T6	78,63	3,823	0,469	17,078	-
T7	85,57	3,304	0,415	10,711	-
T8	72,07	2,901	0,292	24,737	-
T9	78,47	3,771	0,317	17,442	-
T10	75,73	2,826	0,269	21,175	-
T11	90,71	4,392	0,415	4,483	-
T12	74,09	3,494	0,260	22,156	-
T13	85,43	2,721	0,325	11,524	-

4.2.3 FTIR Analiz sonuçları

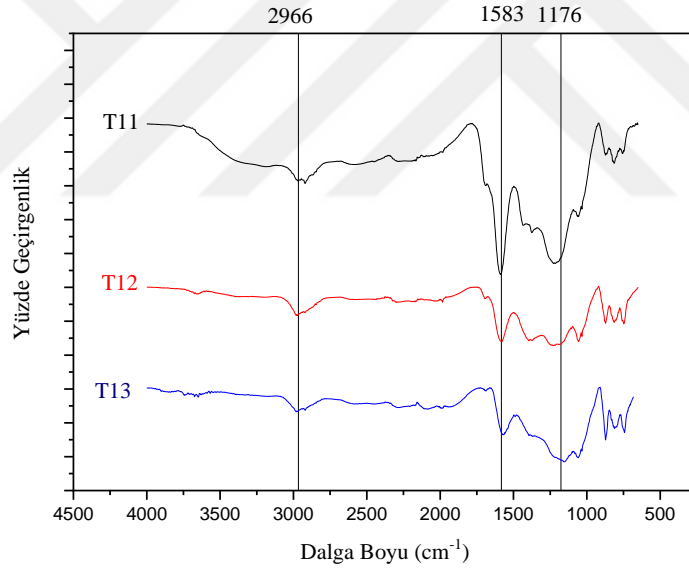
Karışım karbonize ürünlere ait FTIR Spektrogramları Şekil 4.16-4.18’de verilmiştir. Şekil 4.16’da verilen 400, 500 ve 600°C sıcaklıklara ait 3°C/dak. ısıtma hızına ait FTIR spektrogramları incelendiğinde selülozik –OH gerilmelerine ait piklerin azaldığı, alifatik –C-H gerilmelerine ait piklerin değişmediği, aromatik yapıdaki 1575 cm⁻¹ civarındaki pikin sıcaklık arttıkça azaldığı görülmektedir. 400, 500 ve 600°C sıcaklıklara ait 5°C/dak. ısıtma hızına ait FTIR spektrogramları incelendiğinde alifatik –C-H piklerinin değişkenlik gösterdiği, sıcaklık arttıkça –OH gerilmesine ait pikinin kaybolduğu, aromatik yapıya ait 1583 cm⁻¹ civarındaki gerilmenin azaldığı görülmektedir. Aynı sıcaklıklarda 10°C/dak.ısıtma hızlarında yapılan karbonizasyonlarda 50 °C/dak. ısıtma hızındaki benzer sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak bu değişimlerin sıcaklık arttıkça ve ısıtma hızı arttıkça yapısal düzenlenmenin arttığı, yapıda önce süstitüe fonksiyonel grupların ayrıldığı görülmektedir [22,146-155,157-161].



Şekil 4. 16 : T6, T7 ve T8 karışımlarına ait FTIR spektrogramları



Şekil 4. 17 : T4, T9 ve T10 karışımlarına ait FTIR spektrumları



Şekil 4. 18 : T11, T12 ve T13 karışımlarına ait FTIR spektrumları

4.2.4 XRD Analiz Sonuçları

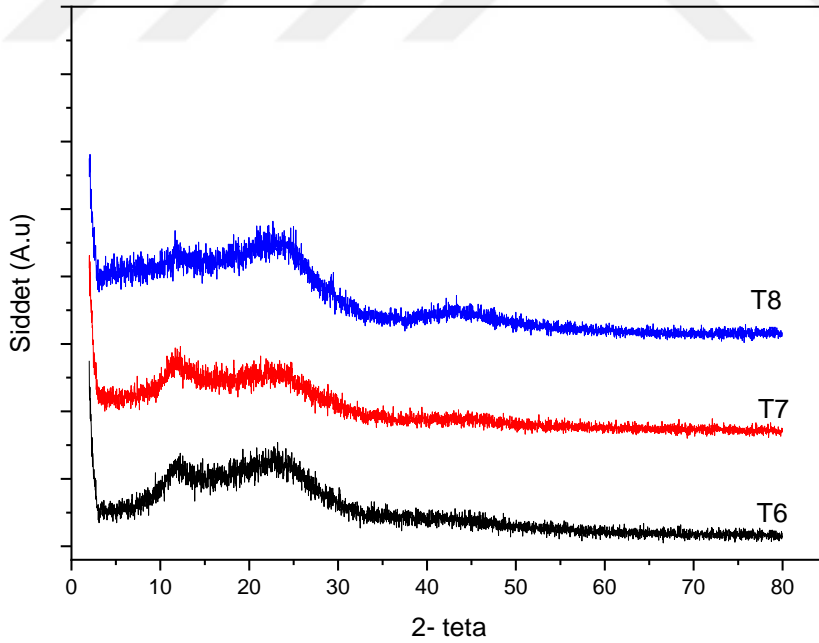
Karışım karbonize ürünlere ait XRD Spekturumları Şekil 4.19-4.21’de verilmiştir.

Şekil 4.19 incelendiğinde, 400, 500 ve 600°C sıcaklıklara ait 3°C/dak. ısıtma hızına ait XRD izlerinde aynı ısıtma hızında sıcaklık arttıkça amorfliğin azaldığı kristalin bölgelerin arttığı görülmektedir. Özellikle 40 2 θ civarındaki amorf pik ortaya çıkarken, 15-35 2 θ arasında kristal yapıya ait piklerin arttığı görülmektedir.

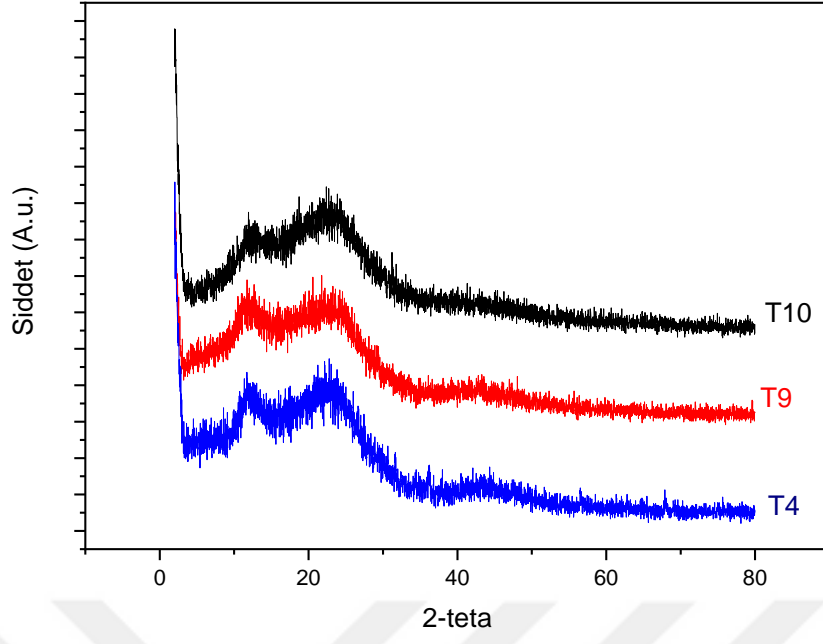
Şekil 4.20’de verilen 400, 500 ve 600°C sıcaklıklara ait 5°C/dak. ısıtma hızına ait XRD izleri incelendiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 4.21’de verilen 400, 500 ve 600°C sıcaklıklara ait 10°C/dak. ısıtma hızına ait XRD izleri incelendiğinde artan ısıtma hızında yapısal değişikliğin fazla olmadığı görülmektedir.

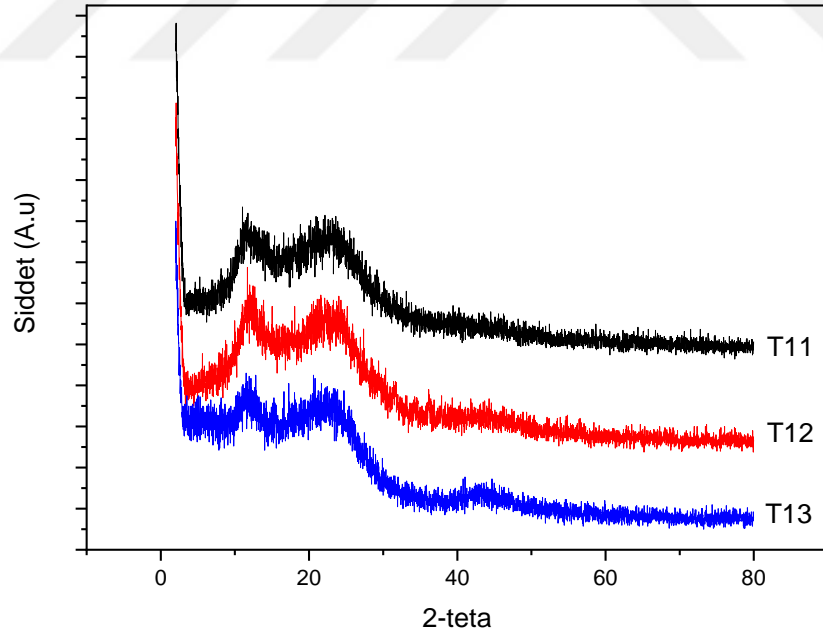
Özetle üç sıcaklıkta artan ısıtma hızına göre 3°C/dak için önemli bir değişim söz konusu iken 5 ve 10°C /dak ısıtma hızlarında yapısal değişim olmamıştır. Bu durum düşük karbonizasyon sıcaklıklarında yapıdan genellikle fonksiyonel gruplar ayrılırken makromoleküler yapıda önemli bir düzenlenme olmamıştır [22,153,157,159,160].



Şekil 4. 19 : T6, T7 ve T8 karışımlarına ait XRD spektrumları



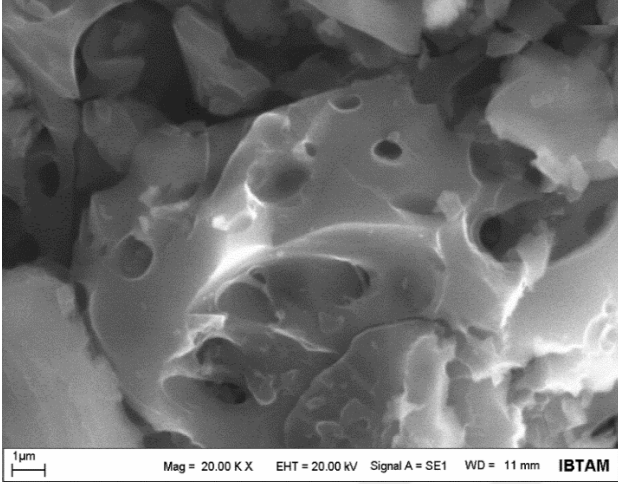
Şekil 4. 20 : T4, T9 ve T10 karışımlarına ait XRD spektrumları



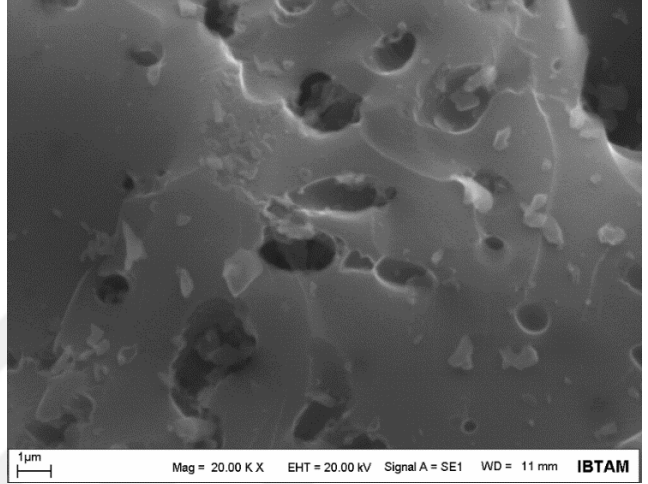
Şekil 4. 21 : T11, T12 ve T13 karışımlarına ait XRD spektrumları

4.2.5 SEM Analiz Sonuçları

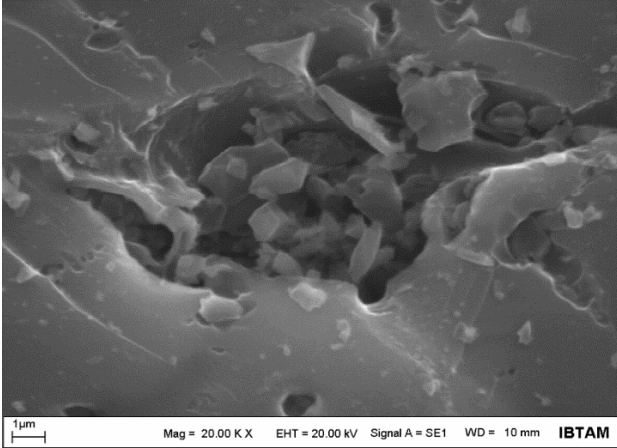
Karışım karbonize örneklere ait SEM görüntüleri Şekil 4.22-4.30'da verilmiştir. 400, 500 ve 600°C sıcaklıklara ait 3, 5 ve 10°C/dak ısıtma hızlarına ait SEM görüntüleri incelendiğinde, yapısal homojenlik açıkça görülmektedir. Gözenekliliğin artması yapıda fonksiyonel grupların ayrılmasına bağlı olarak yapısal düzenlenmenin olduğunu göstermektedir [22,154,156-160]. Farklı boyutsal materyaller farklı biyokütlelere aittir.



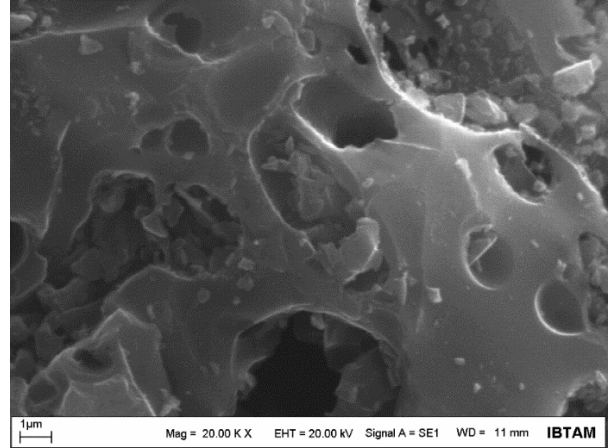
Şekil 4. 22 : T4 karışımına ait SEM görüntüsü



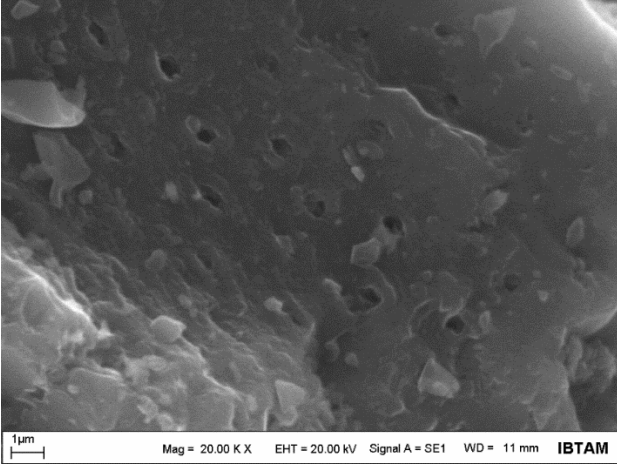
Şekil 4. 23 : T6 karışımına ait SEM görüntüsü



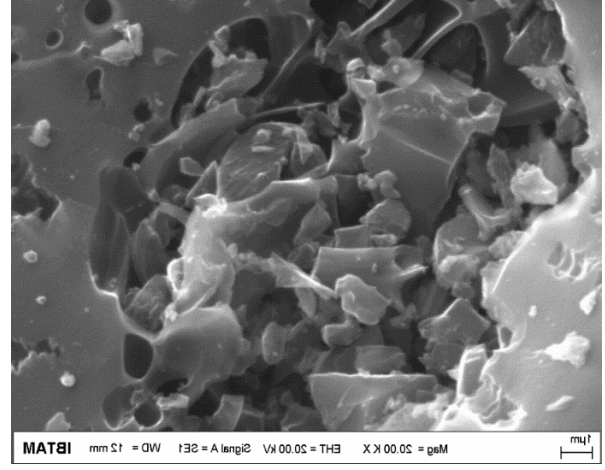
Şekil 4. 24 : T7 karışımına ait SEM görüntüsü



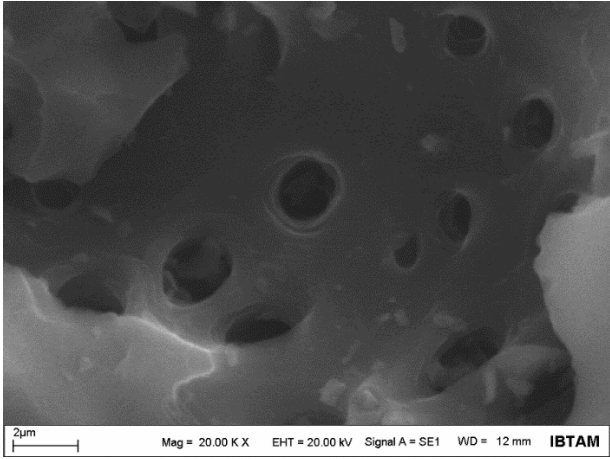
Şekil 4. 25 : T8 karışımına ait SEM görüntüsü



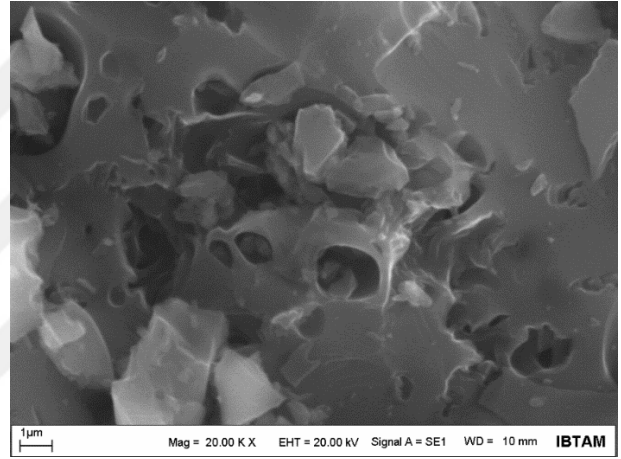
Şekil 4. 26 : T9 karışımına ait SEM görüntüsü



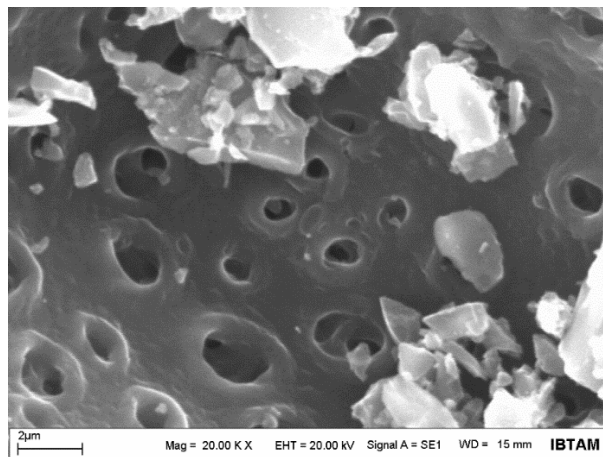
Şekil 4. 27 : T10 karışımına ait SEM görüntüsü



Şekil 4. 28 : T11 karışımına ait SEM görüntüsü



Şekil 4. 29 : T12 karışımına ait SEM görüntüsü



Şekil 4. 30 : T13 karışımına ait SEM görüntüsü

4.3 Hazırlanan Aktif Karbonların Analiz Sonuçları

4.3.1 Aktif karbonların BET yüzey alanı ölçümleri

Karışım ürünlerden KOH ile farklı emdirme oranlarıyla (impregnasyon) aktive edilen ve elde edilen aktif karbonların BET yüzey ölçüm sonuçları Çizelge 4.8' de verilmiştir.

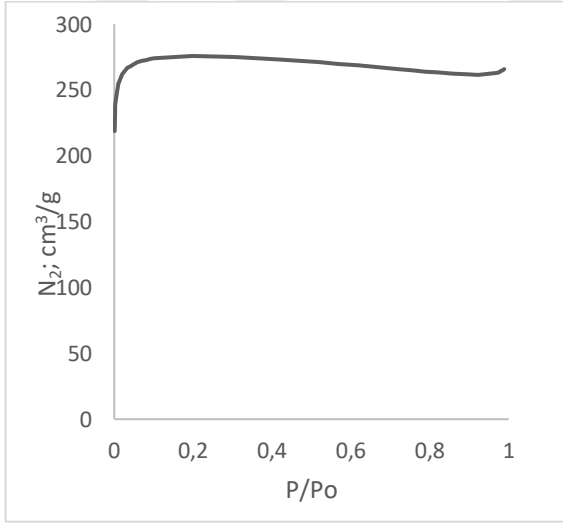
Çizelge 4.8 incelendiğinde tüm aktif karbon örneklerinin toplam yüzey alan değerlerinin 394,05-1717,23 m²/g aralığında olduğu görülmektedir. Tüm örneklerin büyük oranda mikro gözeneklere sahip olduğu yüzey alanını artıran mezo gözeneklerin fazla oluşmadığı görülmektedir. Bunun sebebi karbonizasyon sonucu yapının sağlamlaştığı yani yapı düzenlenmesinin oldukça düzenli geliştiği bunun sonucu KOH'in etkisinin yetersiz kalması ile açıklanabilir [22,154,155]. Ancak daha yüksek yüzey alanı elde etmek için KOH oranı artırılabilirdi.

Çizelge 4. 8 : Aktif karbonların BET yüzey ölçümleri

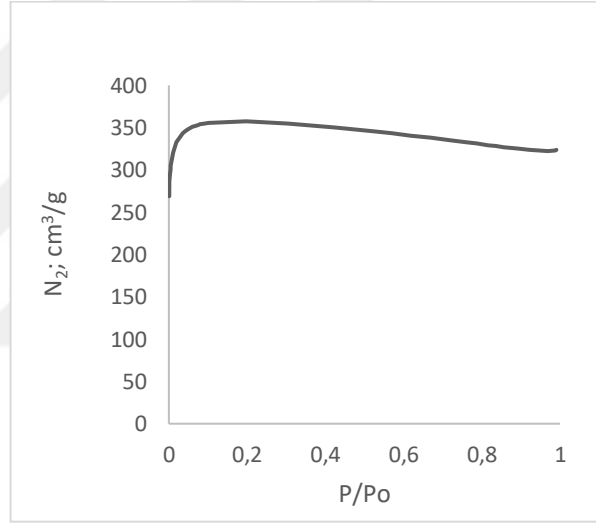
Kod	Karbonizasyon Sıcaklığı (°C)	Isıtma Hızı (°C/dk)	İmpregnasyon Oranı	S _{BET} (m ² /g)	S _{mikro} (m ² /g)	S _{mezo} (m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	V _{mikro} (cm ³ /g)	V _{mezo} (cm ³ /g)	dp ^a (nm)	
T411	400	5	1:1	818,63	767,44	51,19	0,41	0,40	0,01	2,00	
T412			1:2	1056,18	998,52	57,66	-	0,53	-	-	
T413			1:3	1046,99	1011,11	45,88	-	0,55	-	-	
T611		3	5	1:1	727,93	685,26	42,67	0,38	0,36	0,02	2,09
T612				1:2	1182,06	1010,39	171,67	0,60	0,55	0,06	2,04
T613				1:3	1547,52	1019,33	528,19	0,86	0,62	0,24	2,22
T711	500		3	1:1	686,83	635,96	50,88	-	0,34	-	-
T712				1:2	936,45	804,32	132,14	0,47	0,43	0,04	2,02
T713				1:3	1055,92	862,63	193,29	0,54	0,47	0,08	2,05
T811	600		3	1:1	394,05	394,05	-	-	0,21	-	-
T812				1:2	1000,57	915,08	85,49	-	0,49	-	-
T813				1:3	987,48	873,75	113,73	-	0,47	-	-
T911	500	5	1:1	662,92	645,60	17,32	-	0,34	-	-	
T912			1:2	967,49	865,37	102,13	-	0,46	-	-	
T913			1:3	1487,56	1268,89	218,68	-	0,68	-	-	
T1011	600		1:1	594,62	561,33	33,29	-	0,30	-	-	
T1012			1:2	1335,16	1175,21	159,95	-	0,63	-	-	
T1013			1:3	1292,19	871,33	420,86	0,68	0,49	0,19	2,10	
T1111	400		10	1:1	721,18	660,52	60,66	0,39	0,35	0,04	2,17
T1112				1:2	819,46	742,88	76,58	0,44	0,39	0,05	2,15
T1113				1:3	1210,25	1061,90	148,36	0,62	0,57	0,05	2,05
T1211	500	1:1		577,01	557,89	19,13	0,28	0,29	0,02	1,93	
T1212		1:2		834,72	761,36	73,36	0,42	0,41	0,02	2,03	
T1213		1:3		1134,09	998,51	135,59	0,58	0,54	0,05	2,05	
T1311	600	1:1		718,59	667,43	51,16	0,36	0,36	0,01	2,03	
T1312		1:2		1338,24	1197,64	140,59	-	0,64	-	-	
T1313		1:3		1717,20	1359,82	357,38	0,79	0,62	0,17	2,19	

4.3.2 Aktif karbonların azot adsorpsiyonu grafikleri

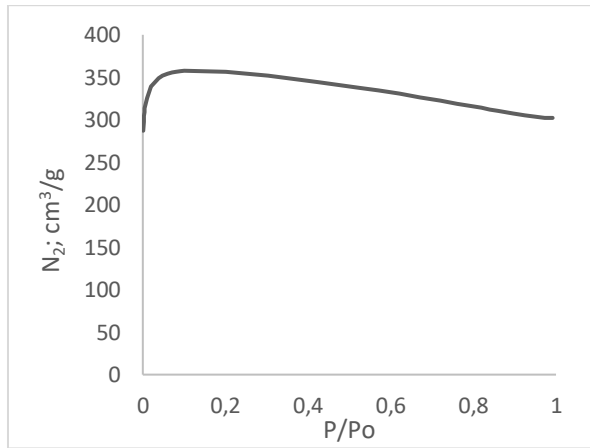
Tüm aktif karbon örneklerinin BET azot adsorpsiyonu izoterm eğrileri Şekil 4.31-57'de verilmiştir. Aktif karbon örneklerinin izoterm eğrileri benzer olup düşük bağıl basınçlarda adsorpsiyon büyük oranda tamamlanmaktadır. Bağıl basınç 0.1 civarından sonra büyük oranda sabit kalmaktadır. Bunun nedeni örneklerin gözenek yapısı ile ilgili olup muhtemelen SEM görüntülerinde anlaşılacağı gibi gözeneklerin büyük kısmı iki ucu açık gözenek formunda olması ile açıklanabilir. Biyokütle karışımı olması yani 5 farklı hammaddenin karışımının karbonizasyonu ve aktivasyonunda sinerjistik etki önem kazanmaktadır. Tek başına biyokütlelerin karbonizasyonu ve aktivasyonunda daha yüksek yüzey alanı elde edilmesi bu görüşü desteklemektedir. Buna rağmen benzer yapıya sahip biyokütle karışımlarının karbonizasyonu ve aktivasyonunda önemli yüksek yüzey alanı sahip aktif karbon elde edilmesi mümkündür [22,159].



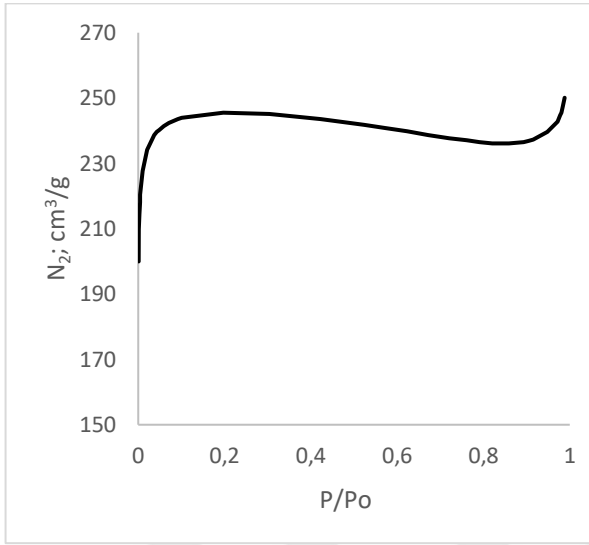
Şekil 4. 31 : T411 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



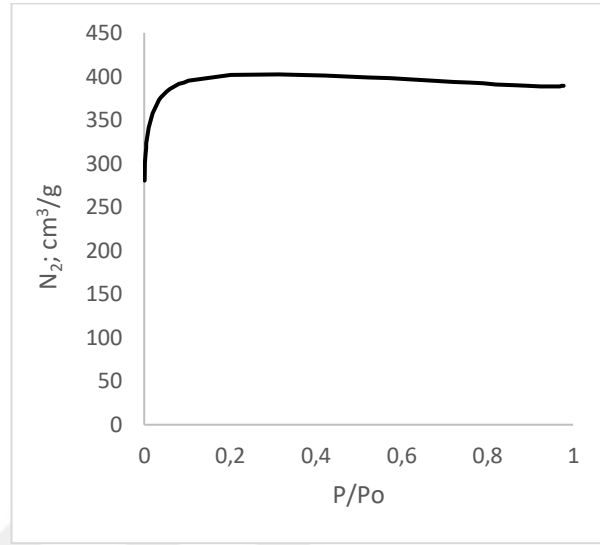
Şekil 4. 32 : T412 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



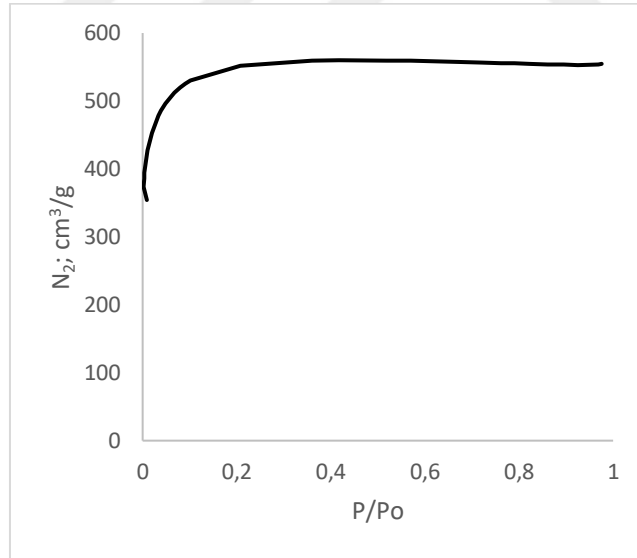
Şekil 4. 33 : T413 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



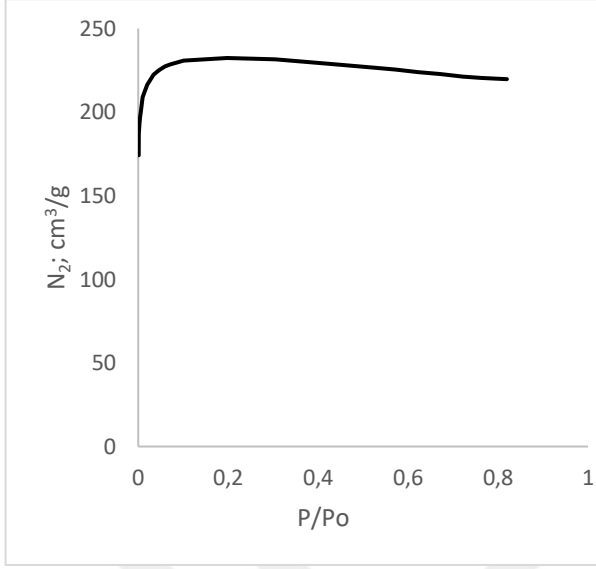
Şekil 4. 34 : T611 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



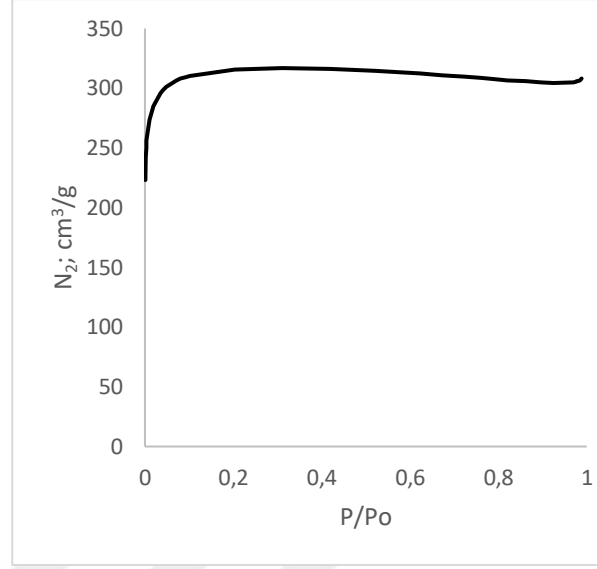
Şekil 4. 35 : T612 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



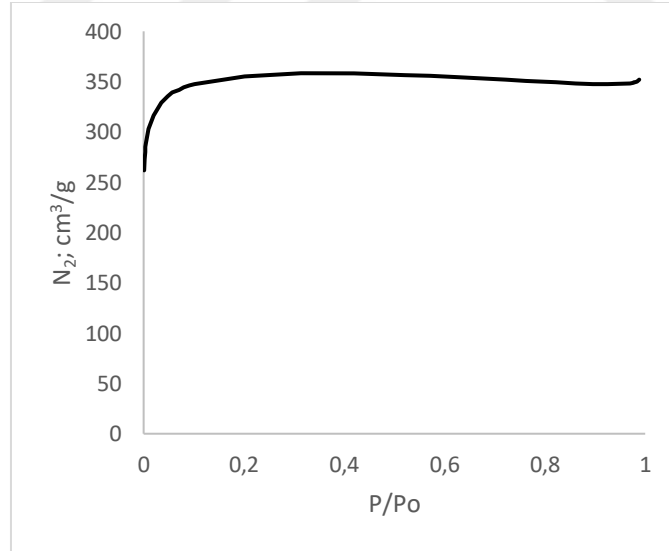
Şekil 4. 36 : T613 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



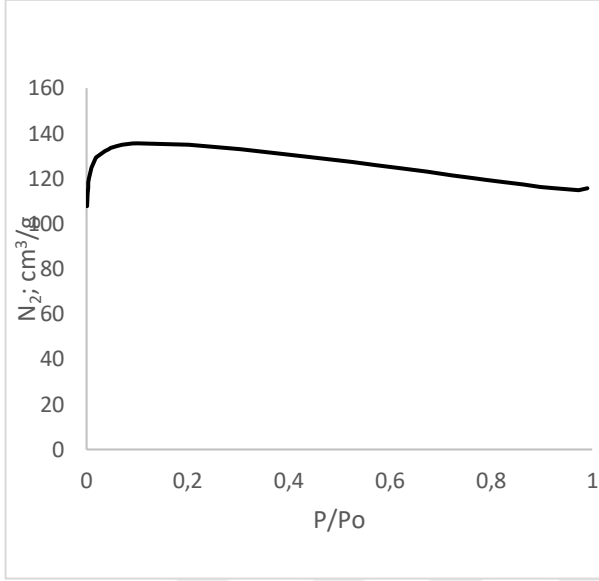
Şekil 4. 37 : T711 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



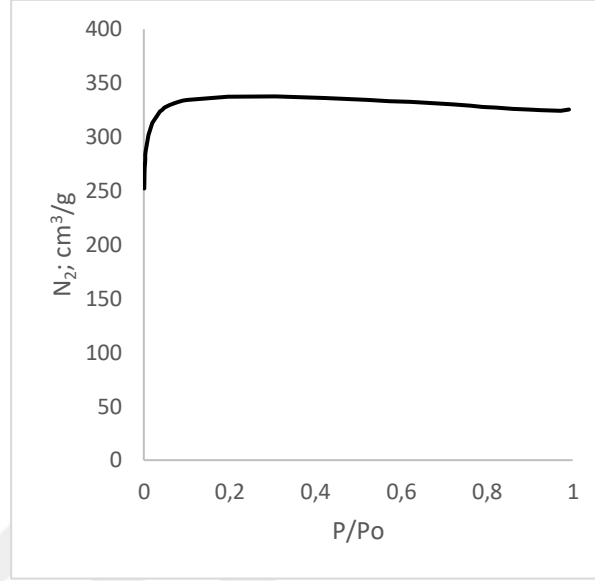
Şekil 4. 38 : T712 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



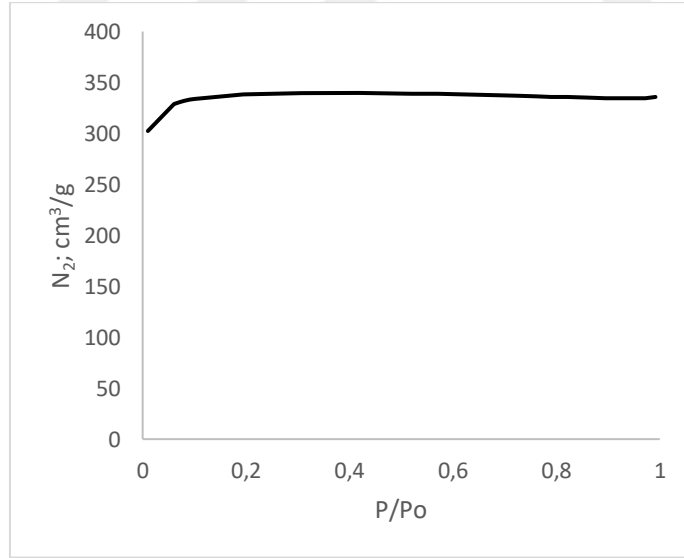
Şekil 4. 39 : T713 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



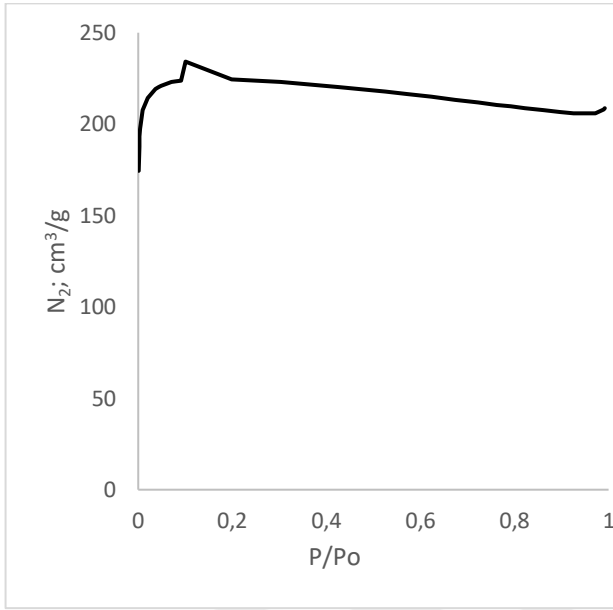
Şekil 4. 40 : T811 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



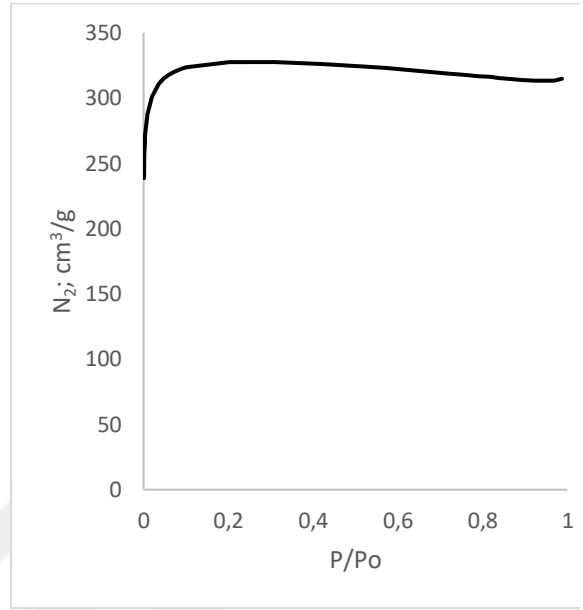
Şekil 4. 41 : T812 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



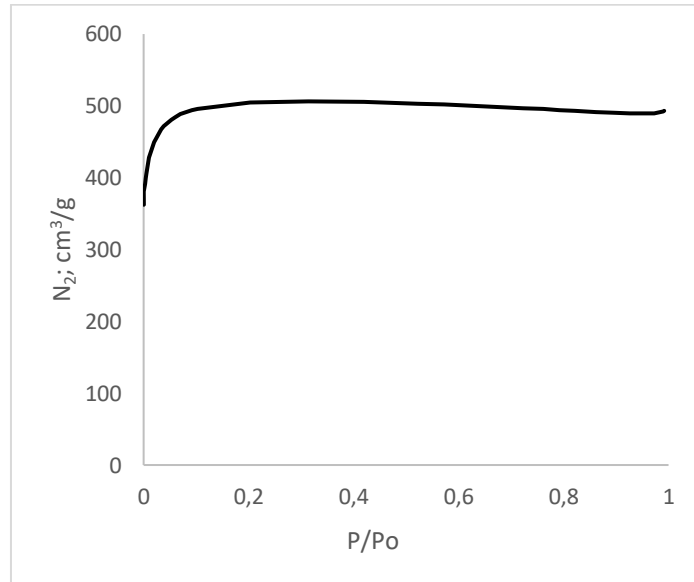
Şekil 4. 42 : T813 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



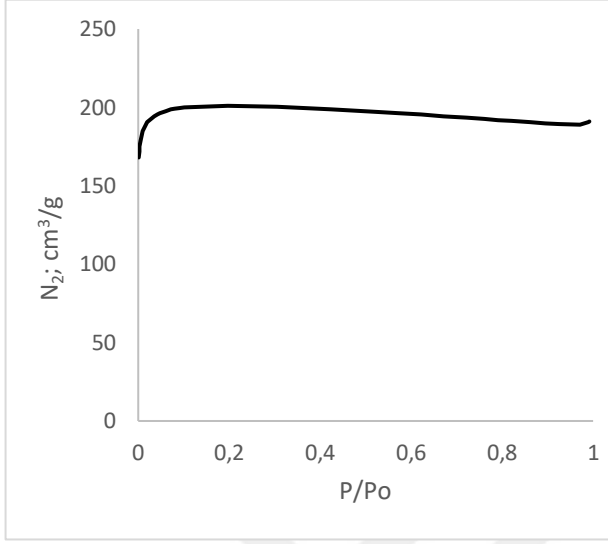
Şekil 4. 43 : T911 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



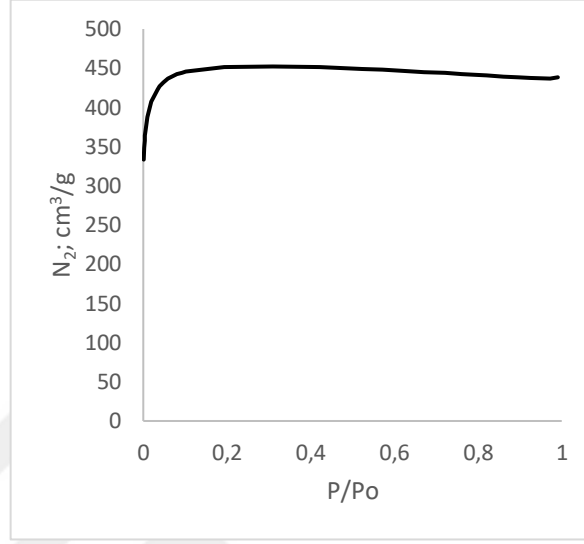
Şekil 4. 44 : T912 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



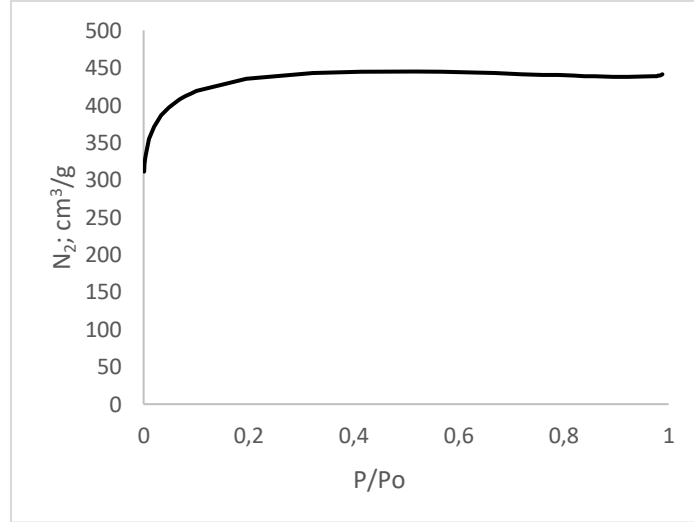
Şekil 4. 45 : T913 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



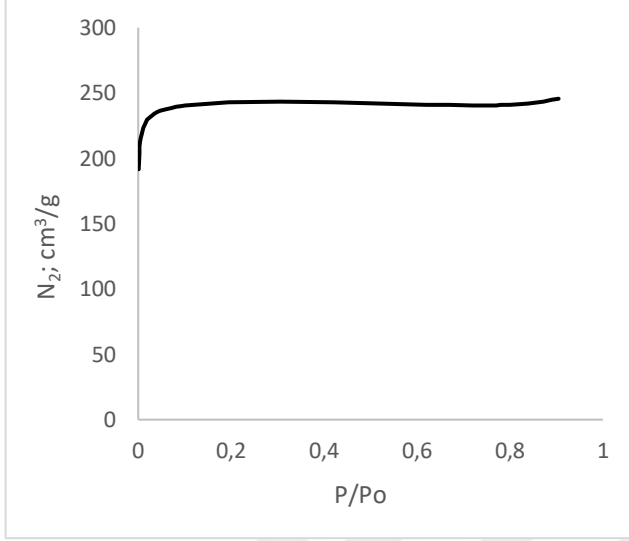
Şekil 4. 46 : T1011 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



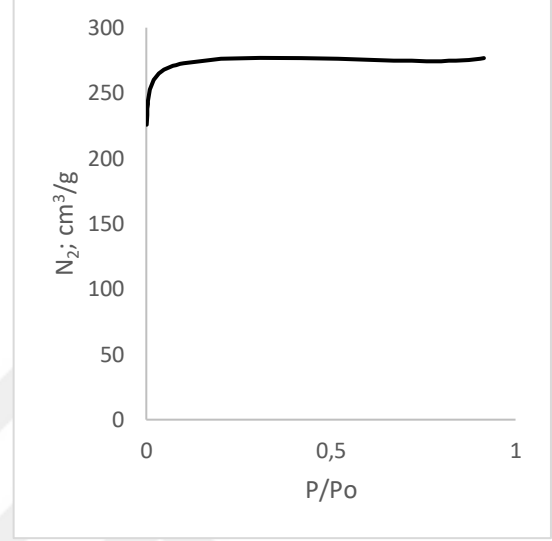
Şekil 4. 47 : T1012 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



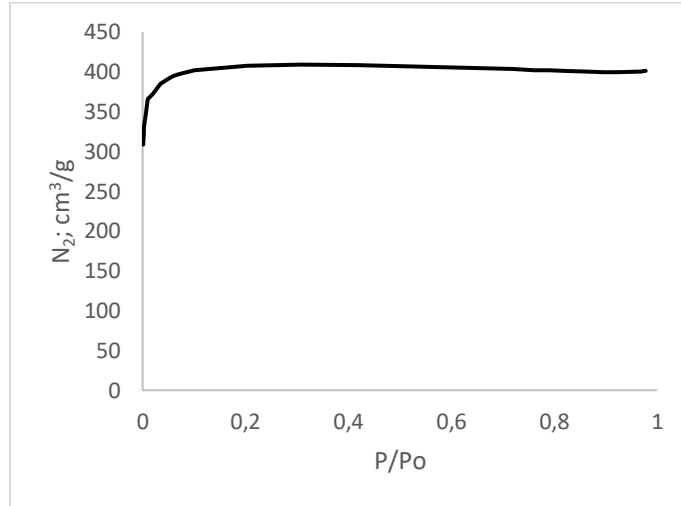
Şekil 4. 48 : T1013 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



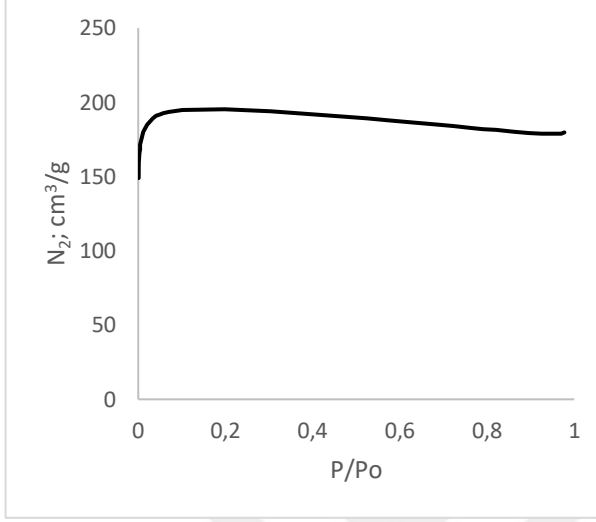
Şekil 4. 49 : T1111 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



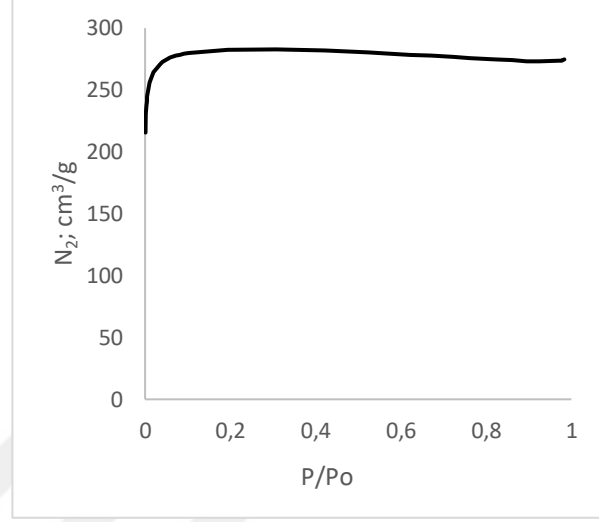
Şekil 4. 50 : T1112 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



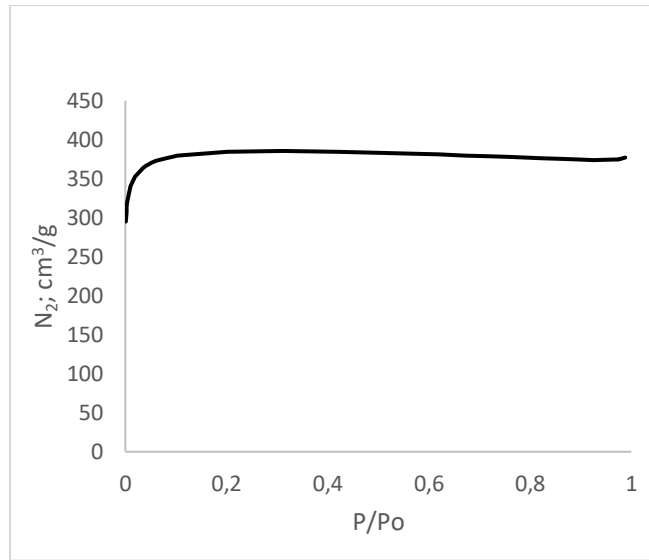
Şekil 4. 51 : T1113 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



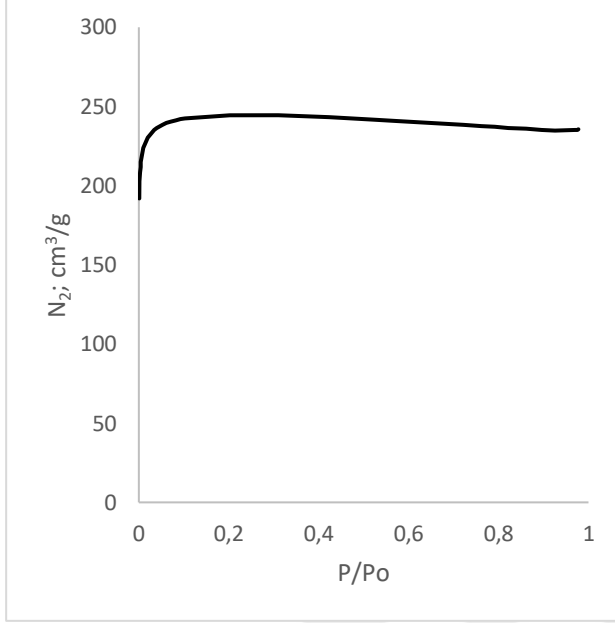
Şekil 4. 52 : T1211 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



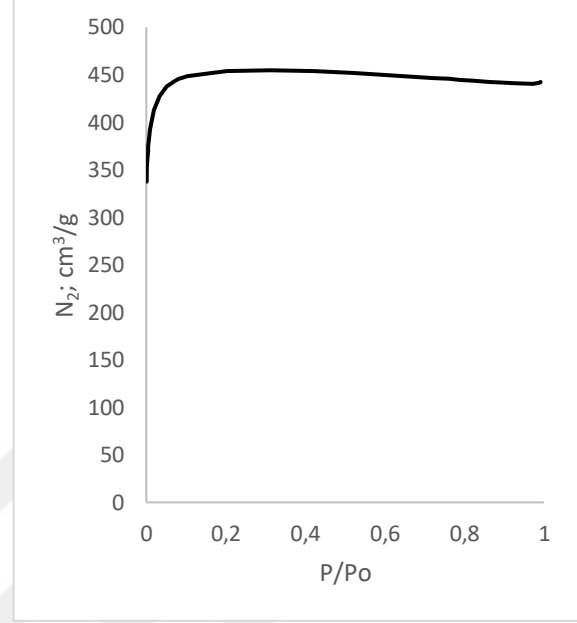
Şekil 4. 53 : T1212 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



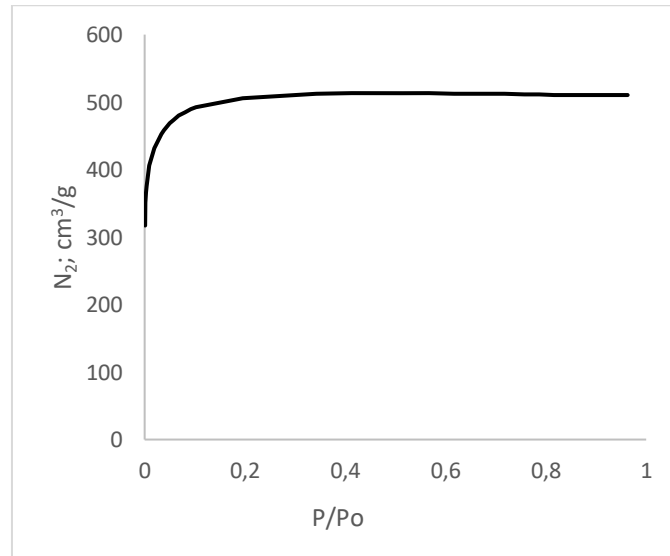
Şekil 4. 54 : T1213 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



Şekil 4. 55 : T1311 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



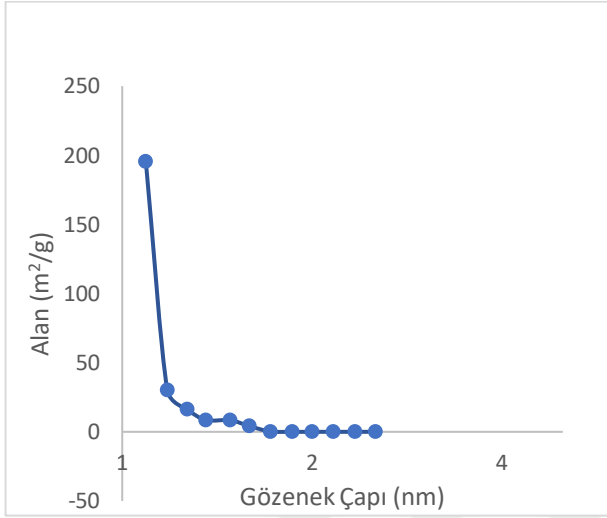
Şekil 4. 56 : T1312 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu



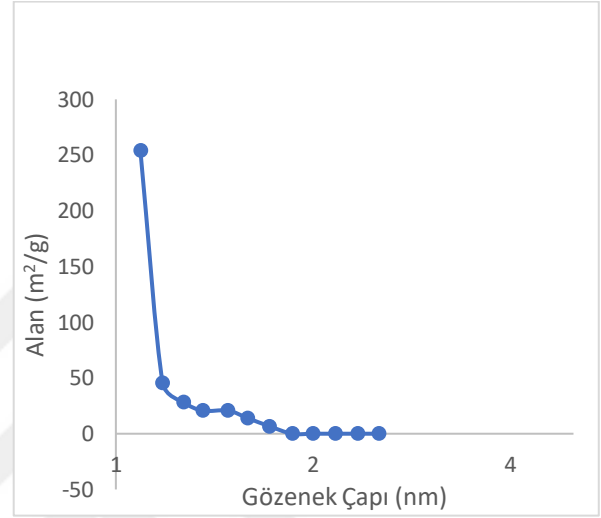
Şekil 4. 57 : T1313 aktif karbonuna ait N₂ adsorpsiyonu

4.3.2 Aktif karbonların gözenek boyut dağılımları

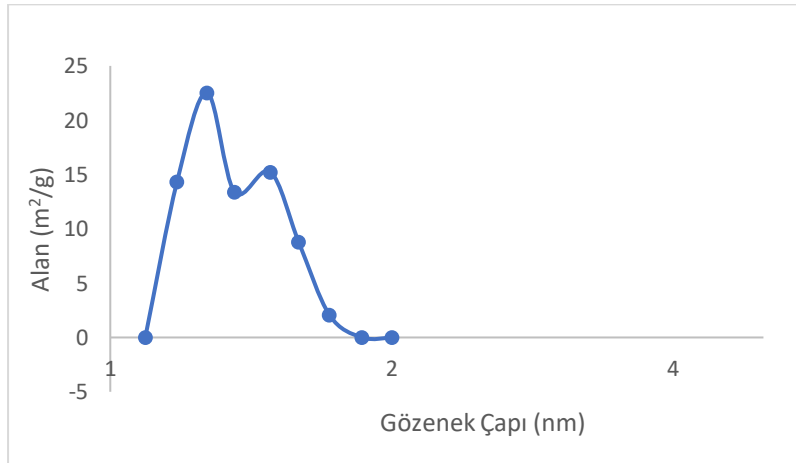
Tüm aktif karbon örneklerinin gözenek boyut dağılımı Şekil 4.58-84'de verilmiştir. Adsorpsiyon izotermeleri aksine tüm örneklerin gözenek boyut dağılımları farklılık göstermektedir. Bu durum beklenen bir sonuç olup 5 farklı biyokütlenin yapısı ve dolayısıyla sonuç ürünün yapısal dönüşümünde farklı olacaktır. Örneğin şeftali çekirdeğinin selülozik yapısı ile kayısı ve bademin selülozik yapısı farklıdır [159].



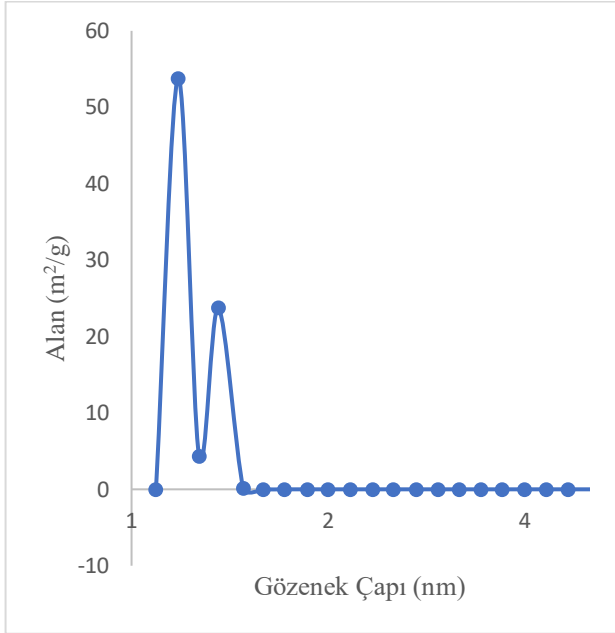
Şekil 4.58 : T411 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



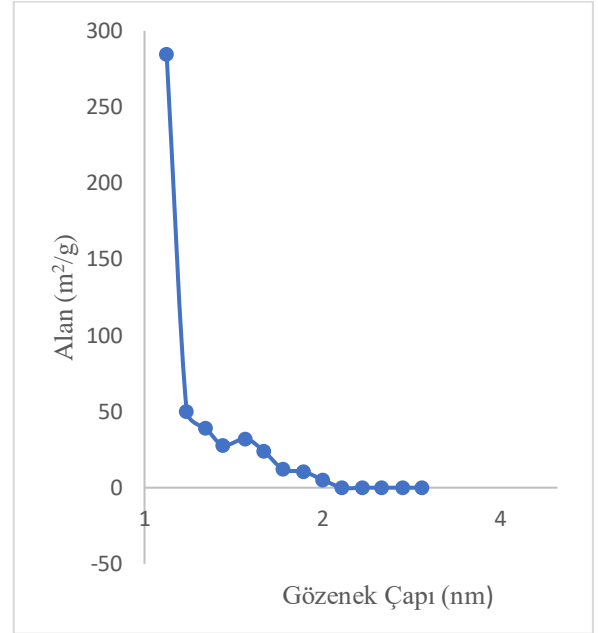
Şekil 4.59 : T412 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



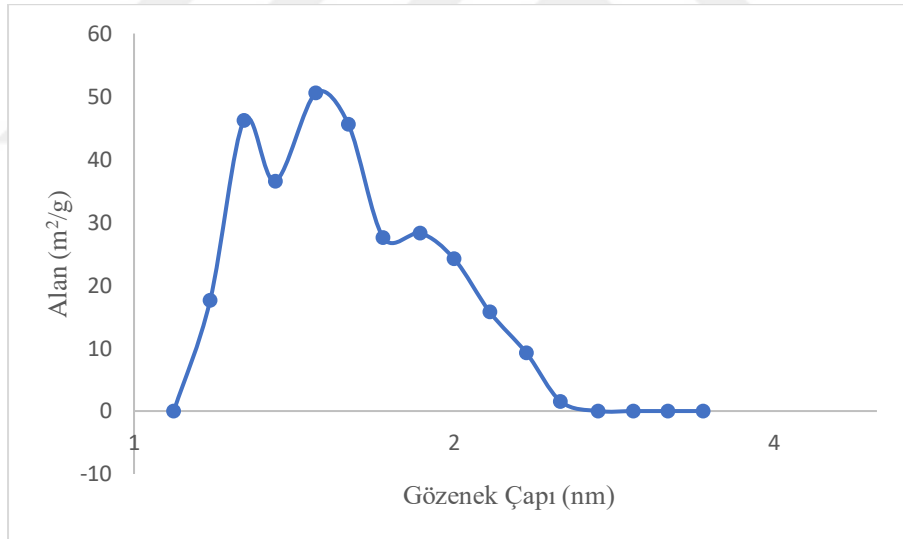
Şekil 4.60 : T413 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



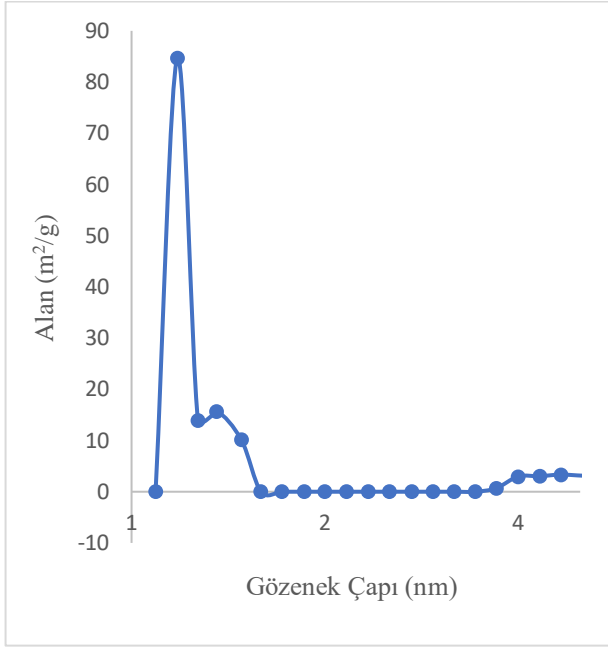
Şekil 4. 61 : T611 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



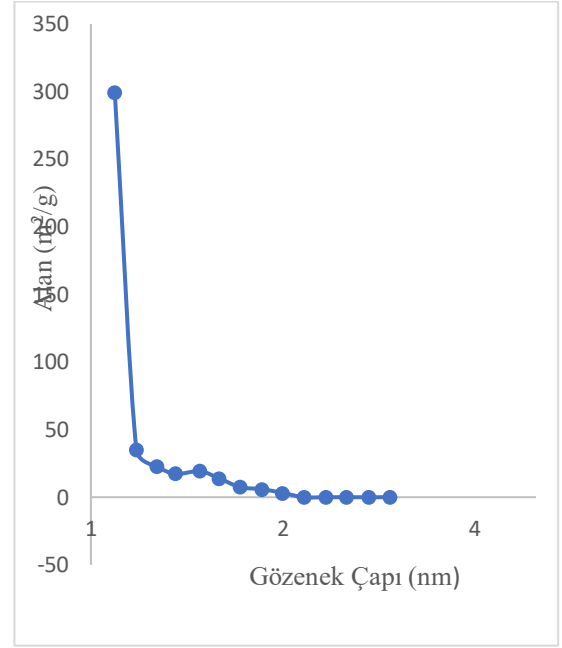
Şekil 4. 62 : T612 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



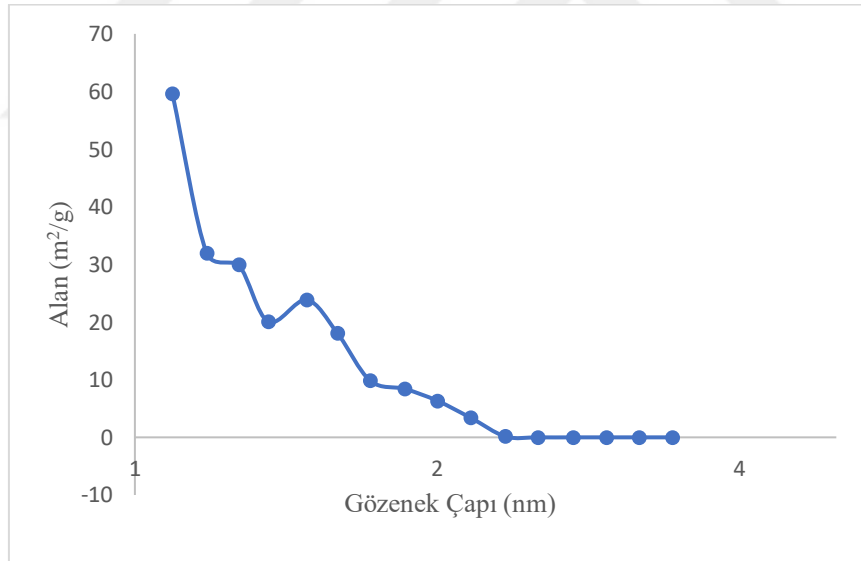
Şekil 4. 63 : T613 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



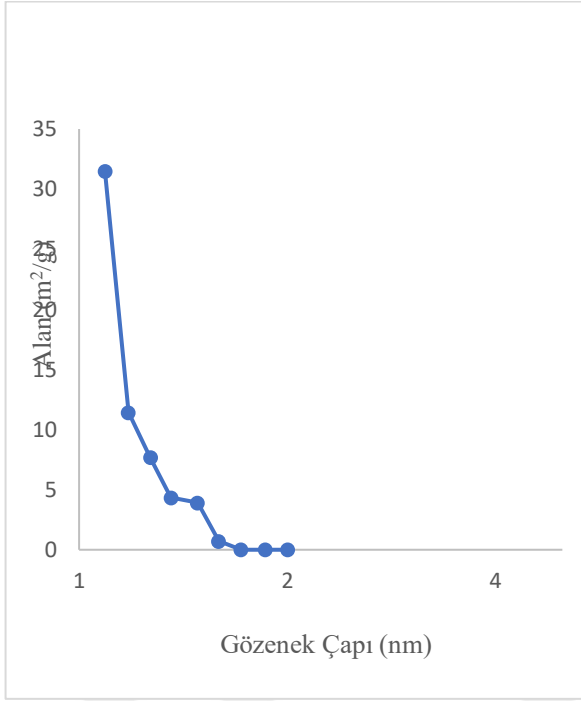
Şekil 4. 64 : T711 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



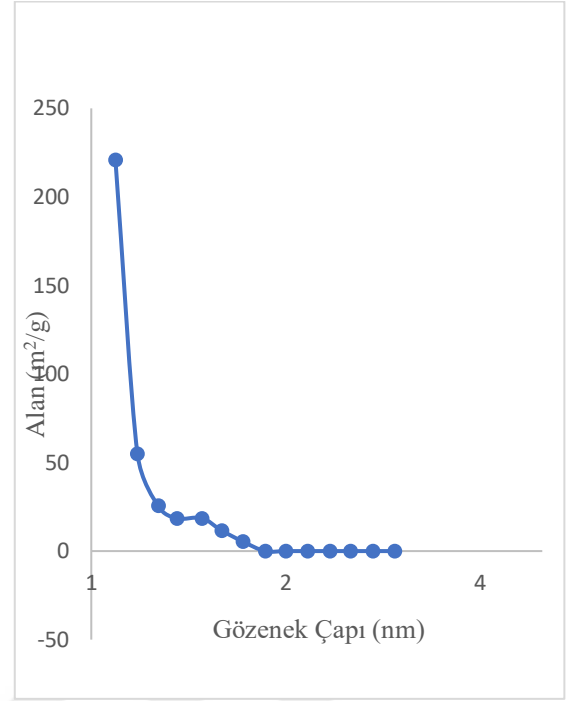
Şekil 4. 65 : T712 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



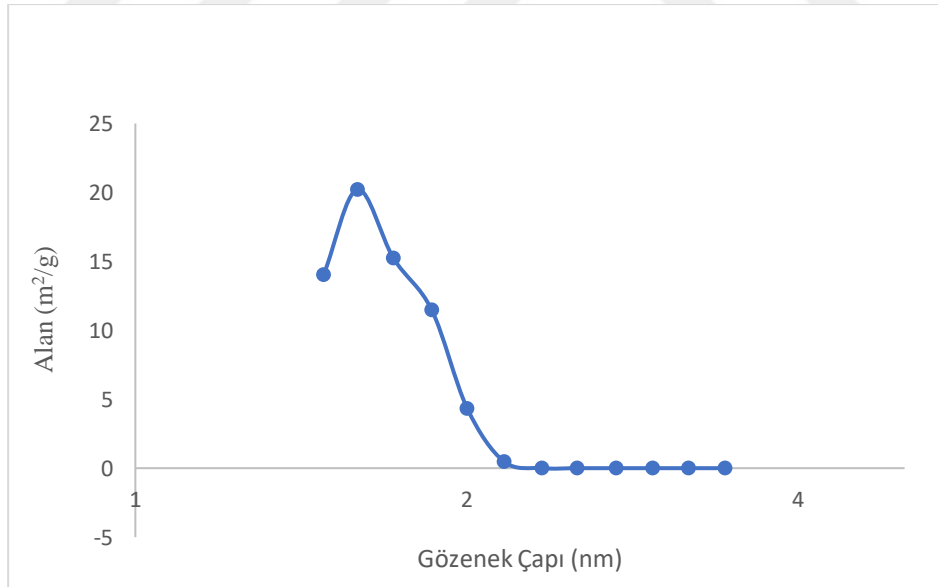
Şekil 4. 66 : T713 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



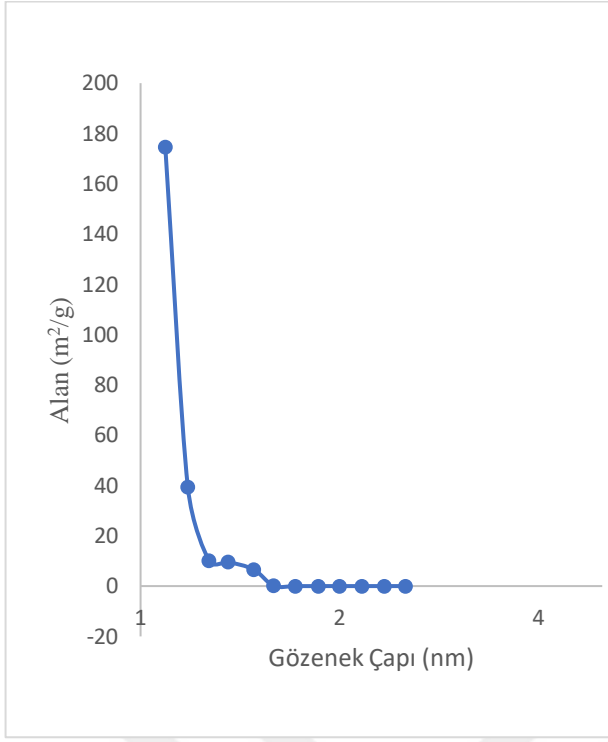
Şekil 4. 67 : T811 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



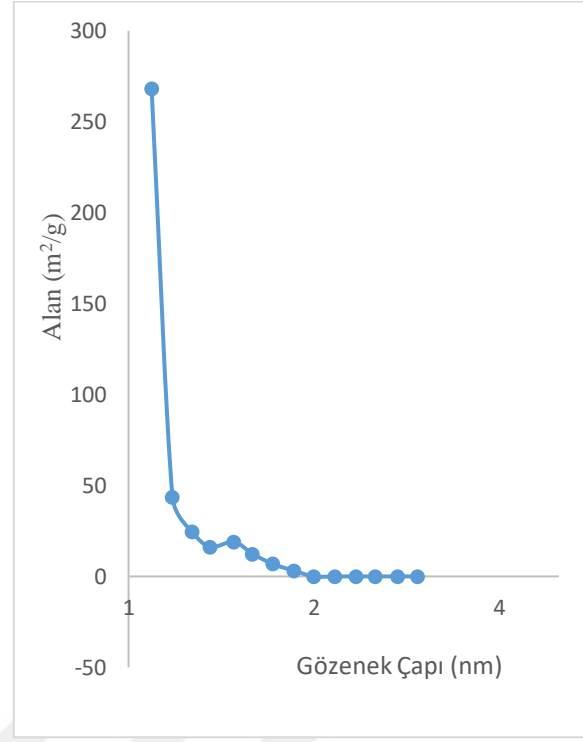
Şekil 4. 68 : T812 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



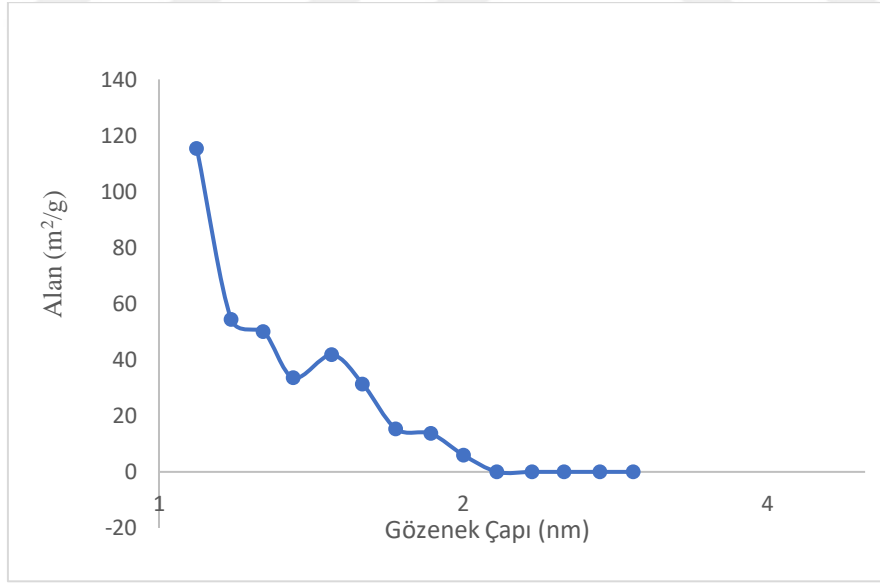
Şekil 4. 69 : T813 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



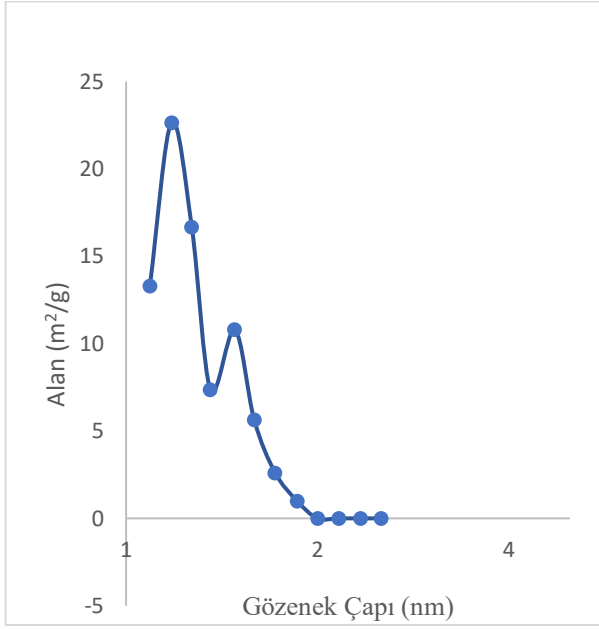
Şekil 4. 70 : T911 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



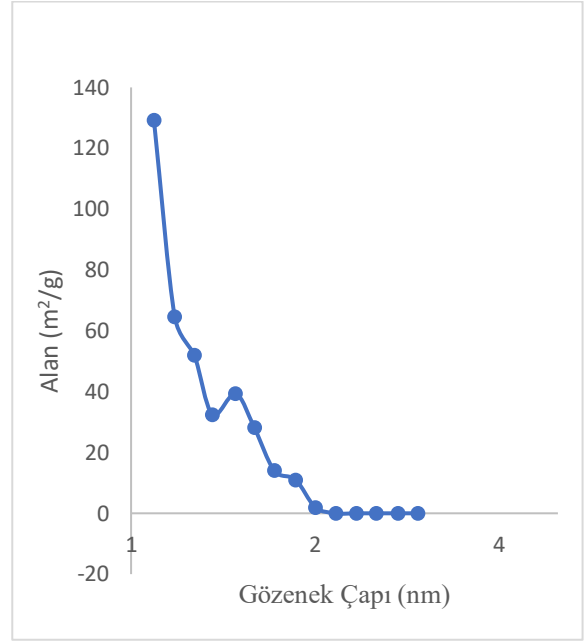
Şekil 4. 71 : T912 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



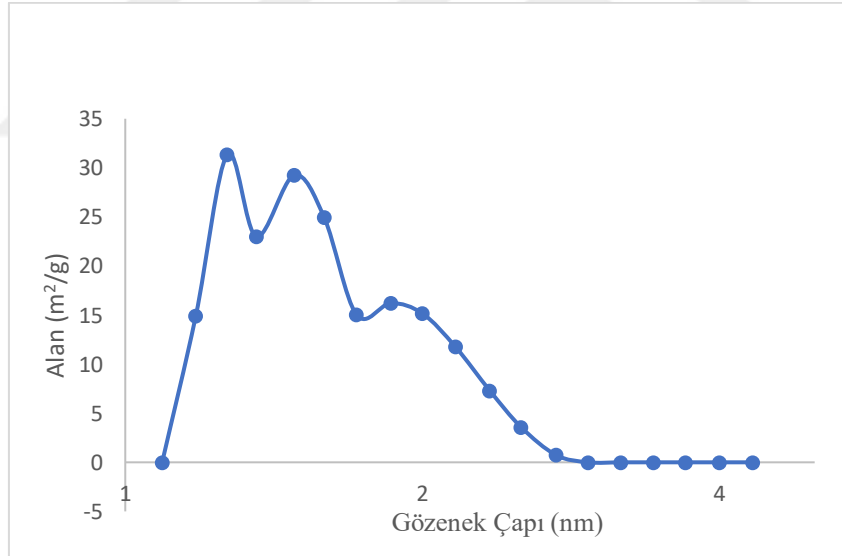
Şekil 4. 72 : T913 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



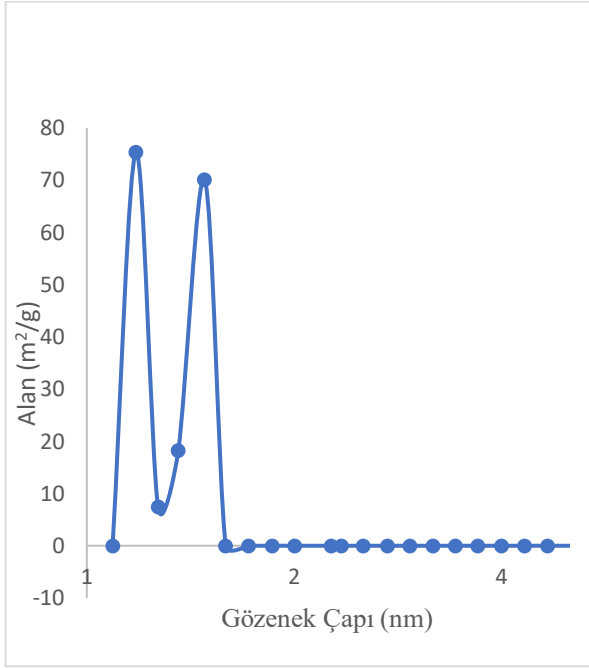
Şekil 4. 73 : T1011 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



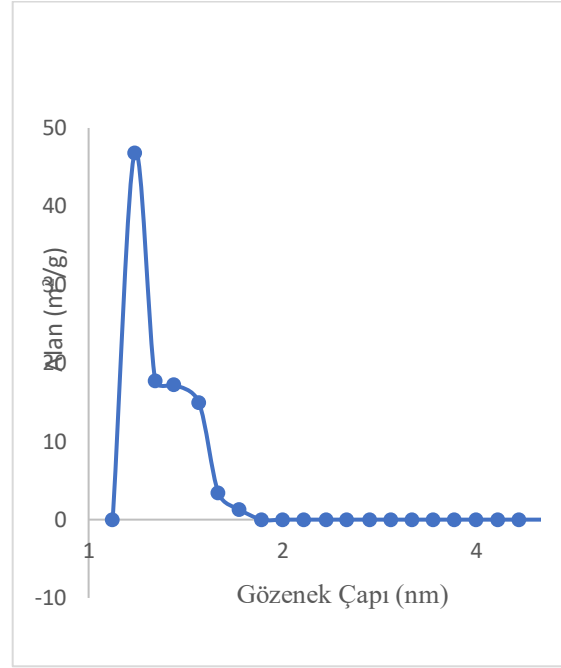
Şekil 4. 74 : T1012 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



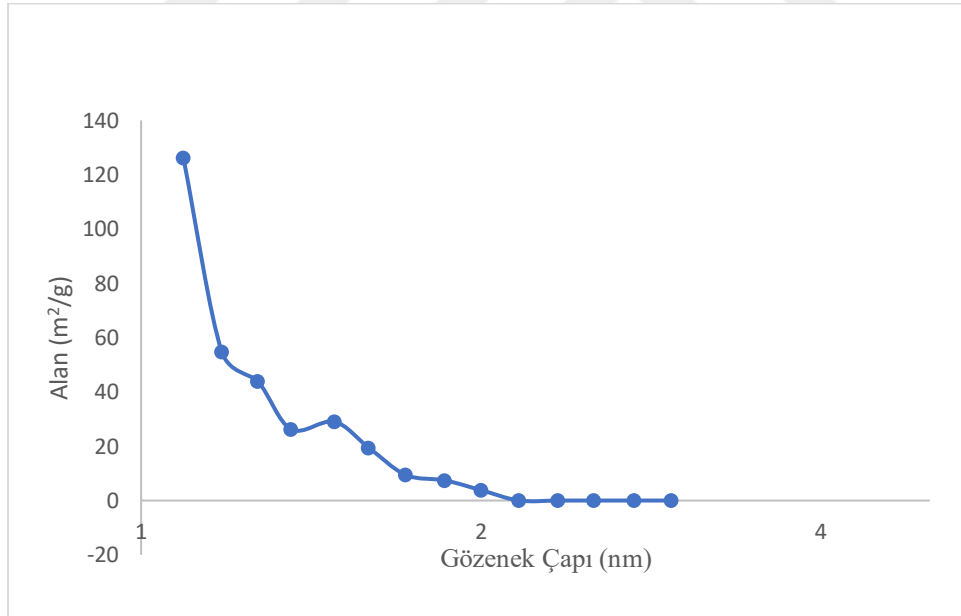
Şekil 4. 75 : T1013 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



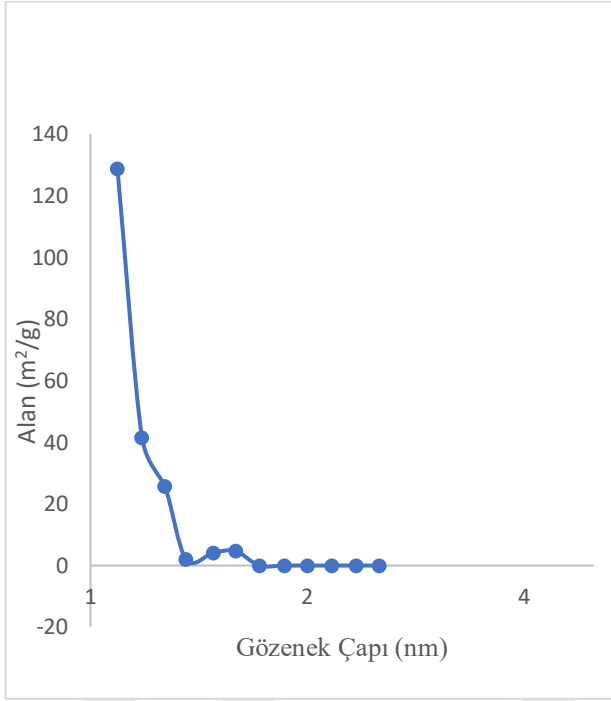
Şekil 4. 76 : T1111 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



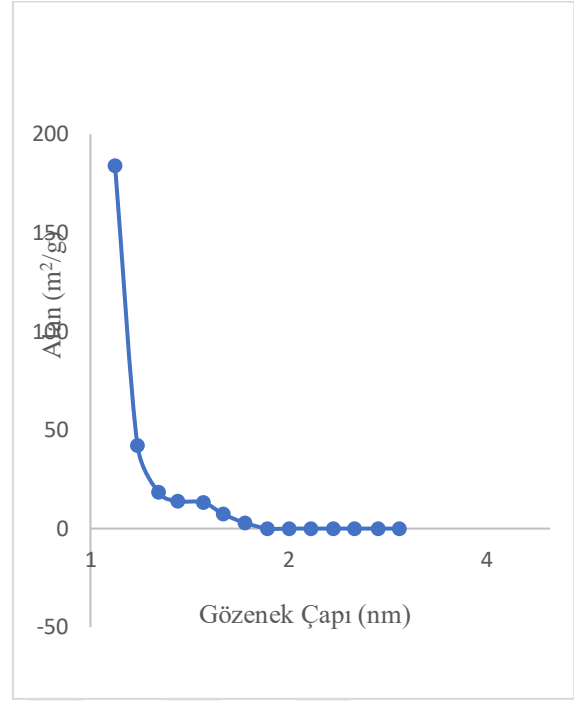
Şekil 4. 77 : T1112 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



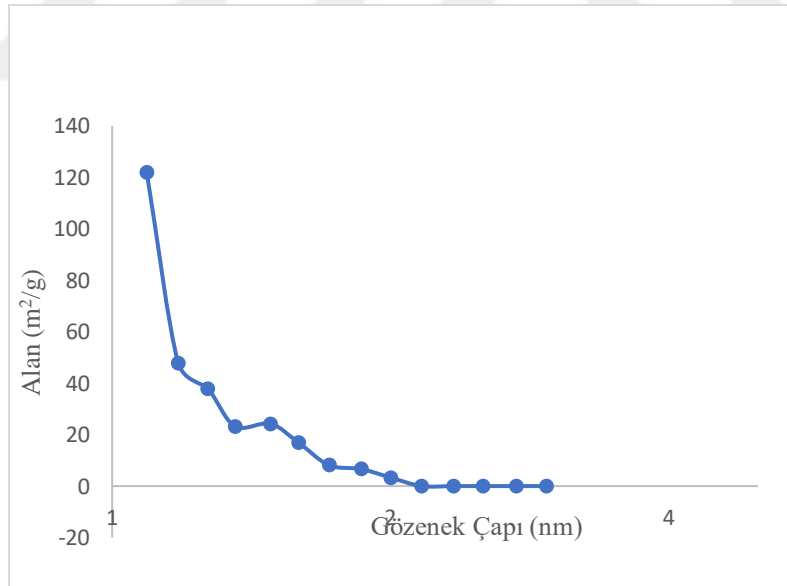
Şekil 4. 78 : T1113 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



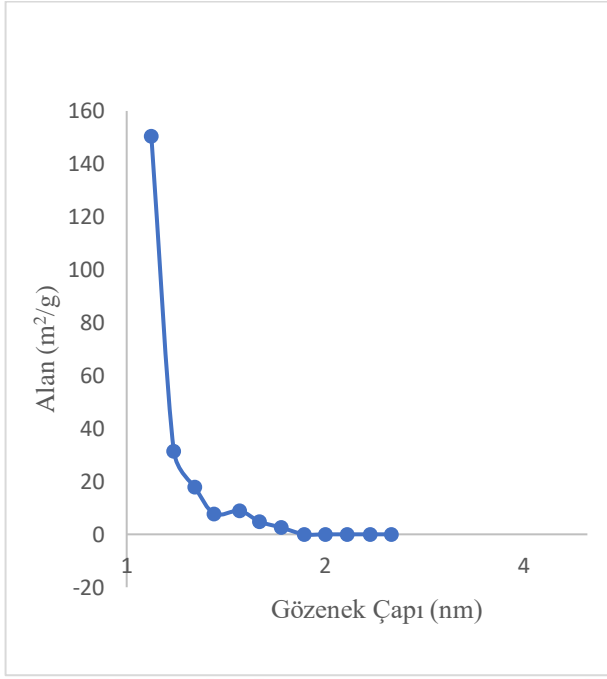
Şekil 4. 79 : T1211 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



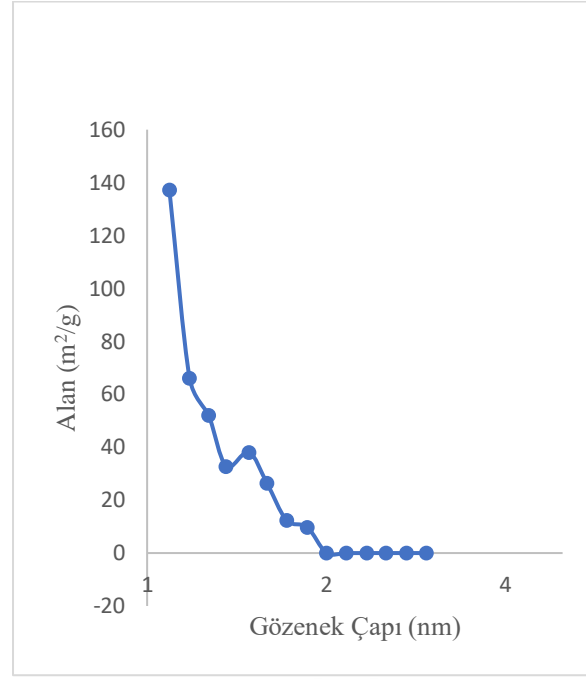
Şekil 4. 80 : T1212 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



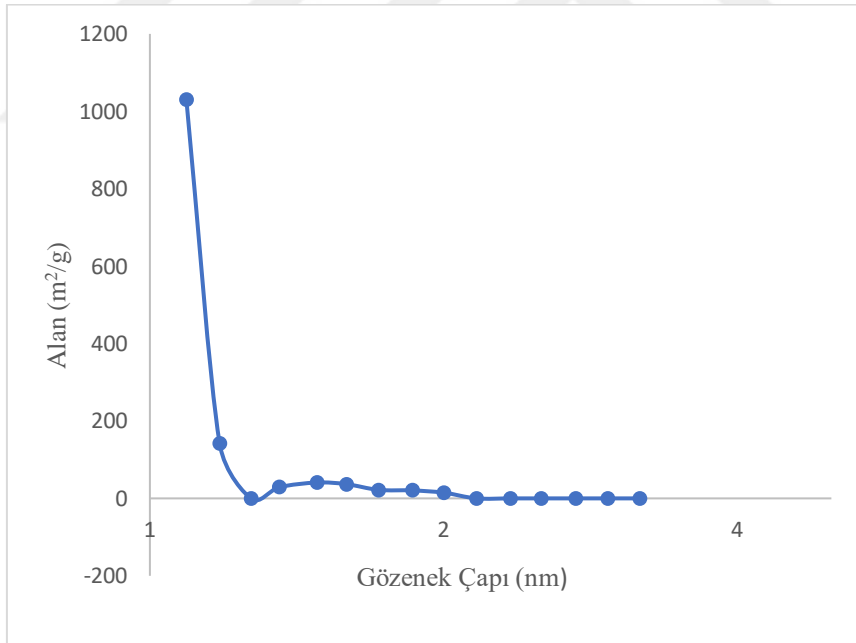
Şekil 4. 81 : T1213 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



Şekil 4. 82 : T1311 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



Şekil 4. 83 : T1312 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği



Şekil 4. 84 : T1313 aktif karbonuna ait gözenek boyut dağılım grafiği

4.3.4 Aktif Karbonların Element Analizleri

Aktif karbon örneklerinin elementel (CHNS) analiz sonuçlarının ait Çizelge 4.9 incelendiğinde genel olarak karbon ve oksijen oranlarının yüksek olduğu görülmektedir. KOH aktivasyonunun mekanizmasından dolayı oksijen miktarının fazla çıkması beklenen bir sonuçtur. KOH aktivasyonunda aktif karbonun oksijenli fonksiyonel gruplarca zenginleştiği bilinmektedir. Genel olarak aynı karbonizasyon sıcaklığında aynı ısıtma hızında KOH oranı artmasına bağlı olarak karbon oranı azalırken hidrojen oranı artmaktadır. Benzer şekilde oksijen oranı da artmaktadır. Bu durum oksijenin hidrojen üzerinden fonksiyonel grup(lar) oluşturduğu sonucuna varılmıştır [22,164].

%C, %H, %S ve %N element analiz cihazında ölçüm alınmış %O oranı ise %C, %H, %S ve %N oranlarının toplamının %100 den çıkarılması ile hesaplanmıştır.

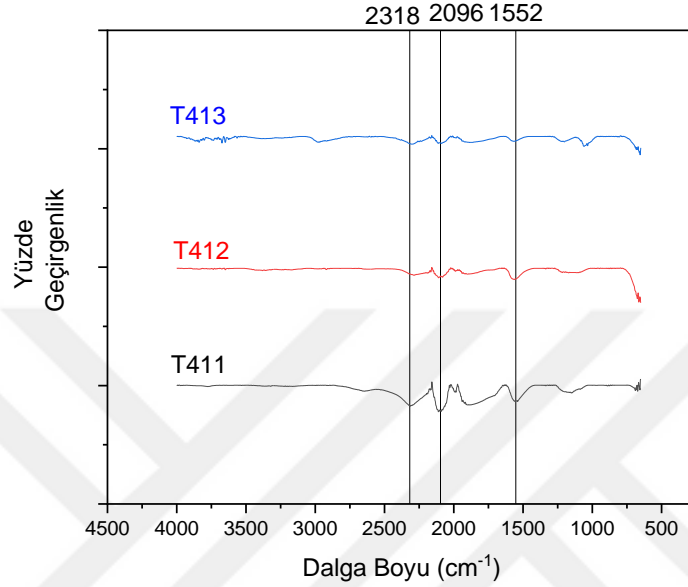
Çizelge 4. 9 : Aktif karbon ürünlere ait elementel analiz sonuçları

Numune Kodu	%C	%H	%N	%S	%O*
T411	74.66	1.993	0.132	-	23,215
T412	62.95	2.598	0.035	-	34,417
T413	57.61	3.420	-	0.037	38,933
T611	70.59	1.025	0.040	0.041	28,304
T612	71.50	0.858	-	-	27,642
T613	78.27	0.916	-	0.071	20,743
T711	56.13	0.702	0.097	-	43,071
T712	86.18	0.515	-	0.024	13,281
T713	58.03	0.645	-	0.030	41,295
T811	83.60	0.852	0.075	0.052	15,421
T812	50.11	0.486	-	0.076	49,328
T813	59.72	0.462	-	0.035	39,783
T911	81.70	0.815	0.081	-	17,404
T912	82.62	1.217	-	0.094	16,069
T913	63.08	0.335	-	-	36,585
T1011	72.63	0.661	-	0.043	26,666
T1012	70.89	0.446	-	-	28,664
T1013	54.01	0.451	-	0.066	45,473
T1111	85.99	1.013	-	0.075	12,922
T1112	60.40	0.816	-	-	38,784
T1113	83.70	0.874	-	0.051	15,375
T1211	74.74	0.823	0.152	-	24,285
T1212	73.45	0.693	-	0.063	25,794
T1213	64.42	0.479	-	-	35,101
T1311	81.28	0.885	0.023	-	17,812
T1312	69.98	0.453	-	0.029	29,538
T1313	56.28	0.280	-	0.096	43,344

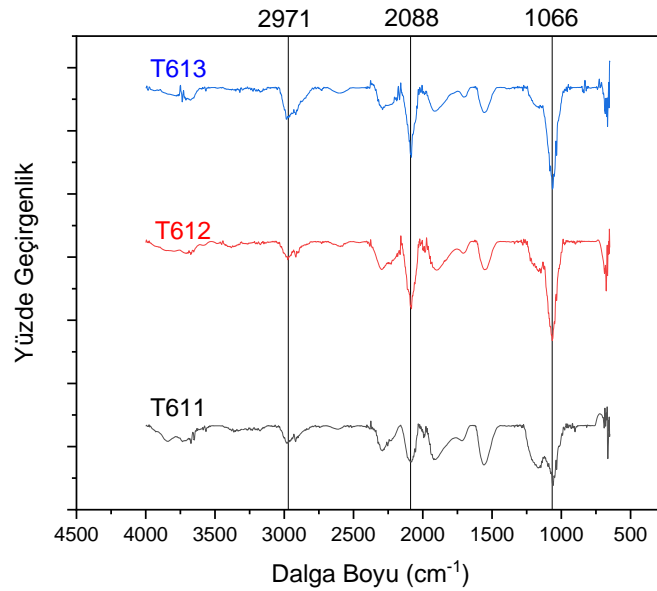
*: Farktan hesaplanmıştır.

4.3.5 Aktif Karbonların FTIR Spektrumları

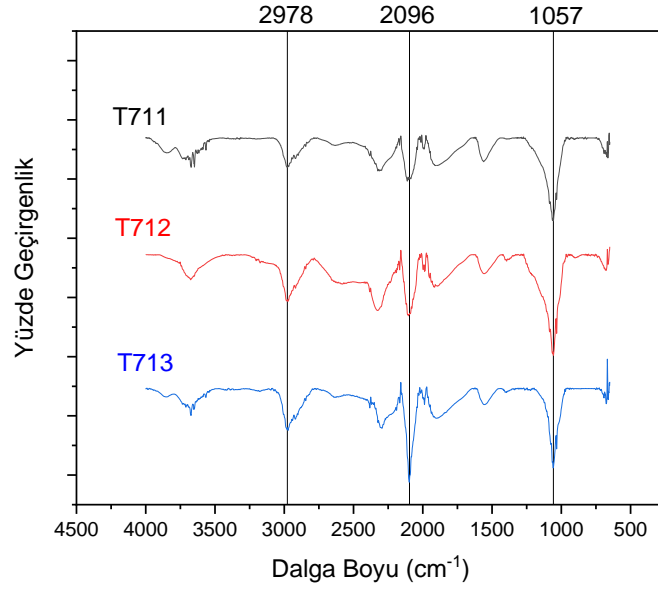
Tüm aktif karbon örneklerinin FTIR spektrumları Şekil 4.85-93'de verilmiştir. Tüm örnekler için 2973 cm^{-1} civarında gözlenen zayıf geniş pik alifatik -C-H gerilmesine aittir. Bu pikin keskin çıkmaması aktif karbon yapısının düzlemsel grafitik yapıya dönüştüğünü göstermektedir. 1049 cm^{-1} 'de tüm örneklerde gözlenen genel olarak şiddetli büyük pik organik yapıdaki C-O-C gerilmelerine aittir [22,163,164].



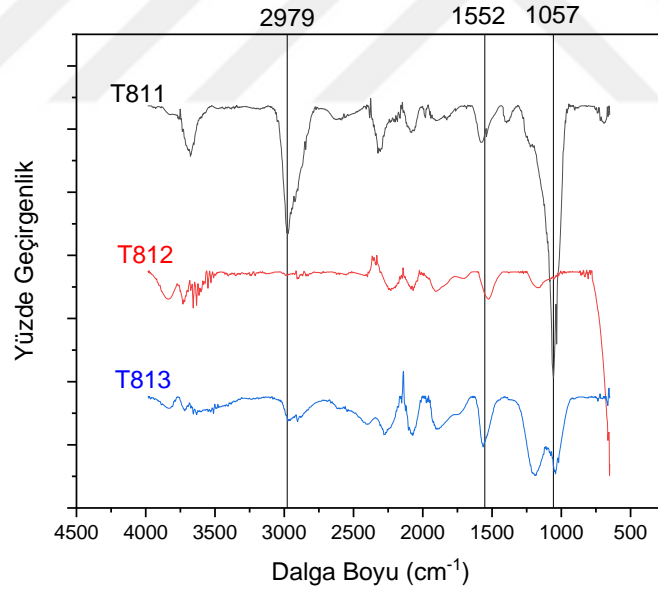
Şekil 4. 85 : 400 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği



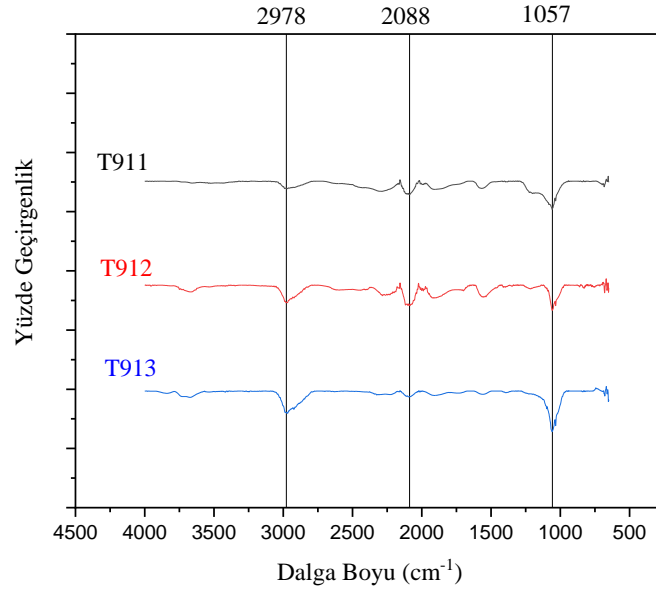
Şekil 4. 86 : 400 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği



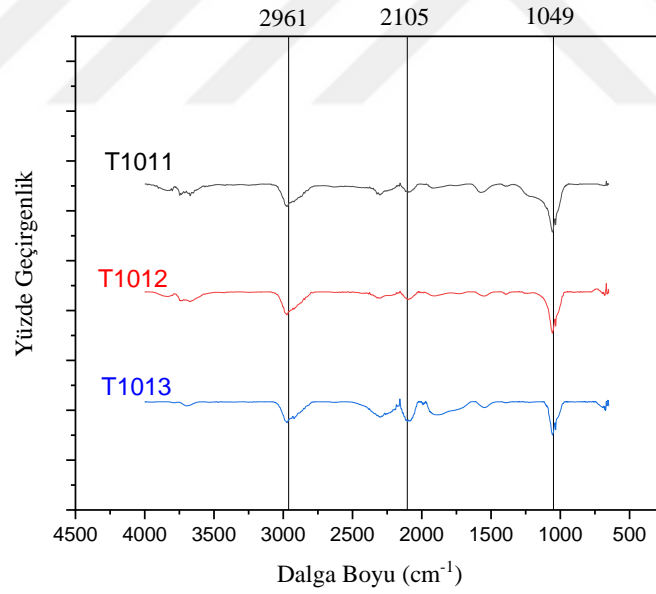
Şekil 4. 87 : 500 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile akti-
vasyon FTIR grafiği



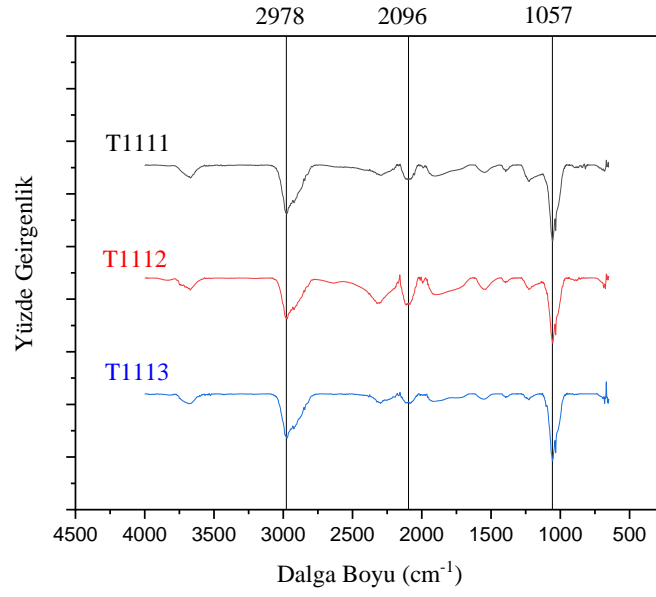
Şekil 4. 88 : 600 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile akti-
vasyon FTIR grafiği



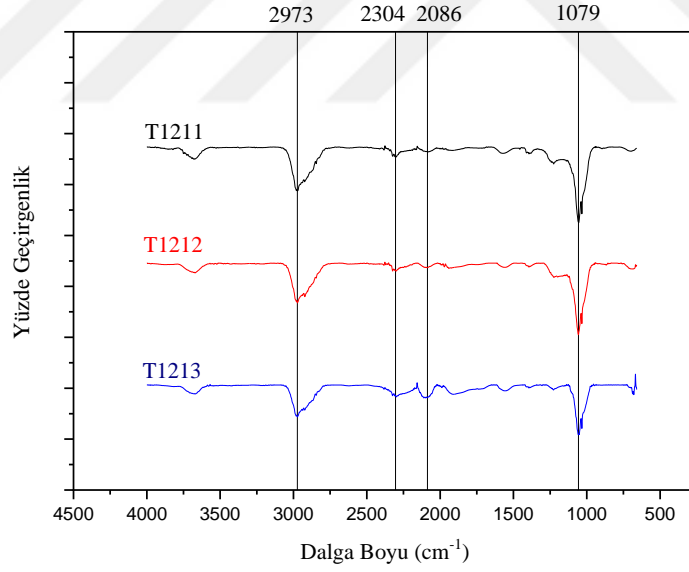
Şekil 4. 89 : 500 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği



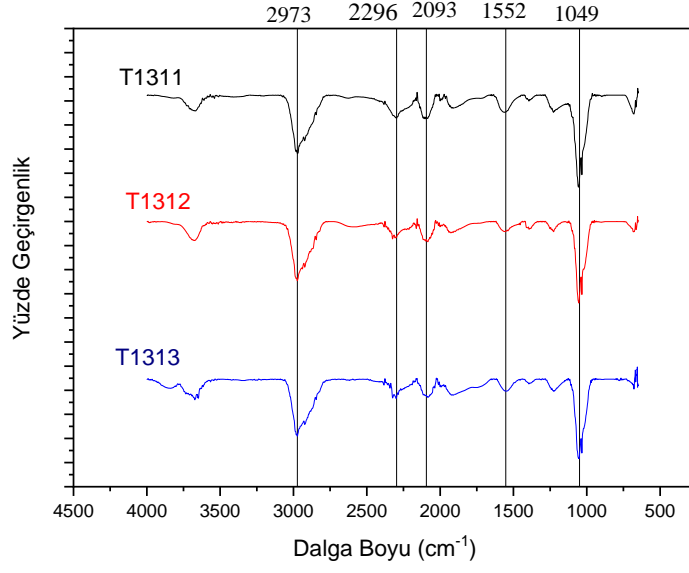
Şekil 4. 90 : 600 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği



Şekil 4. 91 : 400 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile akti-
vasyon FTIR grafiği



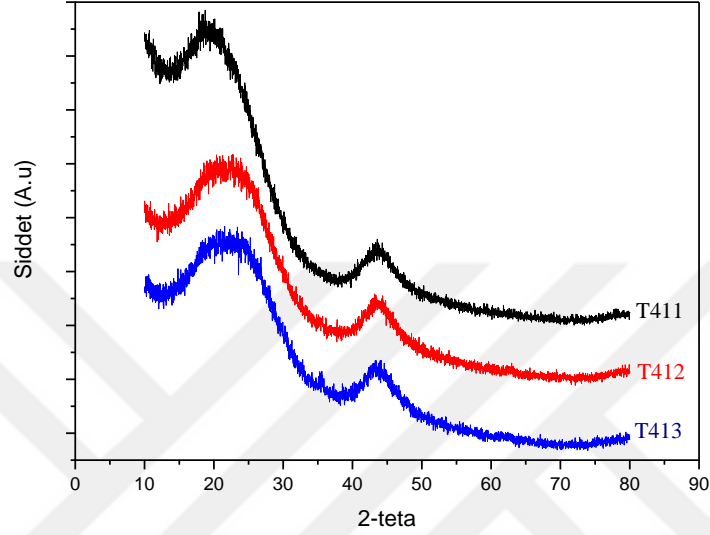
Şekil 4. 92 : 500 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile akti-
vasyon FTIR grafiği



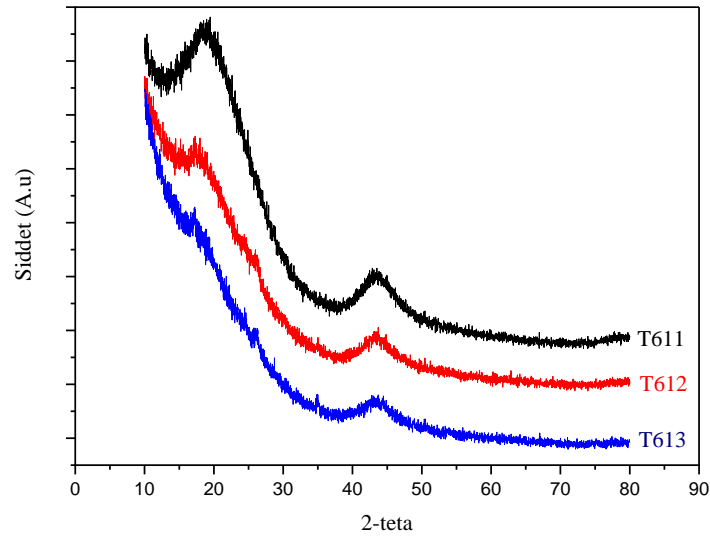
Şekil 4. 93 : 600 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon FTIR grafiği

4.3.6 Aktif Karbonların XRD Spektrumları

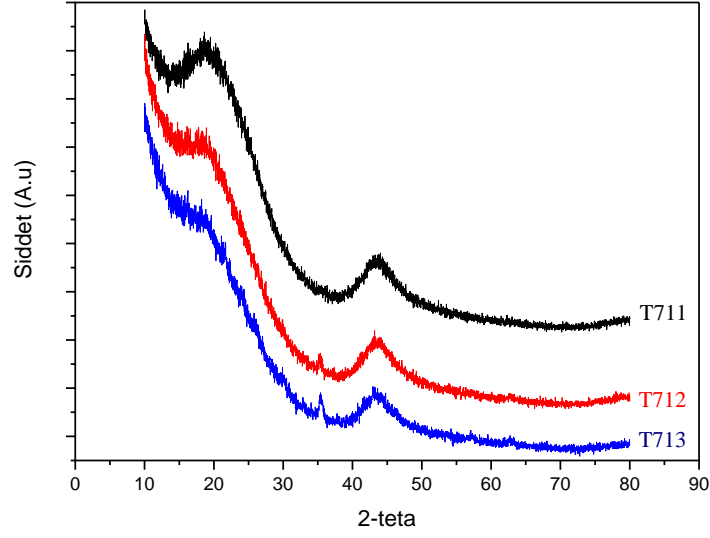
Tüm aktif karbonların XRD izleri Şekil 4. 94-102’de verilmiştir. Farklı karbonizasyon hızları ve ısıtma hızlarında farklı KOH impregnasyon oranları için aktif karbon yapısının genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Tüm XRD izlerinde 23 ve 43 2θ değerlerindeki iki yayvan pik sırasıyla grafitik yapının 002 ve 100 ile 101 düzlemlerine aittir. Karbonize örnek yarı kristalin iken aktif karbon örnekleri daha fazla amorf yapı göstermektedirler [22,163-165].



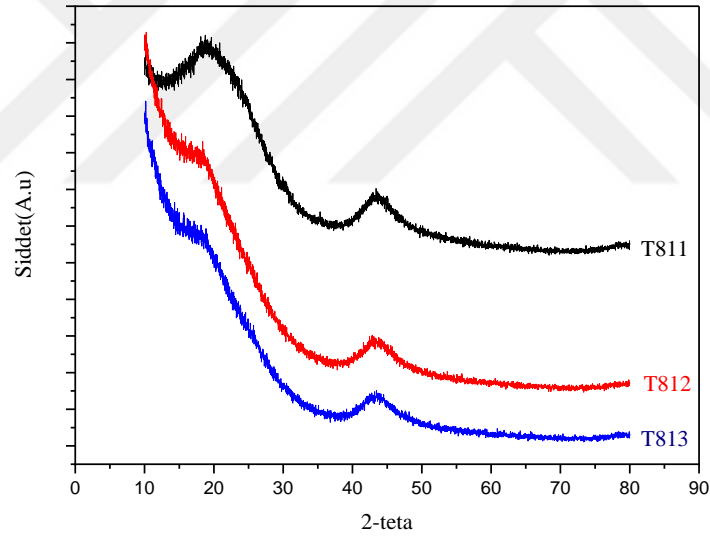
Şekil 4. 94 : 400 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği



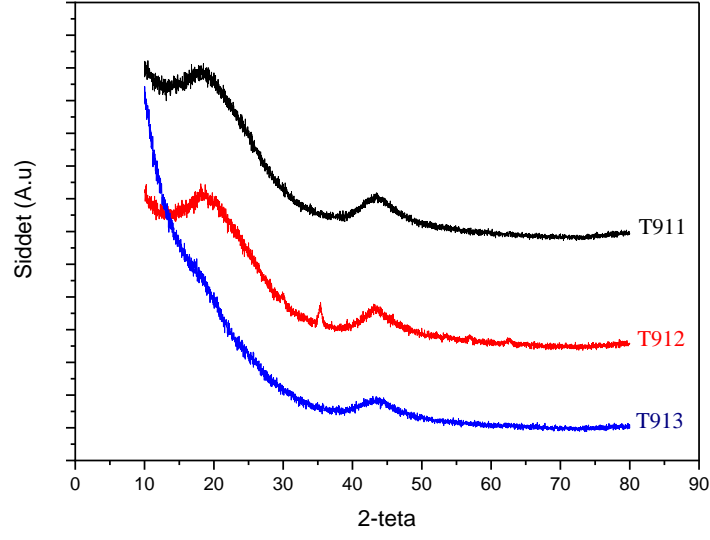
Şekil 4. 95 : 400 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği



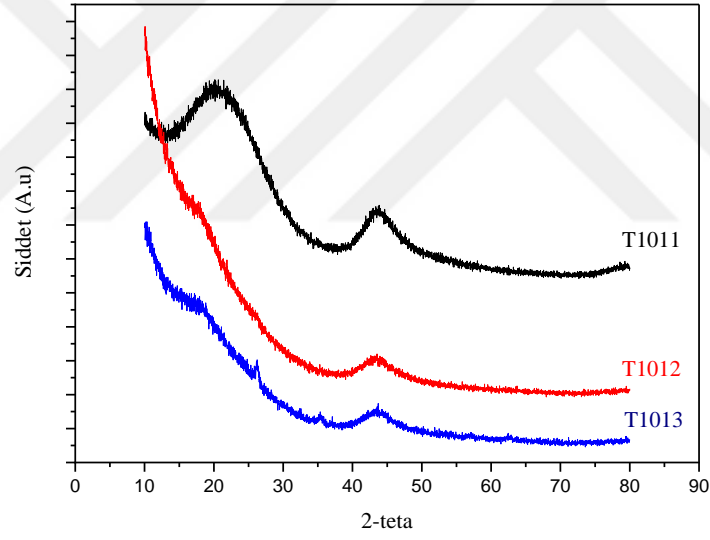
Şekil 4. 96 : 500 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği



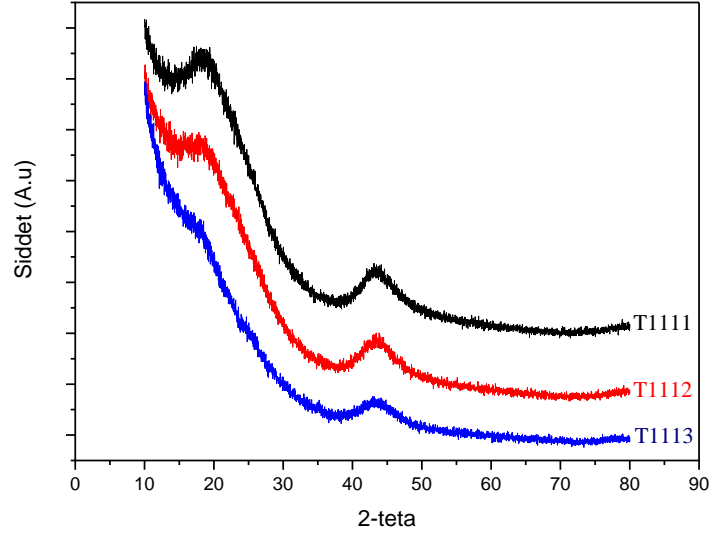
Şekil 4. 97 : 600 °C, 3 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği



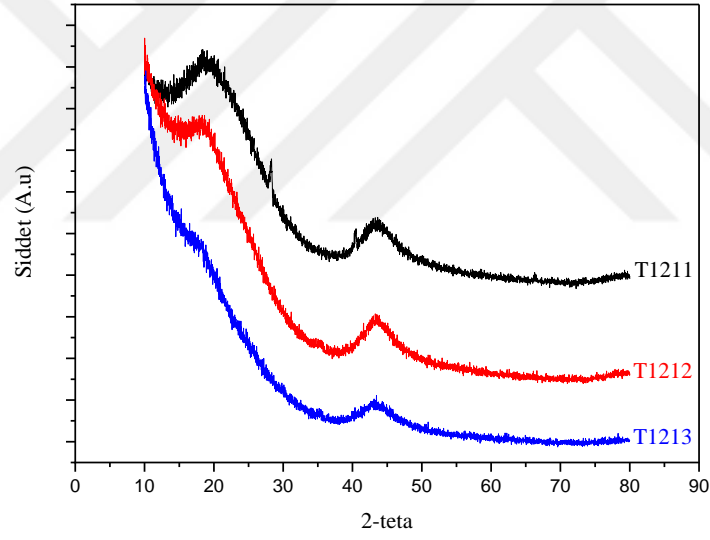
Şekil 4. 98 : 500 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile akti-
vasyon XRD grafiği



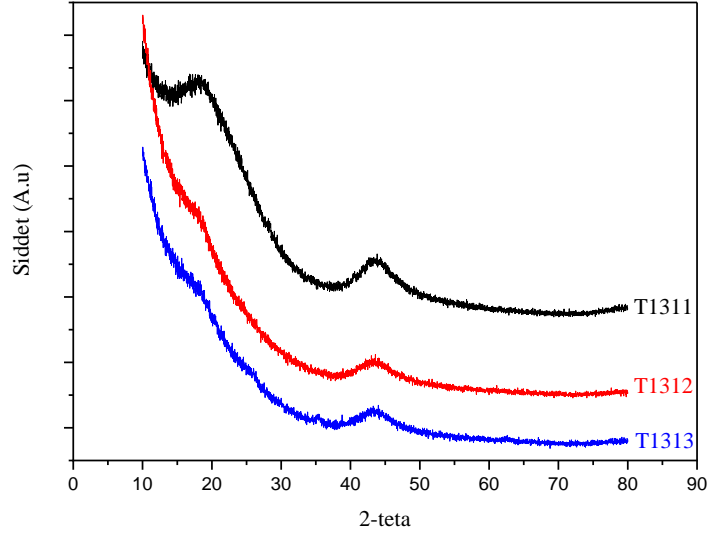
Şekil 4. 99 : 600 °C, 5 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile akti-
vasyon XRD grafiği



Şekil 4. 100 : 400 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği



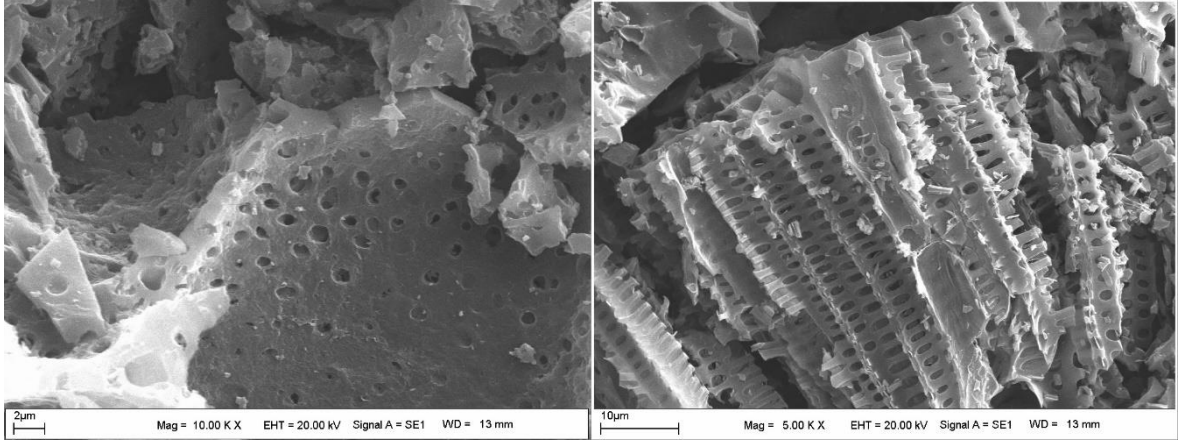
Şekil 4. 101 : 500 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği



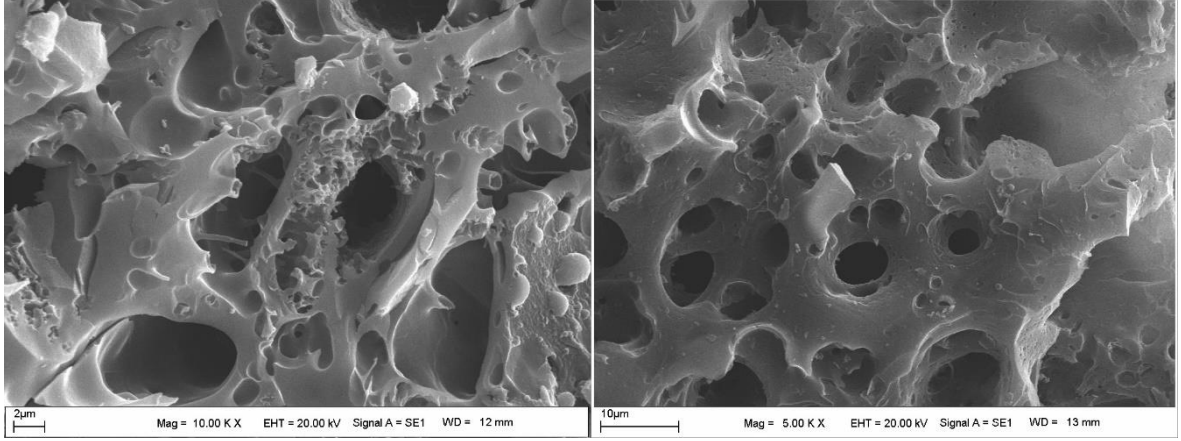
Şekil 4. 102 : 600 °C, 10 °C/dk ısıtma hızında karbonize ürünün 1:1, 1:2 ve 1:3 KOH ile aktivasyon XRD grafiği

4.3.7 Aktif Karbonların SEM görüntüleri

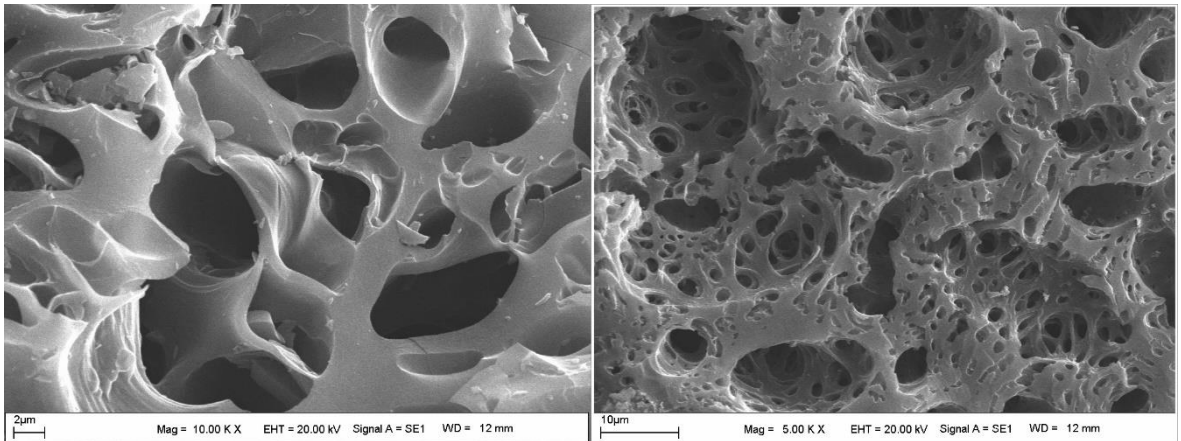
Tüm aktif karbonların SEM görüntüleri Şekil 4.103-129’da verilmiştir. Tüm örneklerin yüzey morfolojileri kullanılan her bir hammaddeye ait aktif karbonun yüzey morfolojileri ile uyumaktadır. Karbonize örneklerde kısmen görünen düşük gözeneklilik KOH aktivasyonu sonucu oldukça belirgin hale gelmiştir. Farklı biyokütlelerin KOH ile etkileşim mekanizması farklı olduğu için yüzey alanı çok yüksek çıkmamakla beraber karışım biyokütle için oldukça önemli sonuçlar elde edilmiştir. SEM görüntüleri XRD ile uyum halinde grafitik yapı açıkça görülmektedir. Bazı görüntülerde grafit dilimimleri mevcut olup diğerlerinde görünmemesi numunelerin homojenliği ile ilişkilidir. Karbonizasyon ve aktivasyonda hammaddeler için herhangi bir ön işlem yapılmaması ve doğrudan kullanılması sonucu etkileşimler farklı olmaktadır [154,156-160,163,164].



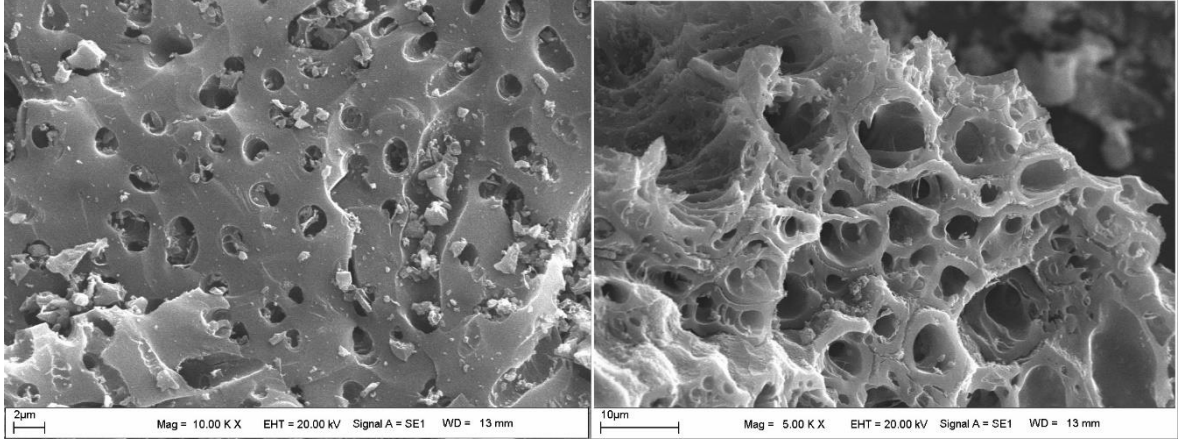
Şekil 4. 103 : T411 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



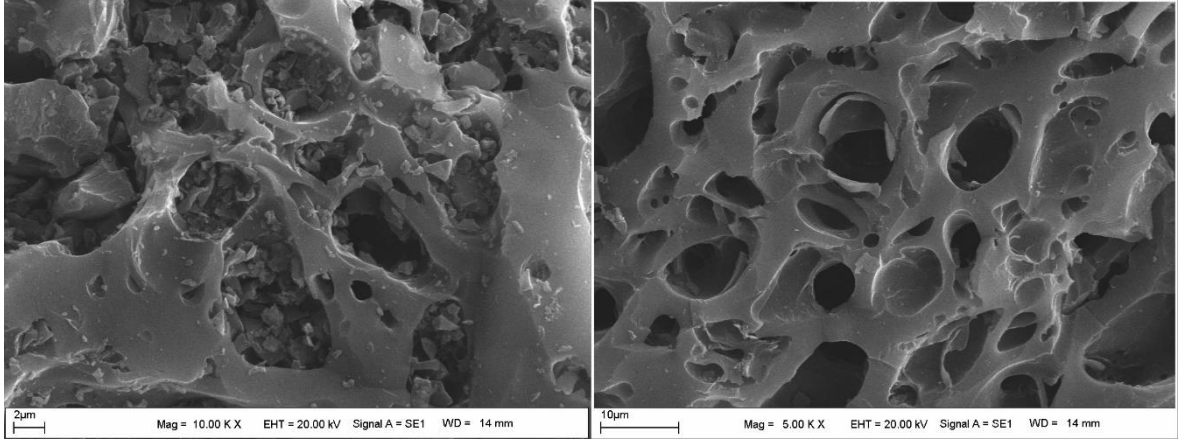
Şekil 4. 104 : T412 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



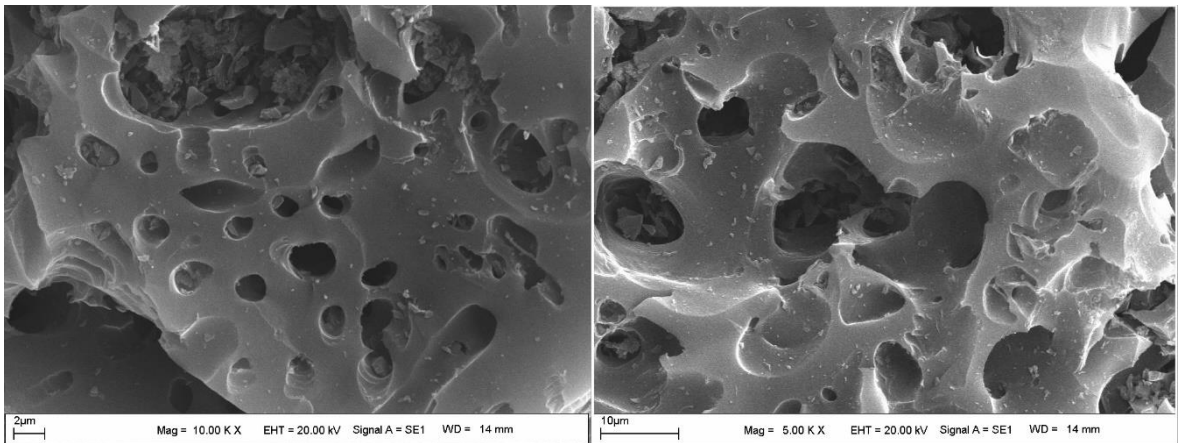
Şekil 4. 105 : T413 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



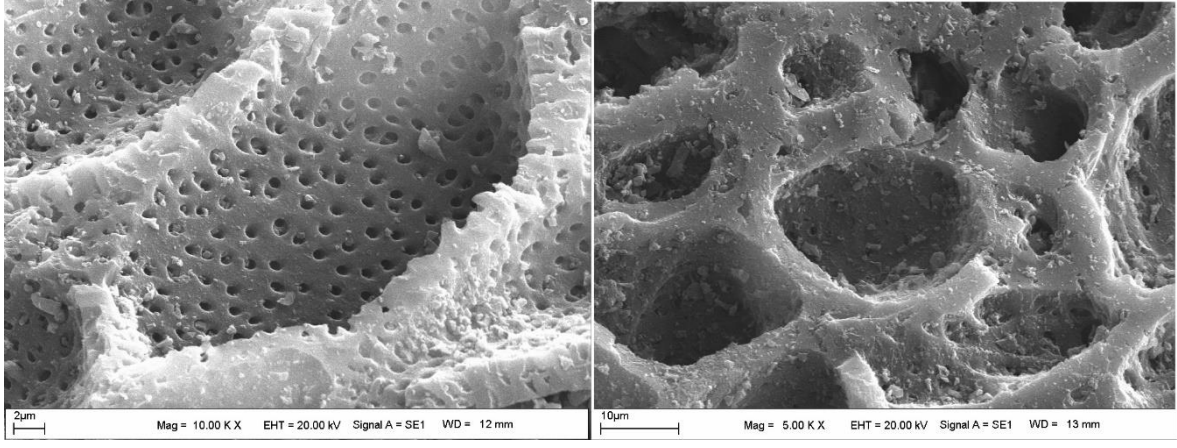
Şekil 4. 106 : T611 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



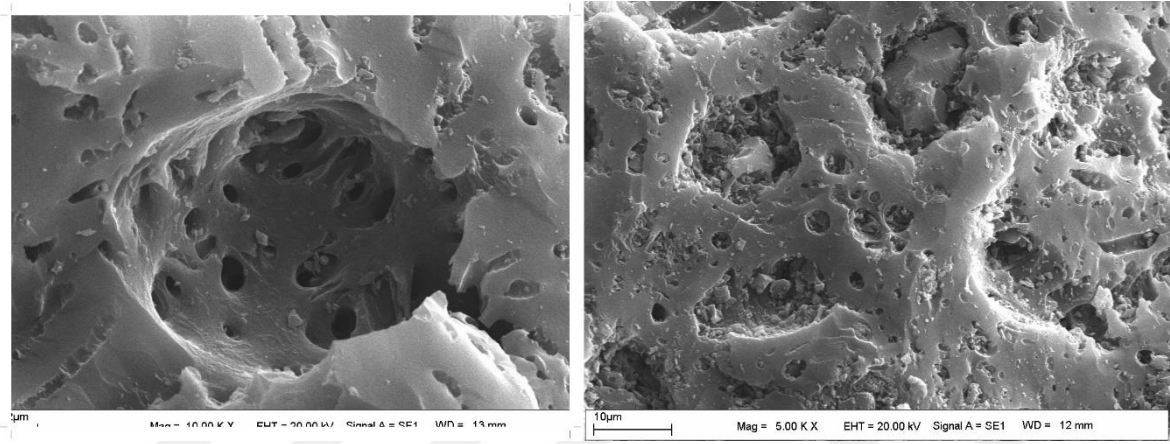
Şekil 4. 107 : T612 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



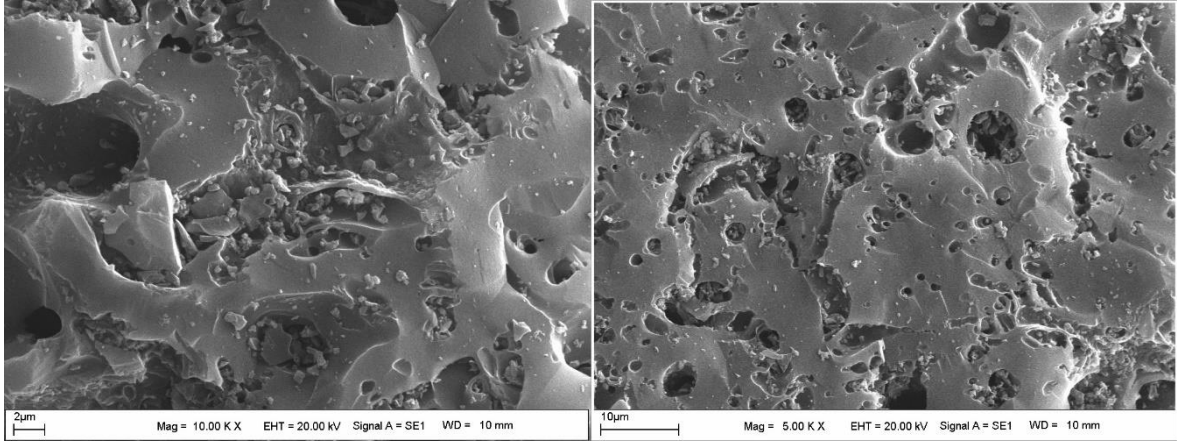
Şekil 4. 108 : T613 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



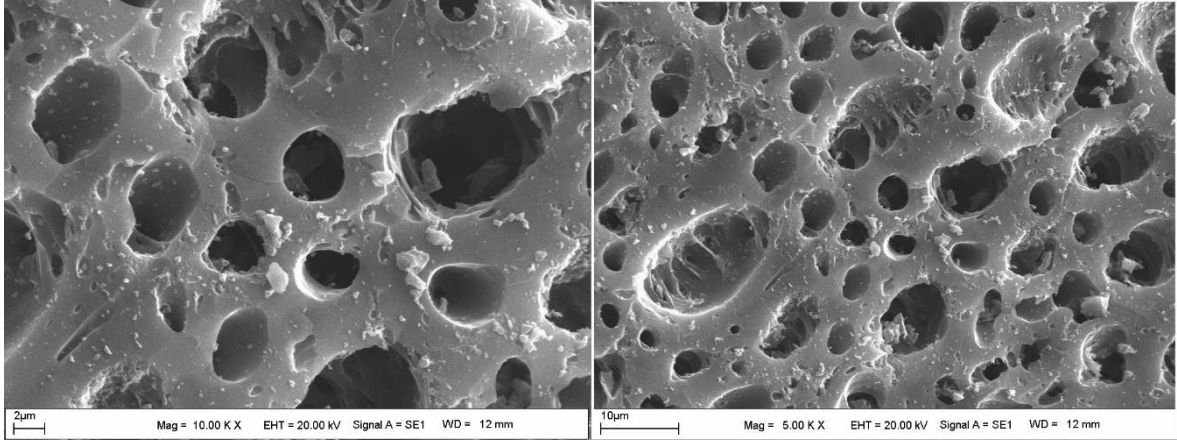
Şekil 4. 109 : T711 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



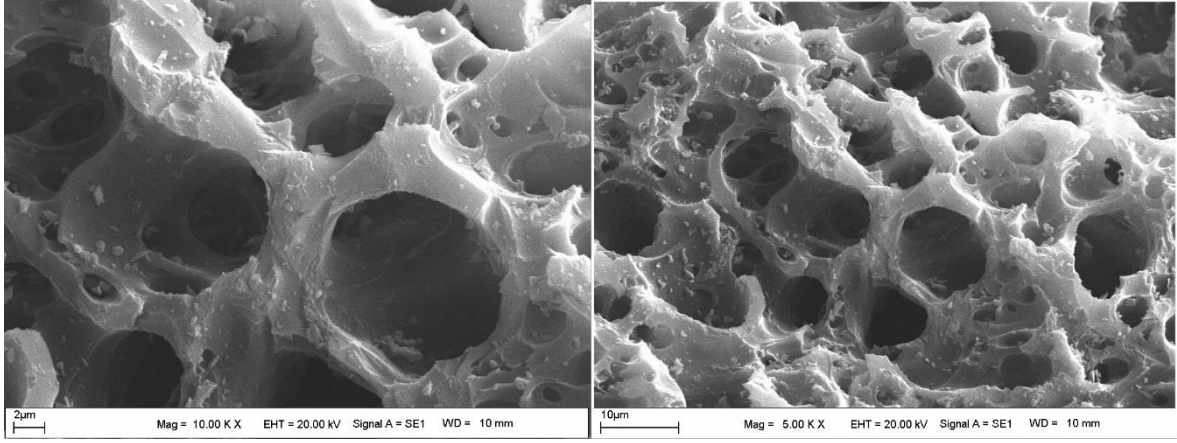
Şekil 4. 110 : T712 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



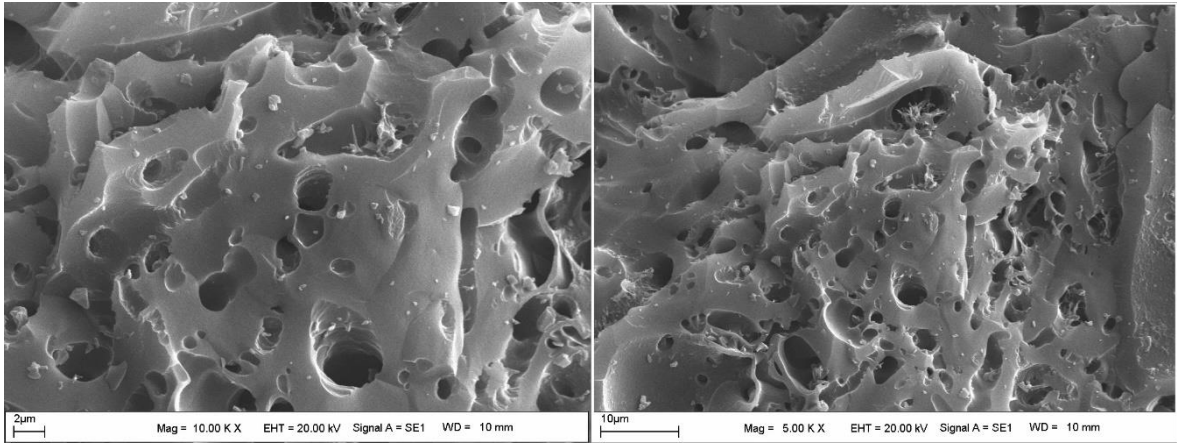
Şekil 4. 111 : T713 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



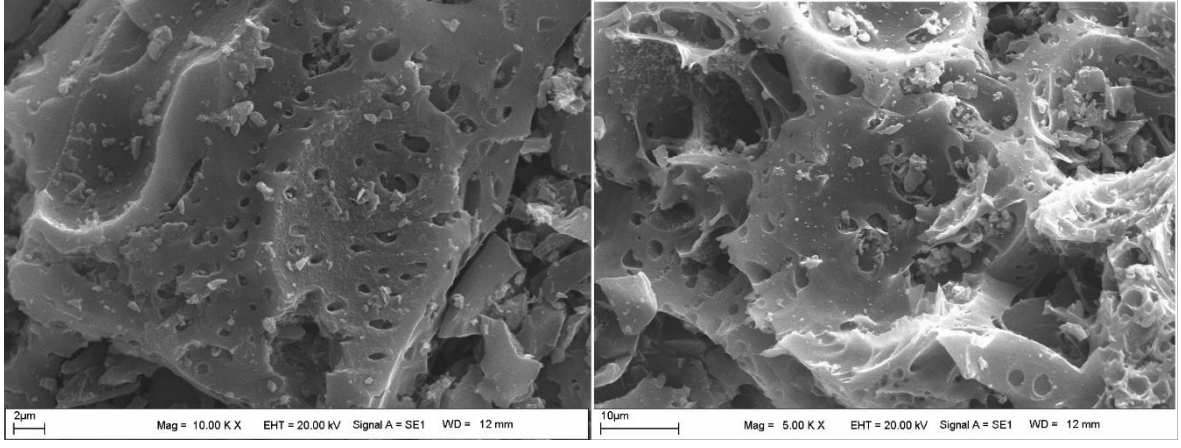
Şekil 4. 112 : T811 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



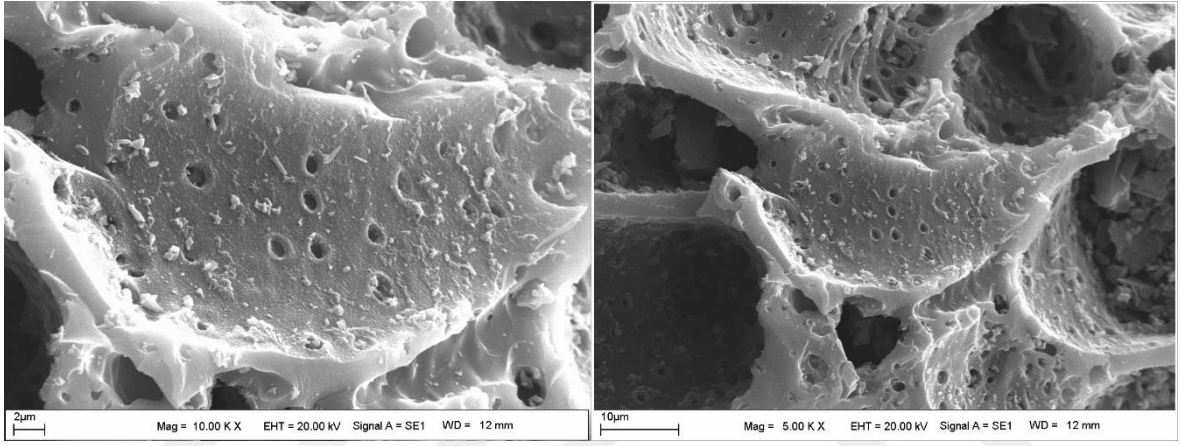
Şekil 4. 113 : T812 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



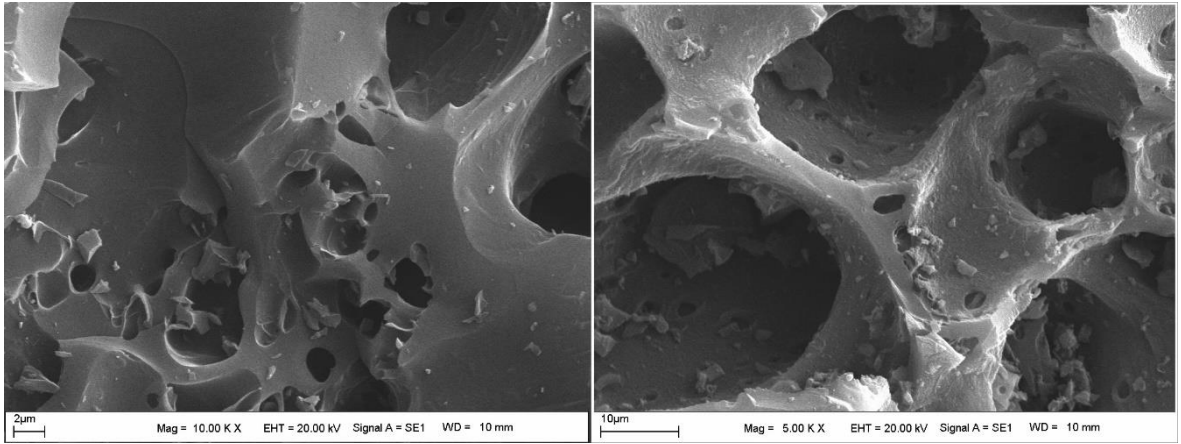
Şekil 4. 114 : T813 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



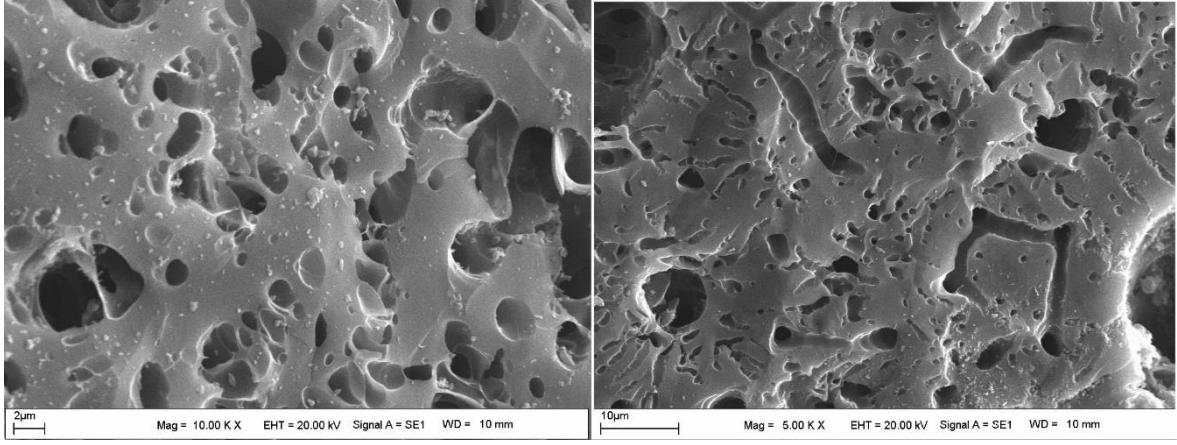
Şekil 4. 115 : T911 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



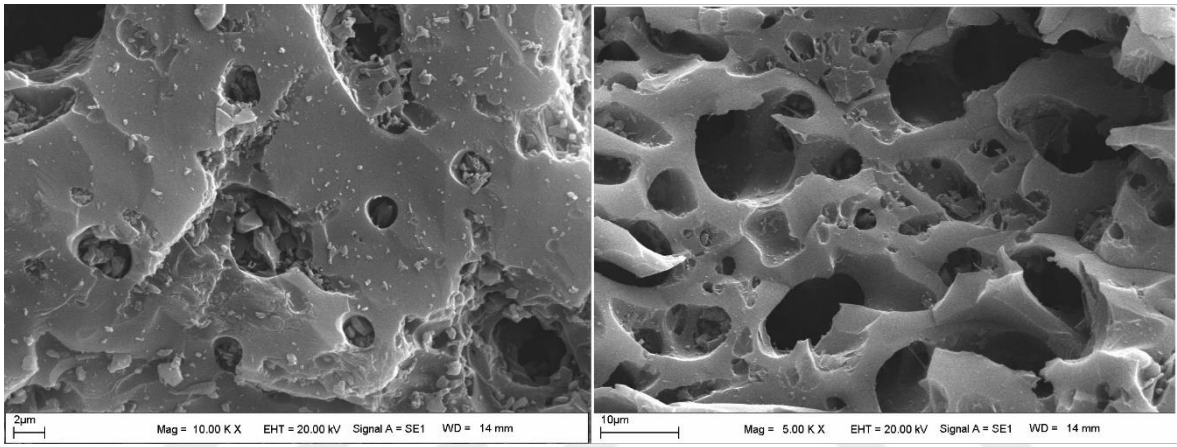
Şekil 4. 116 : T912 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



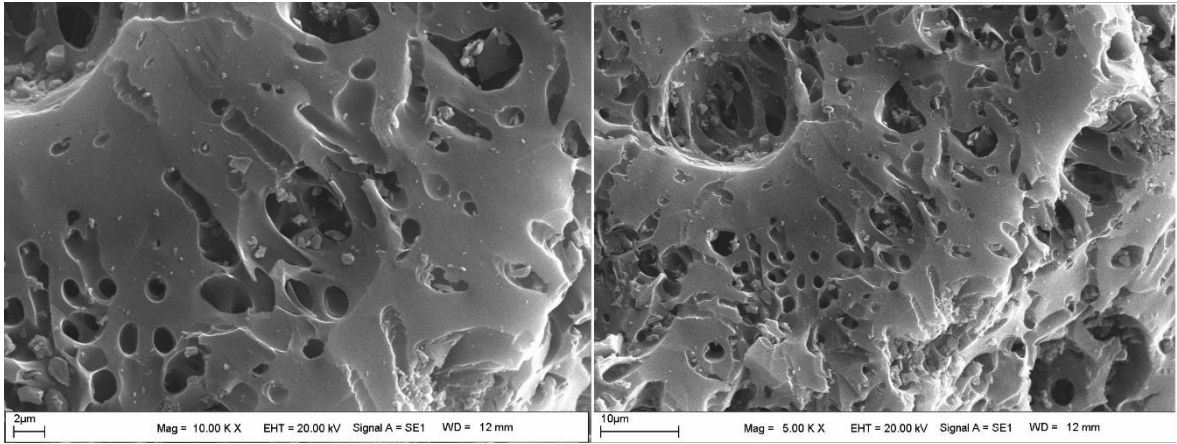
Şekil 4. 117 : T913 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



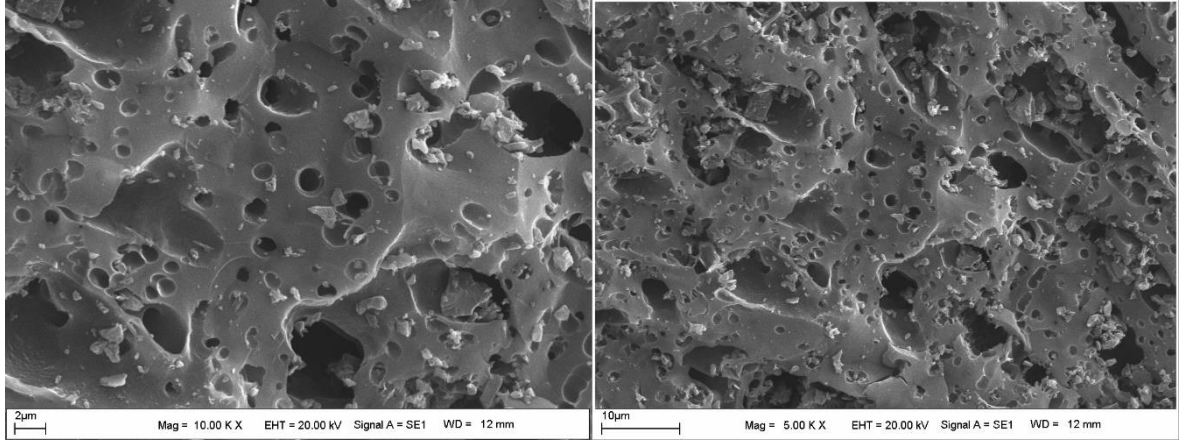
Şekil 4. 118 : T1011 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



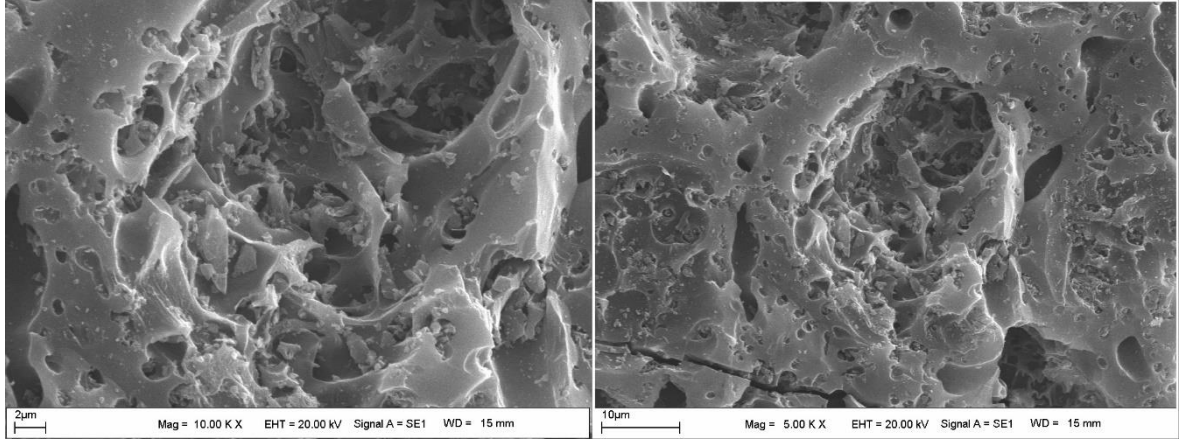
Şekil 4. 119 : T1012 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



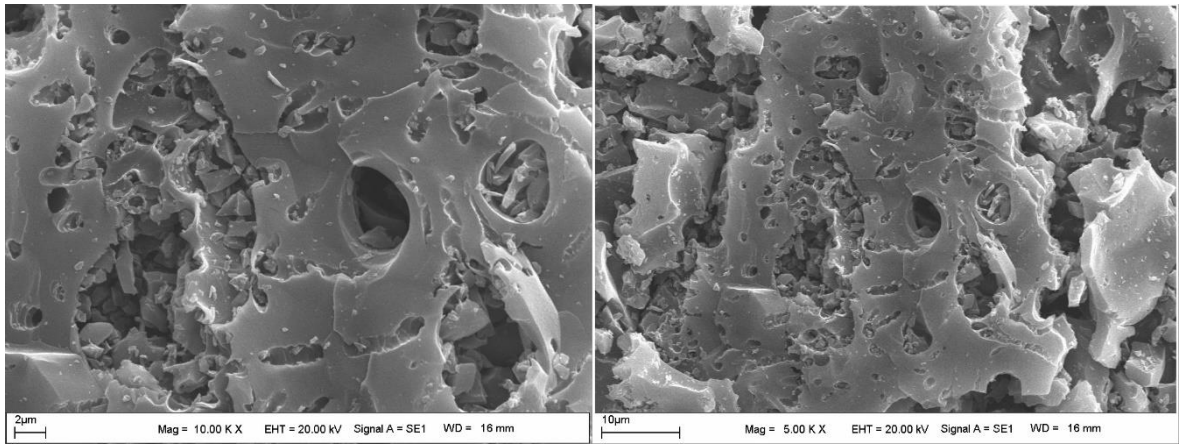
Şekil 4. 120 : T1013 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



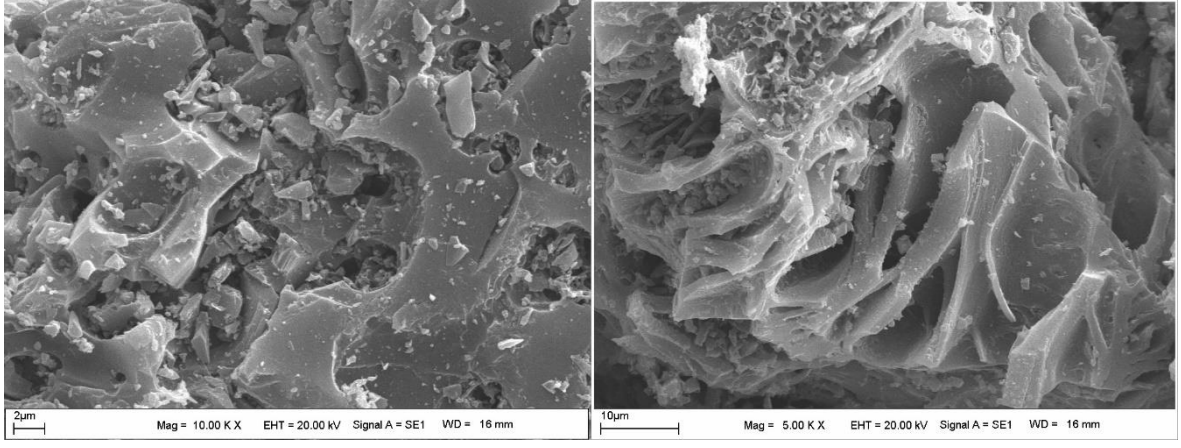
Şekil 4. 121 : T1111 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



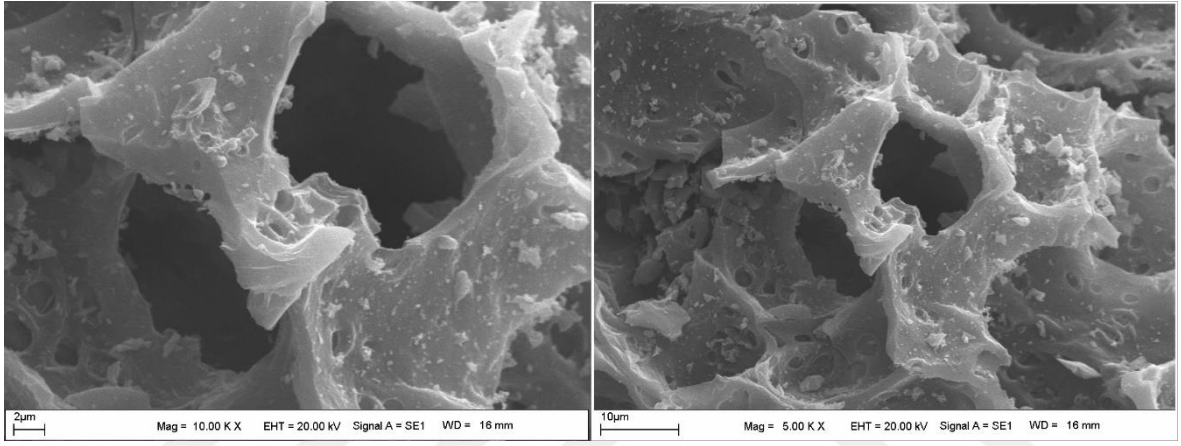
Şekil 4. 122 : T1112 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



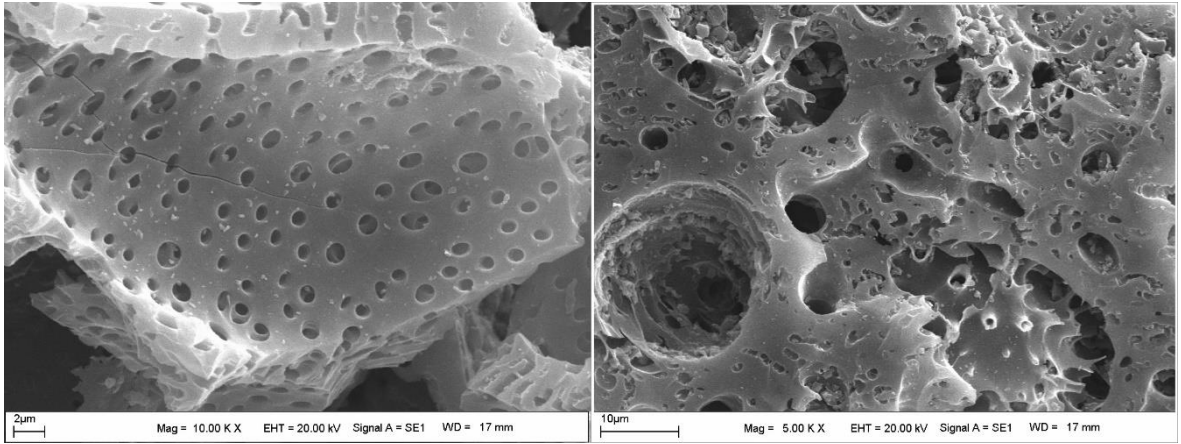
Şekil 4. 123 : T1113 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



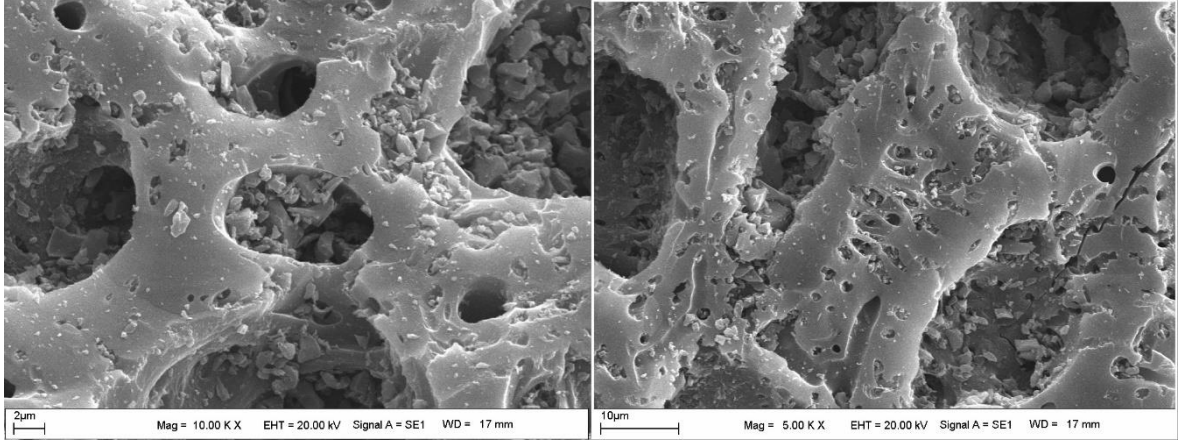
Şekil 4. 124 : T1211 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



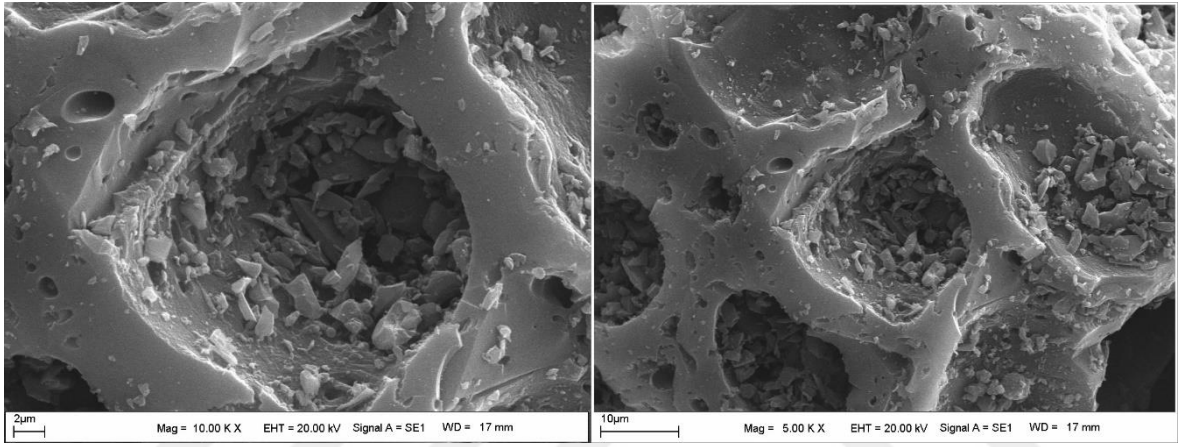
Şekil 4. 125 : T1212 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



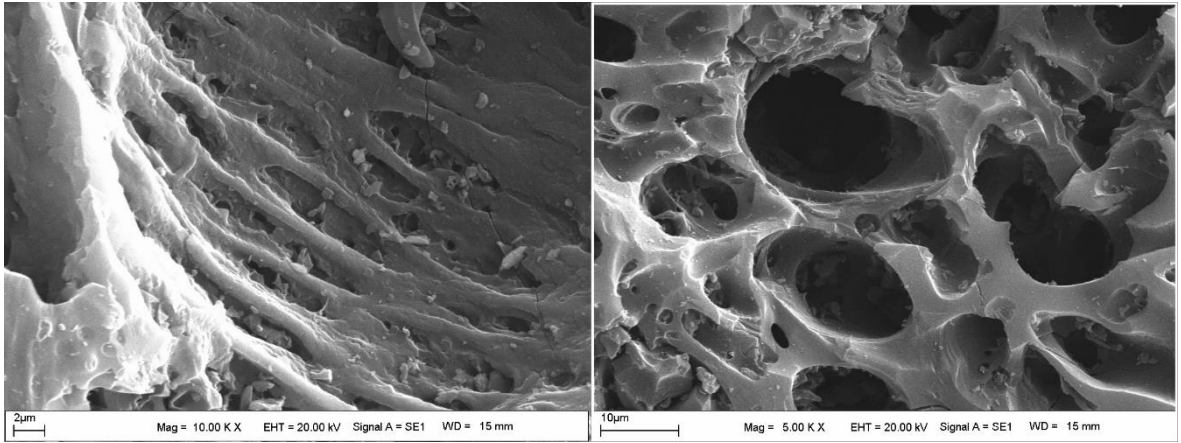
Şekil 4. 126 : T1213 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



Şekil 4. 127 : T1311 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



Şekil 4. 128 : T1312 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri



Şekil 4. 129 : T1313 aktif karbonuna ait SEM görüntüleri

4.4 Adsorpsiyon Sonuçları

4.4.1 Adsorpsiyon kapasitesi sonuçları

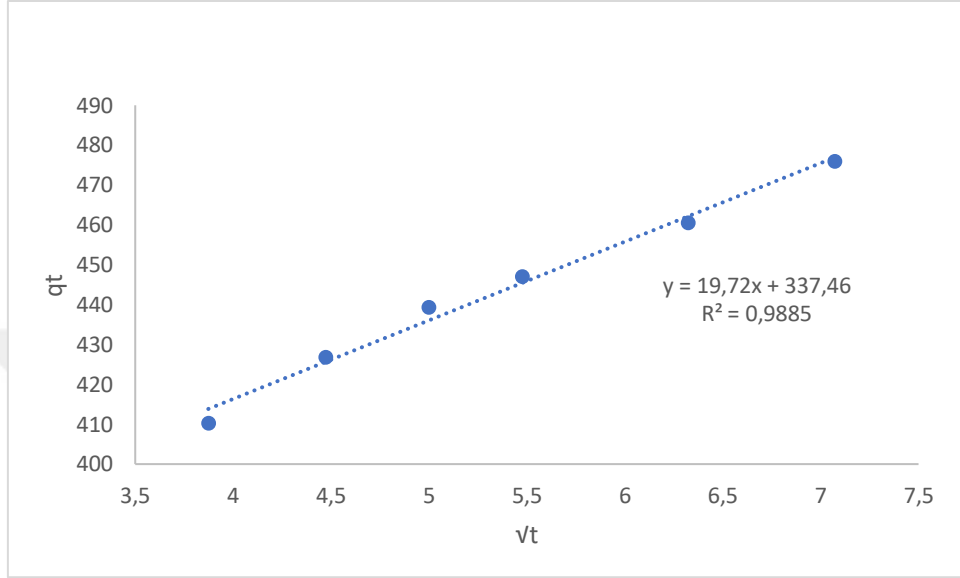
Aktif karbonlara ait, 500 ppm 100 ml metilen mavisi çözeltisi ile 0,1 g aktif karbonların 24 saat süre karıştırma sonucu çalışılan adsorpsiyon kapasitesi sonuçları Çizelge 4,10'da verilmiştir. Tüm örneklerin adsorpsiyon kapasitesi değerleri yüzey alanı sonuçları ile benzerlik göstermekle beraber mikro gözenek alanı yüksek olanlarda düşme göstermiştir. Bu durum model boya olan metilen mavisinin molekül çapı (0,84 nm) ile ilişkilidir [148,154].

Çizelge 4. 10 : Aktif karbonların adsorpsiyon kapasiteleri

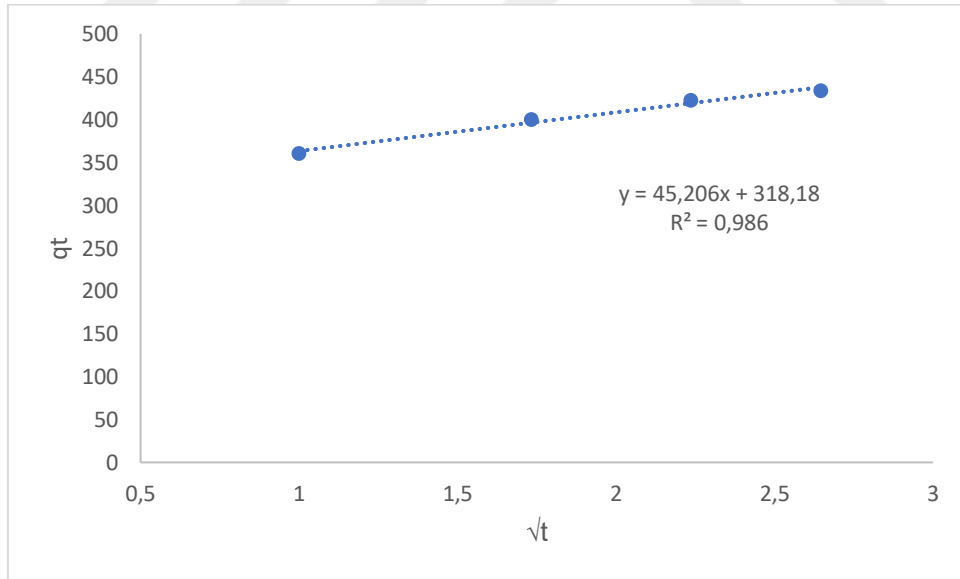
ADSORPSİYON KAPASİTELERİ	
500 ppm 100 ml 24 saat Karıştırma 0,1g Aktif Karbon	
Aktif Karbonlar	mg adsorplanan Metilen mavisi/gr adsorban
T411	87,7
T412	152,1
T413	130,0
T611	123,9
T612	471,2
T613	493,0
T711	176,5
T712	250,0
T713	432,7
T811	103,1
T812	229,3
T813	249,9
T911	96,7
T912	179,7
T913	499,7
T1011	53,9
T1012	498,2
T1013	495,8
T1111	132,9
T1112	234,8
T1113	250,0
T1211	69,2
T1212	178,5
T1213	250,0
T1311	167,7
T1312	499,8
T1313	499,9

4.4.2 Kinetik çalışmalar

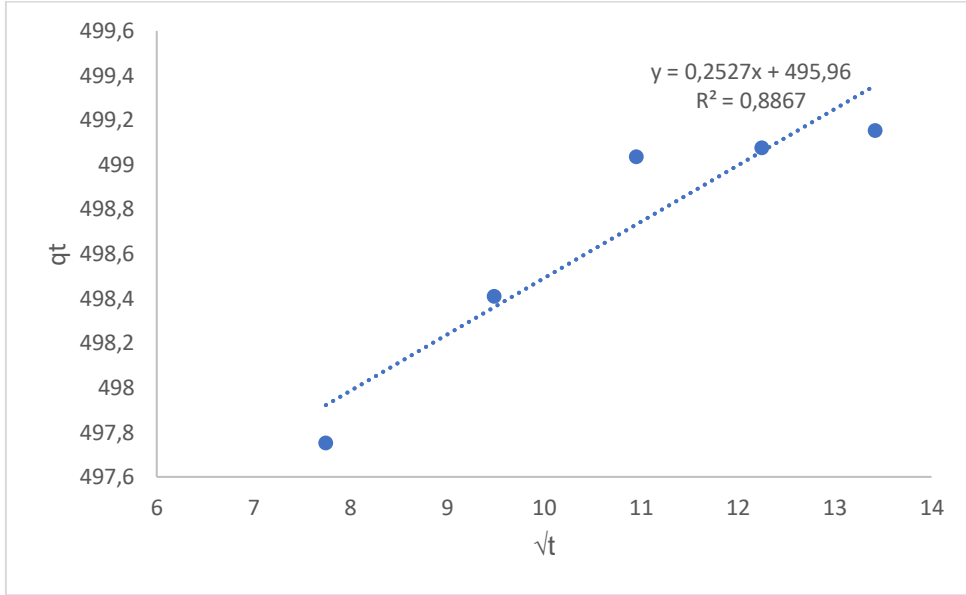
Aktif karbon numunelerinden T1313 kodlu numuneye ait metilen mavisi ile yapılan kinetik çalışmalara ait grafikler Şekil 4. 130-147' de verilmiştir. Literatürlerde yer alan kinetik ve adsorpsiyon denklemleri ile 25°C, 37°C ve 50 °C sıcaklıklarda yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar tablo halinde Çizelge 4.11' de verilmiştir.



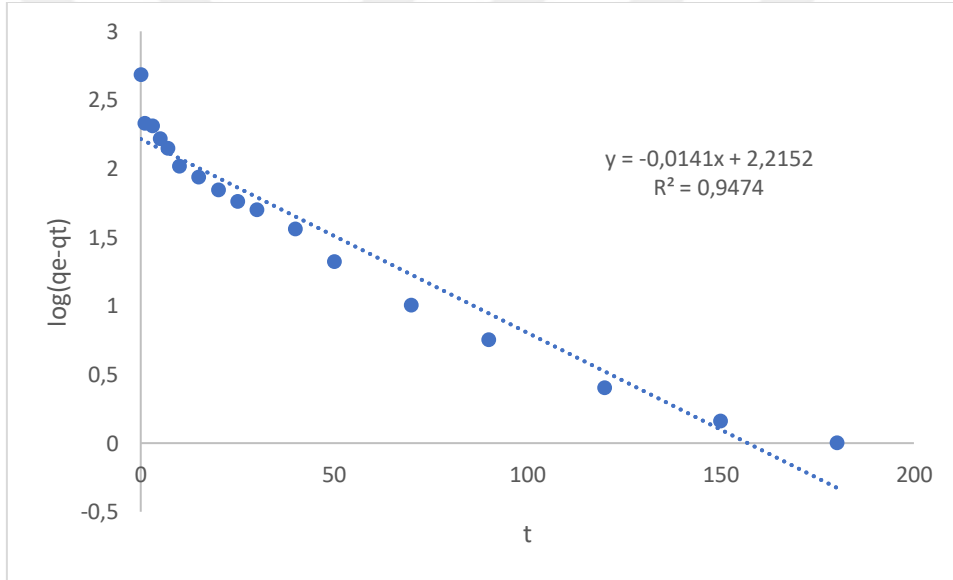
Şekil 4. 130 : 25°C için partikül içi difüzyon 2. bölge kinetik modeli grafiği



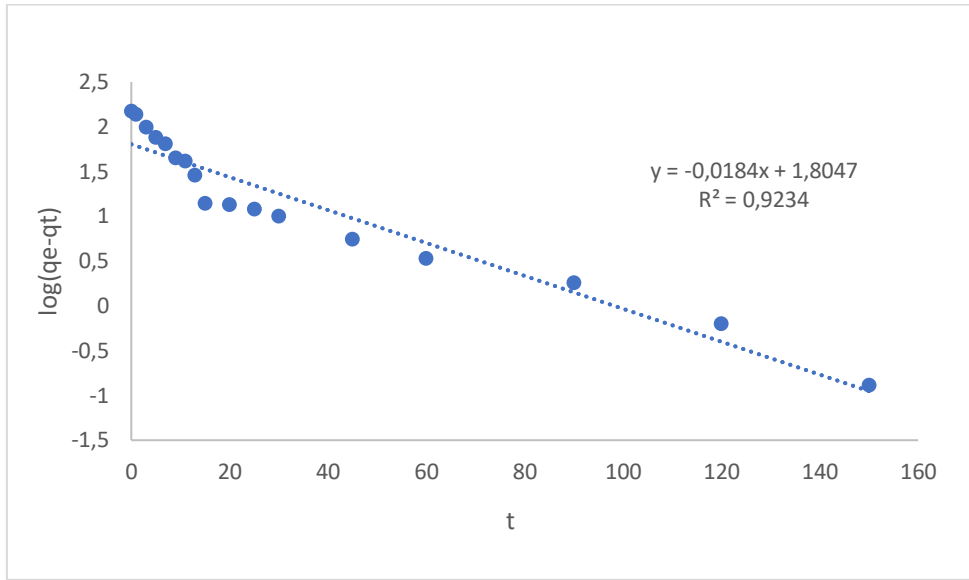
Şekil 4. 131 : 37°C için partikül içi difüzyon 1. bölge kinetik modeli grafiği



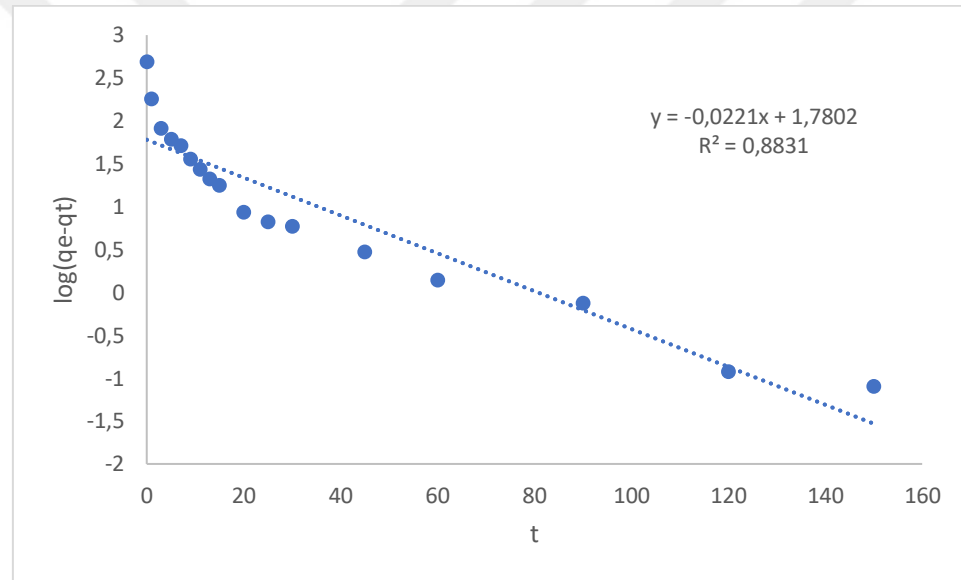
Şekil 4. 132 : 50°C için partikül içi difüzyon 3. bölge kinetik modeli grafiği



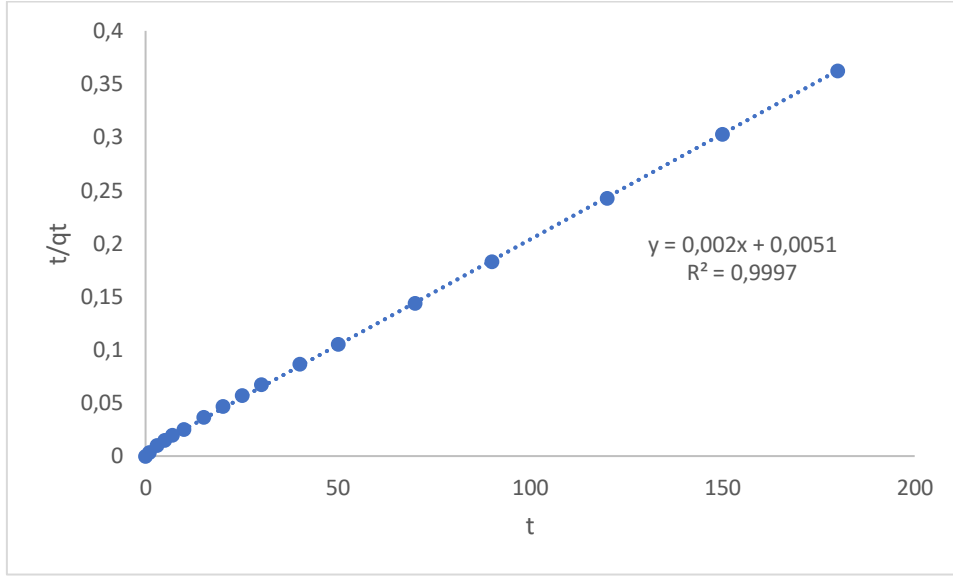
Şekil 4. 133 : 25°C yalancı birinci merteye kinetik modeli grafiği



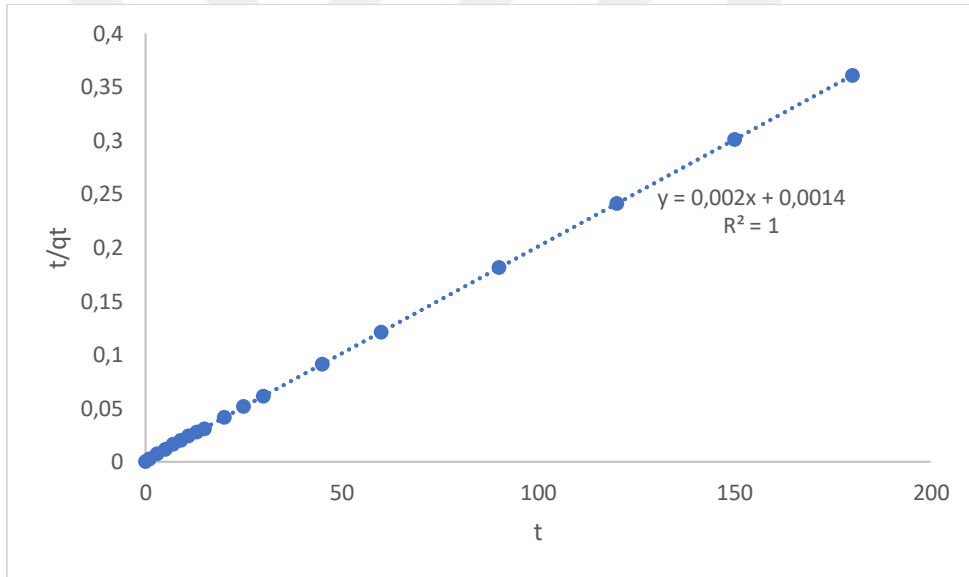
Şekil 4. 134 : 37°C yalancı birinci merteye kinetik modeli grafiği



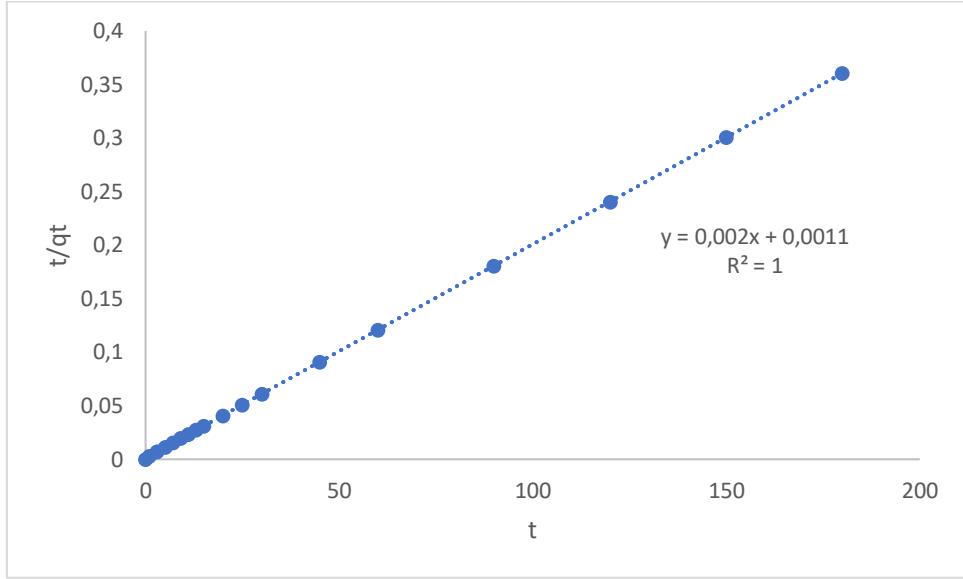
Şekil 4. 135 : 50°C yalancı birinci merteye kinetik modeli grafiği



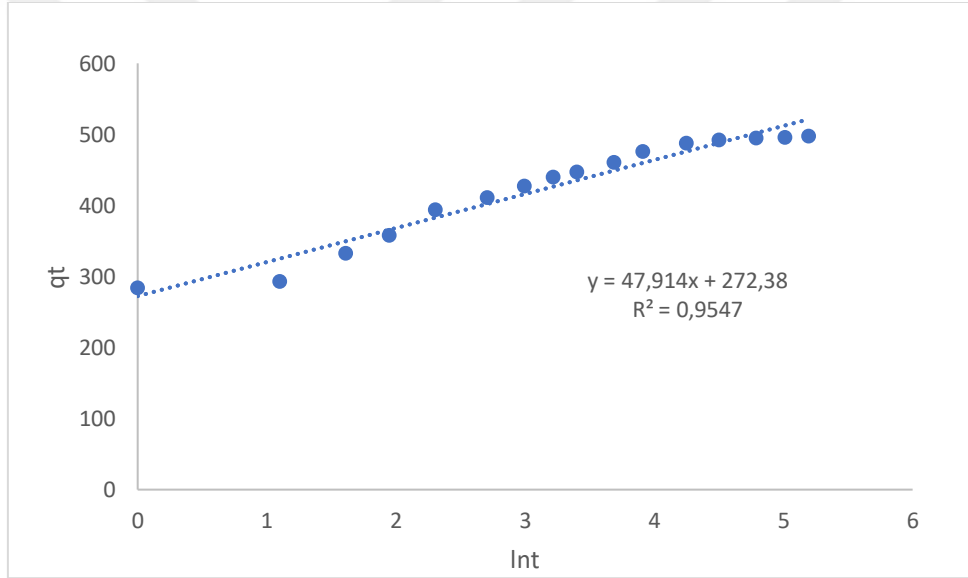
Şekil 4. 136 : 25°C yalancı ikinci mertbe kinetik modeli grafiği



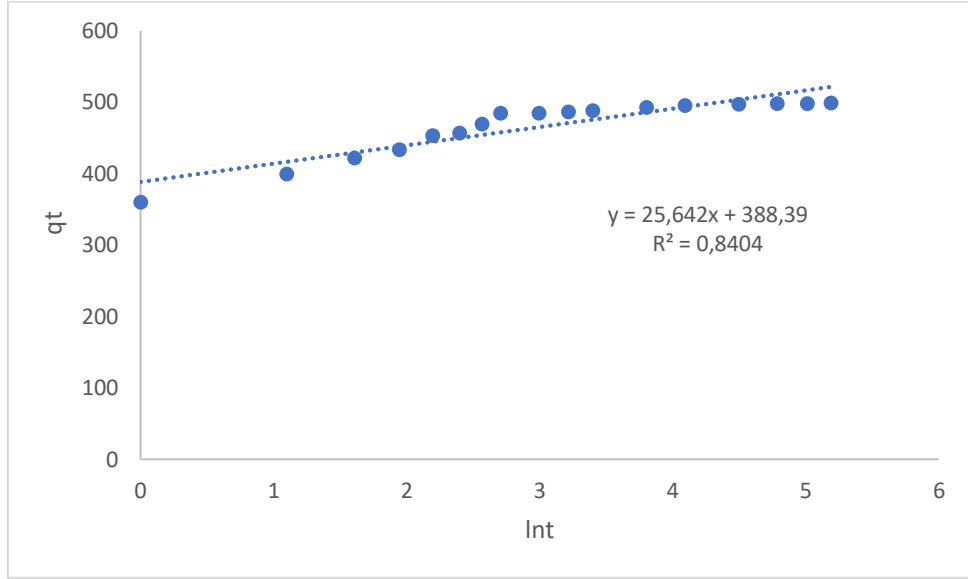
Şekil 4. 137 : 37°C yalancı ikinci mertbe kinetik modeli grafiği



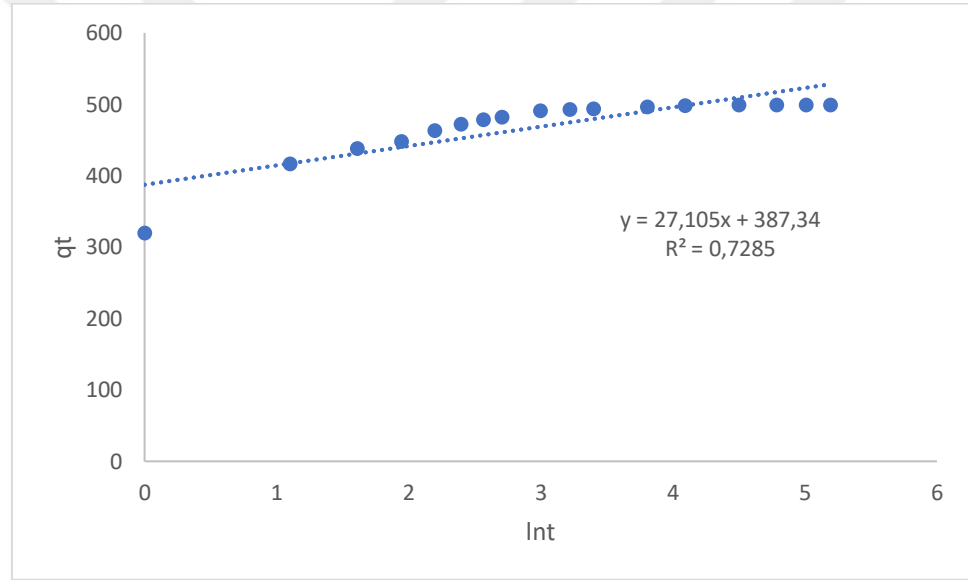
Şekil 4. 138 : 50°C yalancı ikinci merteye kinetik modeli grafiği



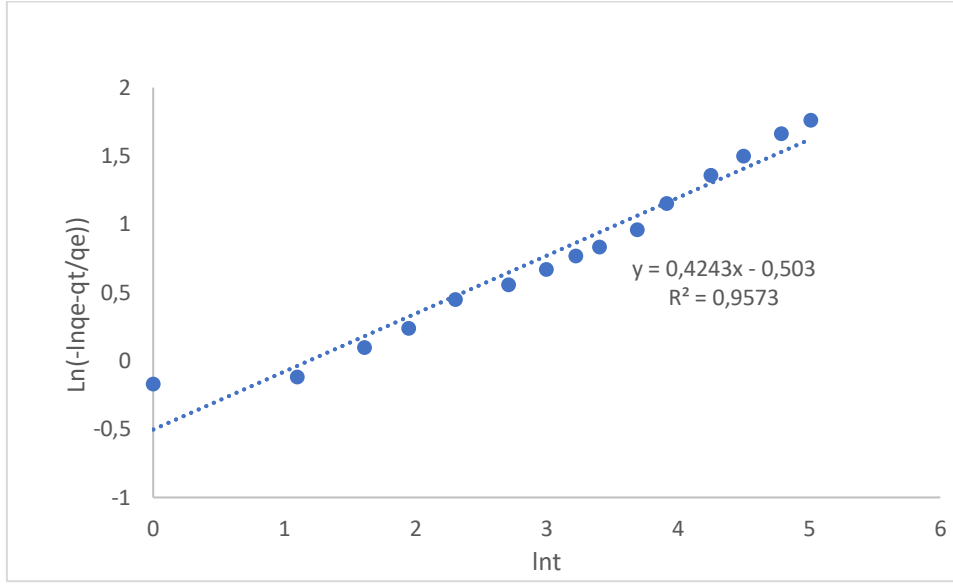
Şekil 4. 139 : 25°C Elovich kinetik modeli grafiği



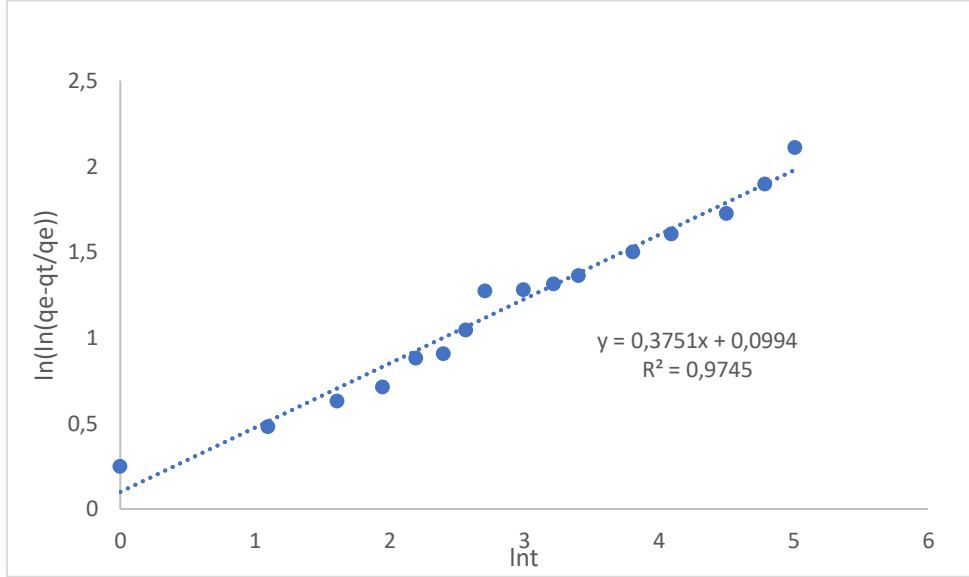
Şekil 4. 140 : 37°C Elovich kinetik modeli grafiği



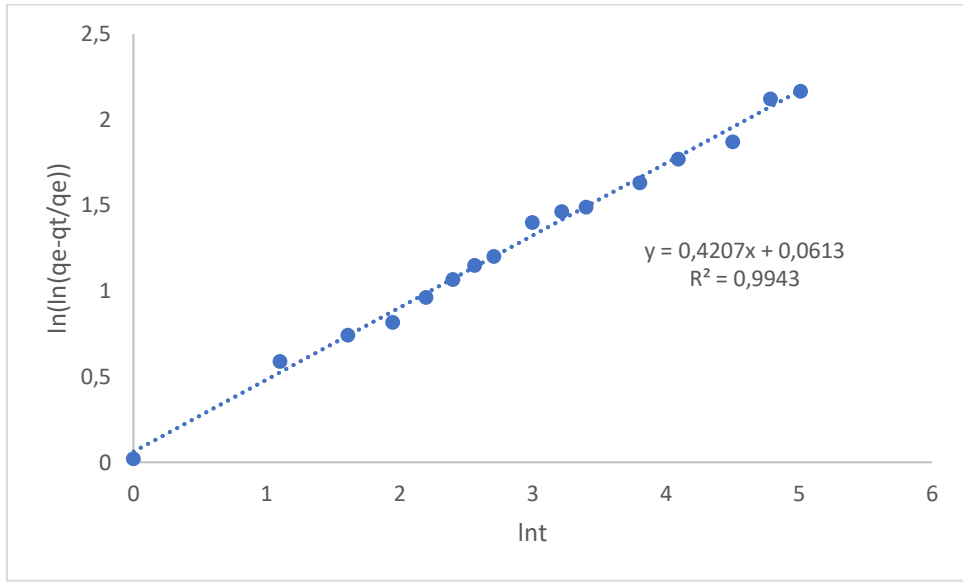
Şekil 4. 141 : 50°C Elovich kinetik modeli grafiği



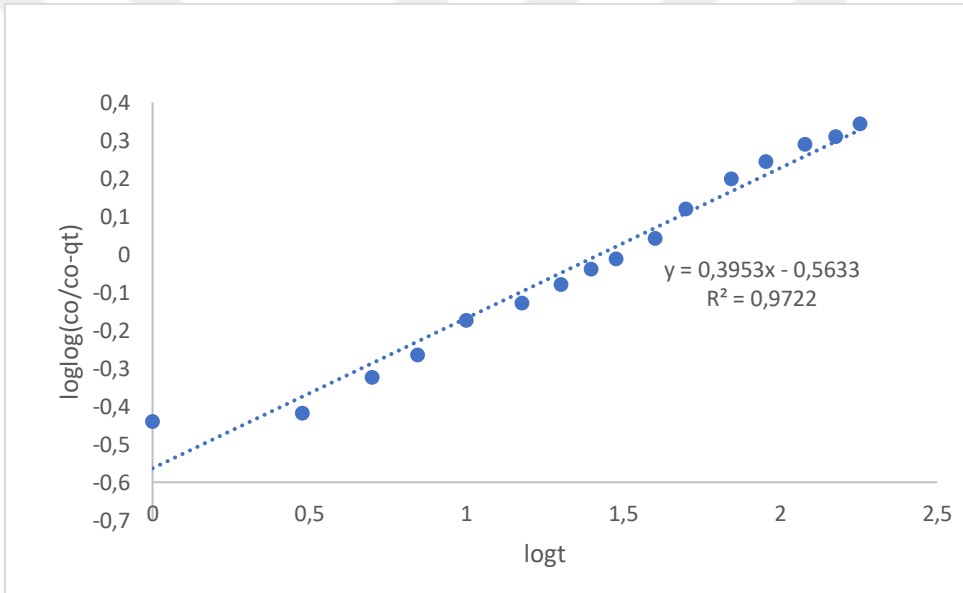
Şekil 4. 142 : 25°C Avrami kinetik modeli grafiği



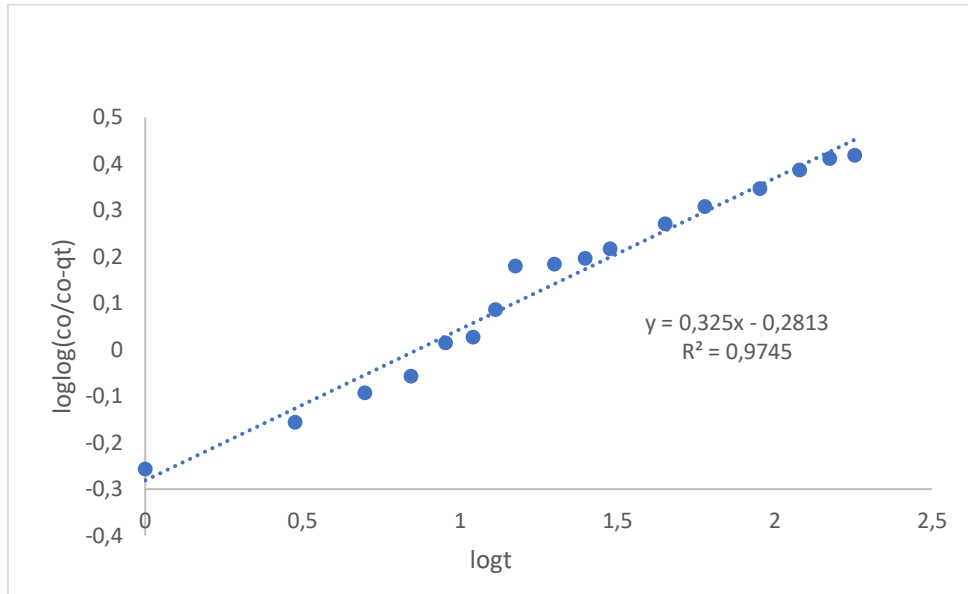
Şekil 4. 143 : 37°C Avrami kinetik modeli grafiği



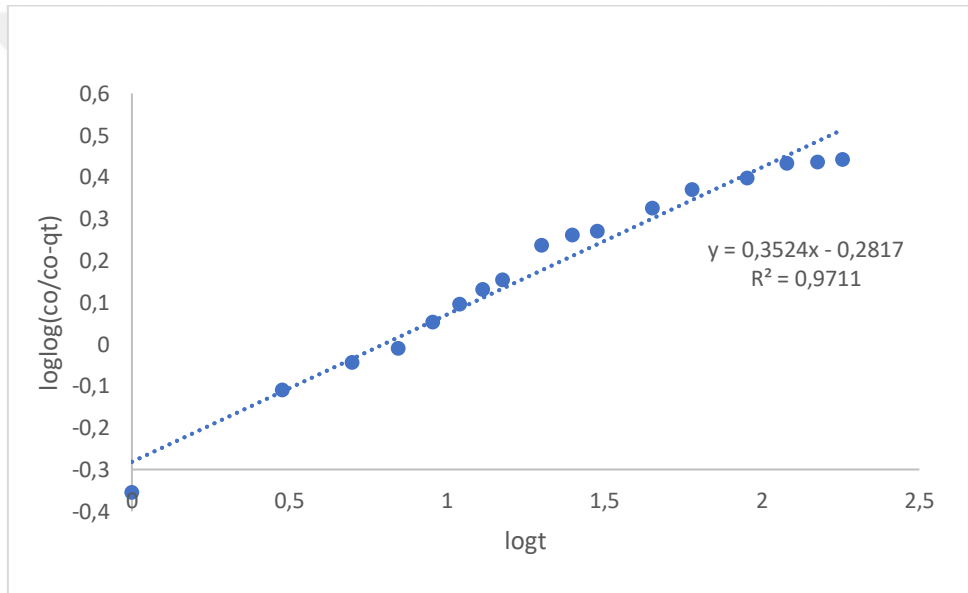
Şekil 4. 144 : 50°C Avrami kinetik modeli grafiği



Şekil 4. 145 : 25°C Bangham kinetik modeli grafiği



Şekil 4. 146 : 37°C Bangham kinetik modeli grafiği



Şekil 4. 147 : 50°C Bangham kinetik modeli grafiği

Çizelge 4. 11 : Kinetik ve adsorpsiyon denklemlerine ait sonuçlar

SABİTLER	25°C	37°C	50°C
q_e deneysel (mg/g)	447,03	485,13	493,24
PARTİKÜL İÇİ DİFÜZYON			
C (mg/g)	269,27	335,5	386,49
K_{diff} (mg/g dk ^{1/2})	34,292	37,854	24,392
R^2	0,94	0,99	0,96
YALANCI BİRİNCİ MERTEBE			
q_e hesaplanan (mg/g)	164,13	63,78	60,28
$K_1 \times 10^{-2}$ (min ⁻¹)	1,41	1,84	2,21
R^2	0,95	0,92	0,88
YALANCI İKİNCİ MERTEBE			
q_e hesaplanan (mg/g)	500	500	500
$K_2 \times 10^{-3}$ (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	0,78	2,86	3,64
R^2	1	1	1
ELOVICH			
α_{EI} (mg/g dk)	14196,5	97114731	43570726
$\beta_{EI} \times 10^3$ (g/mg)	20,9	39	36,9
R^2	0,96	0,84	0,73
AVRAMI			
n_{Av}	0,5062	0,5231	0,4584
K_{Av} (dk ⁻¹)	3,27	1,30	1,15
R^2	0,96	0,97	0,99
BANGHAM			
α	0,395	0,325	0,352
K_j (ml/(g/L))	26,59	58,61	24,10
R^2	0,97	0,97	0,97

Adsorpsiyon kinetiğine ait çalışmanın sonuçları incelendiğinde, adsorpsiyon kinetiğinin yalancı ikinci mertebeden olduğu belirlenmiş olup bu beklenen bir sonuçtur. İntrapartikül difüzyon model üç bölgeden gerçekleşmektedir. Çözeltiden adsorban yüzeyine difüzyon, adsorban yüzeyinden gözeneklere difüzyon ve eğrinin düzlendiği denge adsorpsiyonudur. Sıcaklık

arttıkça adsorban yüzeyinde sınır tabaka (film) kalınlığının arttığı belirlenmiştir. Bu durum ana çözültiden adsorban yüzeyine boya moleküllerinin çok hızlı difüze olduğu adsorban yüzeyinden gözenekli yapı düzenli olmadığı için gözeneklere difüzyonun yavaş gerçekleşmesi sonucu birikmenin olması ile açıklanabilir [113,166].

Adsorpsiyon kinetiğinin Elovich, Avrami ve Bangham modellerine de uyduğu belirlenmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Hem ayrı ayrı yapılan karbonizasyon işleminde katı, sıvı ve gaz verimleri, badem için değişkenlik göstermezken Antep fıstığı ve ceviz kabuğunda katı verimi azalmaktadır. Şeftali ve kayısı çekirdeği kabuklarında katı verimi pek fazla değişim olmamıştır. Karışım olarak karbonizasyon yapıldığında katı verimi artan sıcaklık ve ısıtma hızında katı düşmektedir.
2. Karbonizasyon sonucu katı verimi %26,40-33,00, sıvı verimi %26,90-41,30 ve gaz verimi %26,40-46,70 aralığında değişmektedir.
3. Yapısal karakterizasyonlarda (FTIR, SEM, XRD, CHNS analizleri) beklenen değişimler gözlemlenmiştir. Karbonizasyon sıcaklığı ve ısıtma hızı değiştiğinde FTIR sonuçları fonksiyonel grupların önemli ölçüde kaybolduğunu göstermiştir.
4. FTIR sonuçlarına göre ham örneklerde selülozik hidroksil ve C-O bağları için titreşim gerilmeleri açıkça görülmektedir. Karbonize örneklerde selülozik hidroksile ve C-O bağlarına için titreşim gerilmelerine ait pikler önemli ölçüde azalma göstermişlerdir. Aktif karbon örneklerinde ise KOH'in aktivasyon etkisi sonucu özellikle C-O bağına ait titreşim gerilmesine ait pik tekrar ortaya çıkmaktadır.
5. XRD sonuçlarına göre ham ve karbonize örneklerin makromoleküler yapısında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Tüm örnekler benzer (selülozik birimler) yapı gösterdiklerinden ısıtma işlem sonucu yapısal değişim de hemen hemen aynı kalmıştır. Ancak yarı amorf olan yapı daha fazla amorf yapıya dönüşmüştür. Aktif karbon örneklerinde ise KOH'in makromoleküler yapıdaki etkisi açıkça görülmektedir. Yapı büyük oranda amorf yapıya dönüşmüştür. 43 2θ'daki grafene yakın grafitik yapıya dönüşme söz konusudur.
6. SEM sonuçlarına göre ham örneklerin yapısı morfolojik olarak benzerlik göstermemektedir. Gözeneklilik çok fazla olmamakla beraber karbonize örneklerde yapı düzenlenmesine bağlı olarak yani küçük birimlerin yapıdan ayrılması sonucu gözenekliliğin arttığı görülmektedir. Aktif karbon örneklerinde ise KOH'in etkisi sonucu gözenekliliğin tüm yapıya yayıldığı ve büyük oranda homojen olduğu görülmektedir.
7. Elementel analiz sonuçlarına göre ham örneklerin karbon değerlerinin %47,37-50,45 aralığında, hidrojen değerlerinin %5,663-6,413, oksijen değerlerinin %43,80-47,73 aralığında değiştiği görülmektedir. Karbonize karışımda ise karbon %72,07-90,71, hidrojen %2,721-4,392 ve oksijen değerlerinin %10,711-24,737 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Karbonizasyon sonucu yapının karbonca zenginleştiği görülmektedir. Aktif karbonlar için karbon %50,11-86,18, hidrojen %0,208-3,420 ve oksijen değerlerinin %12,922-49,328 aralığında değiştiği belirlenmiştir.

8. KOH kullanılarak yapılan kimyasal aktivasyon sonucu elde edilen aktif karbonların yüzey alanları 394,05-1717 m²/gram aralığında olup 1717 m²/gram ile en yüksek yüzey alanına sahip T1313 kodlu aktif karbon elde edilmiştir. Tüm aktif karbon örneklerinin büyük oranda mikro gözenekli olduğu belirlenmiştir.
9. Adsorpsiyon kapasiteleri aktif karbonların yüzey alanı dağılımına uygun değerlerde elde edilmiştir. Gözenekler boyut dağılımında gözeneklerin büyük oranda mikro olmakla beraber mikroya yakın mezo gözeneklerde oluşmuştur.
10. Adsorpsiyon izotermi tüm örnekler için benzer değişim göstermiştir. Tüm izotermi Tip I'e uymaktadır.
11. Aktif karbonların karakterisyonlarında FTIR sonuçları literatür ile benzerdir. KOH'in etkileşim mekanizması dikkate alındığında oksijenli fonksiyonel grupların oluştuğu açıkça görülmektedir. XRD analizi ile aktif karbonların büyük oranda grafitik yapıda olduğu hatta grafen yapılaşmalarının mevcut olduğu belirlenmiştir.
12. Adsorpsiyon kinetiği çalışmasında adsorpsiyonun tüm sıcaklıklarda yalancı 2.mertebeden gerçekleştiği belirlenmiştir. Adsorpsiyon kinetiğinin Bangham, Avrami ve Elovich modellerine de uyduğu belirlenmiştir. İntrapartiküllü difüzyon model çalışmasında sıcaklık arttıkça sınır tabaka kalınlığının arttığı adsorpsiyonun ana çözüldüden adsorban yüzeyine difüzyon, adsorban yüzeyinden gözeneklere difüzyon ve denge basamaklarından gerçekleştiği belirlenmiştir.

Yapılan bu tez kapsamında yapacağım önerilerim;

1. Farklı biyokütleler kullanılarak yapılan bu tez çalışması kapsam olarak bilimsel literatürde ilk olup devamında çok sayıda çalışmalar yapılabilir.
2. Bu çalışmalardan en önemlisi karbonize ürün(ler) için farklı biyokütle oranlarında istatistik çalışması yapılabilir.
3. Karbonizasyon işleminde elde edilen gaz ve sıvı ürün bileşimi belirlenerek bunların kullanımı ile ilgili çok önemli veriler elde edilebilir.
4. Karışım biyokütlelerin karbonizasyonu sonucunda enerji verimliliği belirlenebilir.
5. Çıkan gazın bileşimine bağlı olarak katalizör kullanılarak farklı endüstriyel ürünlerin üretilebileceği çalışmalar yapılabilir.
6. Aktif karbonların yüzey alanını arttırmak amacıyla KOH oranı artırılarak veya farklı kimyasallar kullanılarak yeni çalışmalar yapılabilir.
7. Karbonize örneklerin üst ve alt ısıl değerleri belirlenerek katı çarın farklı kullanım alanları başta enerji üretmek için belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Obernberger, I. & Thek, G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour, *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 653-669.
- [2] Kumar, P. & Barrett, D.M. & Delwiche, M.J. & Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(8), 3713-3729.
- [3] Demirata, M. & Gün, V. (2007). Avrupa ve Türkiye'deki Biyokütle Enerjisi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 49-56.
- [4] Gürdil, G.A.K., Baz, YÖ., Demirel, Ç. & Demirel, B. (2015). Yakıt Peleti ve Briketi İçin Güncellenmiş Avrupa Birliği Standartları ve İlgili Parametreler, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 147-156.
- [5] Acaroğlu, M., Koçar, G., Eryılmaz, A., Acar, M. & Dok, M. (2015). Biyoyakıtların Türkiye'deki Durumu Geleceği ve Yasal Sorunlar, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi, (1165-1199). Türkiye: Ankara Ocak 12-16.
- [6] Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D. & Güngör, E. (2017). Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 148-160.
- [7] Aslantaş, A. (2018). Dünya'da ve Türkiye'de Biyokütle Enerjisinin Kullanımı ve Potansiyeli. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi. 490880).
- [8] Calle, F.R., Groot, P., Hemstock, S.L. & Woods, J. (2005). The Biomass Assessment Handbook Bioenergy for a Sustainable Environment (1th Edition., 1-292). United Kingdom, London.
- [9] Bhattacharya, S.C., Abdul Salam, P. & Sharma, M. (2000). Emissions from biomass energy use in some selected Asian countries, *Energy*, 25(2), 169-188.
- [10] Garcia- Perez, M., Chaala, A., Yang, J. & Roy, C. (2001). Co-pyrolysis of sugarcane bagasse with petroleum residue. Part 1: Thermogravimetric Analysis, *Fuel*, 80(9), 1245-1258.
- [11] Demirbaş, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(2), 219-230.
- [12] Saxena, R.C., Goyal, H.B. & Diptendu S. (2008). Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 12(2), 504-517.
- [13] Schobert, H.H. & Song, C. (2002). Chemicals and Materials From Coal in The 21st Century, *Fuel*, 81(1), 15-32.

- [14] Demirbaş, A. (2006). Turkey' s renewable energy facilities in the near future, *Energy Sources - Part A.*, 28, 527-536.
- [15] Thomas, S. & John, M.J. (2008). Biofibres and biocomposites, *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 343-364.
- [16] Bridgwater, T. & Peacocke, G.V.C. (2000). Fast Pyrolysis Processes for Biomass, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 4(1), 1-73.
- [17] Karaca, F. & Bolat, E. (2000). Coprocessing of a Turkish lignite with a cellulosic waste material, *Fuel Processing Technology*, 64(1-3), 47-55.
- [18] Tomoaki M., Teruo K.& Soetrisno T. S. (1998). Thermochemical Liquefaction of Indonesian Biomass Residues, *Biomass and Bioenergy*, 14(5-6), 517-524.
- [19] Komor, P. & Bazilian, M. (2004). Renewable energy policy goals, programs, and Technologies, *Energy Policy*, 33(14), 1873-1881.
- [20] Tan, L.L. & Li, C. Z. (2000). Formation of NO_x and SO_x precursors during the pyrolysis of coal and biomass. Part III. Further discussion on the formation of HCN and NH₃ during pyrolysis, *Fuel*, 79(15), 1899-1906.
- [21] Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K. & Vassileva, C.G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass, *Fuel*, 89, 913-933.
- [22] Küçük, İlhan. (2019). Farklı biyokütlelerden karbondioksit kullanılarak karbon moleküler elek özelliğinde aktif karbon üretimi ve uygulamaları. (Doktora Tezi). (Ulusal Tez Merkezi. 539409).
- [23] White, L.P. & Plaskett, L.G. (1981). Biomass as fuel. UK, London.
- [24] Açıkalın, K. (2003). Biyokütle Atık Maddelerin Sıvılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi) (Ulusal Tez Merkezi. 139829).
- [25] Garcia, R., Pizarro, C., Lavin, A.G. & Bueno J.L. (2014). Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data, *Fuel*, 117(Part B), 1139-1147.
- [26] Okutucu, Ç., Duman, G., Ucar, S., Yasa, I. & Yanik, J. (2011). Production of fungicidal oil and activated carbon from pistachio Shell, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 91, 140-146.
- [27] Ganesh, A. & Banerjee, R. (2001). Biomass pyrolysis for power generation -a potential technology, *Renewable Energy*, 22(1-3), 9-14.
- [28] Chichester, C.O. & Schweigert, B.S. (1988). Advances in Food Research. ABD, California.
- [29] Özçimen, D. & Ersoy- Meriçboyu, A. (2008). A study on the carbonization of grapeseed and chestnut Shell, *Fuel Processing Technology*, 89(11), 1041-1046.

- [30] Klass, D.L. (1998). Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. The Netherlands.
- [31] Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals, *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1357-1378.
- [32] Reijnders, L. & Huijbregts, M. (2009). Biofuels for Road Transport: A Seed to Wheel Perspective (Green Energy and Technology) 2009th Edition. Germany.
- [33] Sims, R.E.H., Guo, L.B. & Horne, D.J. (2002). Biomass production and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand. I: biomass and nutrient accumulation, *Bioresource Technology*, 85 (3) 273–283.
- [34] Açıklan, Korkut. (2010). Çeşitli Biyokütle Atık Maddelerin Pirolyzi ve Elde Edilen Ürünlerin Analizi. (Doktora Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 296930).
- [35] Reina, J., Velo, E. & Puigjaner, L. (1998). Thermogravimetric study of the pyrolysis of waste wood, *Thermochimica Acta*, 320(1-2), 161-167.
- [36] Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D. & Güngör, E. (2017). Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 148-160.
- [37] <https://www.tarimorman.gov.tr-Kayısı Değerlendirme Raporu.2018>.
- [38] <http://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2020>
- [39] <https://www.tuik.gov.tr/2020>
- [40] Silem, A., Gunter, H.O., Einfeldt, J. & Boualia, A. (2006). The occurrence of mass transport processes during the leaching of amygdalin from bitter apricot kernels: detoxification and flavour improvement, *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 201-213.
- [41] Durmaz, Gökhan. (2008). Kayısı Çekirdeği Yağının Oksidatif Stabilitesi ve Antioksidan Özelliklerinin Araştırılması. (Doktora Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 232338).
- [42] <https://www.atlasbig.com/tr.2018-2020>.
- [43] Küçük, Onur. (2015). Bazı Şeftali (*Prunus persica*) Çeşitlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 398720).
- [44] <http://www.fao.org/faostat/en.2016-2018>.
- [45] Yaman, K. (2012). Bitkisel Atıkların Değerlendirilmesi ve Ekonomik Önemi Kastamonu Üniversitesi, *Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2), 339-348.
- [46] <https://www.nutfruit.org>. Uluslararası Sert Kabuklu ve Kuru Meyve Konseyi – INC 2016 verileri.
- [47] Razavi, S.M.A., Rafe, A., Moammadi Moghaddam, T. & Mohammad Amini, A. (2007). The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety, Part II, Gravimetric properties, *Journal of Food Engineering*, 81(1), 218-225.

- [48] Tsantili, E., Takidelli, C., Christopoulos, M.V., Lambrinea, E., Rouskas, D. & Roussos, P.A. (2010). Physical, compositional and sensory differences in nuts among pistachio (*Pistachia vera* L.) varieties, *Scientia Horticulturae*, 125(4), 562-568.
- [49] <http://www.fao.org/faostat/> 29.05.2020.
- [50] <https://adana.tarimorman.gov.tr/> 2020.
- [51] Beyhan, N. (2020). Bahçe Bitkileri, Sert Kabuklu Meyveler Badem Yetiştiriciliği ve Islahı, Turkey, Samsun.
- [52] İllez, B. (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü, Türkiye de Biyokütle Enerjisi. Turkey, Ankara.
- [53] <https://biyoenerjidergisi.com/2020>.
- [54] Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. & Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, *Engineer and Machinery*, 59(692), 86-114.
- [55] <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.
- [56] <https://www.iea.org/data-and-statistics>, Erişim tarihi: 03.03.2020.
- [57] http://acikerisim.lib.comu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/COMU/659/Gokhan_Agac_bicer_Tez.pdf?sequence=1s, 06.01.2021.
- [58] Bayraç, H.N. & Özarslan, B. (2018). Biyokütle Enerjisi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Ampirik Bir Analizi: Türkiye Örneği, *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(17), 2146-1406.
- [59] Ünal, H. (2005). Türkiye'deki Ceviz Artıklarının Enerji Potansiyeli Ve Değerlendirme Olanakları, *Bahçe Ceviz*, 34(1), 205-215.
- [60] Taner, F., Ardic, I., Halisdemir, B. & Pehlivan, E. (2004). Biomass use and potential in Turkey. Biomass and Agriculture: Sustainability, Markets and Policies. Turkey. Mersin.
- [61] Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 97-125.
- [62] Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y. & Kurt, R. (2011). Biyokütlenin Türkiye'de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (19) 63-75.
- [63] Carrott, P.J.M. & Carrott, M.M.L. (2007). Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: A review, *Bioresource Technology*, 98(12), 2301-2312.
- [64] Moreno-Castilla, C., Rivera-Utrilla, J., Baçaoui, A., Yaacoubi, A., Dahbi, A., Bennouna, C., Phan Tan Luu, R., Maldonado-Hodar, F.J. (2001). Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes, *Carbon*, 39(3), 425-432.
- [65] Şamdan, Canan. (2019). Tarımsal Atıktan (Şeftali Çekirdeği) Üretilen Modifiye Aktif Karbonun Adsorpsiyon Prosesindeki Etkinliğinin Araştırılması. (Doktora Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 561821).

- [66] Güngör, Senem. (2013). Tarımsal Atıklardan Aktif Karbon Üretimi. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 352243).
- [67] Kılıçer, Tuğba. (2006). Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi atık suyunun aktif karbon, zeolit ve ozon kullanılarak arıtımının incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 181615)
- [68] Wender, I. (1996). Reactions of synthesis gas, *Fuel Processing Technology*, 48(3),189-297.
- [69] Patrick, J. W., Streat, M. & Camporro, P. (1995). Sorption of Phenol and Para-Chlorophenol from Water Using Conventional and Novel Activated Carbons, *Water Research*, 29(2), 467-472.
- [70] Michael G.L., Shull, J.C. & Miller, D.J. (1994). Activated carbon from cherry stones, *Carbon*, 32(8), 1994, 1493-1498.
- [71] Snell, W. (1973). Collective Bargaining-Its Impact on the Management Function, *Journal AWWA*, 65 (1), 40-45.
- [72] Akyıldız, Hanife. (2007). H₃PO₄ Aktivasyonu ile Zeytin Çekirdeğinden Aktif Karbon Üretimi. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 222335).
- [73] Attia, A.A., Girgis, B.S. & Fathy, N.A. (2008). Removal of methylene blue by carbons derived from peach stones by H₃PO₄ activation: Batch and column studies, *Dyes and Pigments*, 76(1), 282-289.
- [74] Girgis, B.S., Attia, A.A. & Farth, N.A. (2007). Modification in adsorption characteristics of activated carbon produced by H₃PO₄ under flowing gases, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 299 (1-3) 79–87.
- [75] Galiatsatou, P., Metaxas, M. & Rigopouou, V.K. (2001). Mesoporous Activated Carbon from Agricultural Byproducts, *Mikrochimica Acta*, 136, 147-152.
- [76] Orbak, İlkün. (2002). Tunçbilek Linyitinden Kimyasal Aktivasyon Yöntemi ile Aktif Karbon Üretimi. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 127131).
- [77] Avcı, Aslı Özge. (2008). Kayısı Çekirdeğinden Üretilen Aktif Karbon ile Sulu Çözeltilerden Krom (VI) Giderimi. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 238993).
- [78] Manocha, S.M. (2003). Porous carbons, *Sadhana*, 28(1), 335-348.
- [79] Dias, J.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., Almeida, M.F., Rivera-Utrilla, J.R. & Sanchez-Polo, M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review, *Journal of Environmental Management*, 85 (4) 833-846.
- [80] Grayson, L.P. (1978). Education, technology, and individual privacy, *Educational Communication & Technology Journal*, 26(3), 195-206.

- [81] Kroschwitz J.I. (1992). *Polymers: Biomaterials and Medical Applications*, Encyclopedia reprint series, Wiley, New York.
- [82] Bansal R. C., Donnet J. B. & Stoeckli F., (1988). *Active Carbon*, Marcel Dekker, Inc. New York.
- [83] Hassler, R.R. & Sanders, H.L. (1967). Faunal diversity in the deep-sea, *Deep Sea Research and Oceanographic*, 14(1), 65-70.
- [84] Gerhartz, H.H. & Wolfgang, W. (1986). Cloning of early/erythroid and mixed myeloid/erythroid human bone marrow progenitor cells: Comparison of different sources of burst-promoting activity (BPA), *The International Journal of Cell Cloning*, 4(6). 424-431.
- [85] Aygün, A., Yenisoy-Karakaş, S. & Duman, I. (2003). Production of granular activated carbon from fruit Stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties, *Microporous and Mesoporous Materials*, 66(2-3), 189–195.
- [86] Massovera, W.M. & Marsha, P. (1997). Unconventional negative stains: Heavy metals are not required for negative staining, *Ultramicroscopy*, 69 (2), 139-150.
- [87] Gomez-Serrano, V., Macias-Garcia A., Espinosa-Mansilla, A. & Valenzuela-Calahorro, C. (1988). Adsorption of Mercury, Cadmium and Lead from Aqueous Solution on Heat-Treated and Sulphurized Activated Carbon, *Water Research*, 32(1), 1-4.
- [88] Schormüller, J. (1957). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Germany.
- [89] Oğuz. Ahmet. (2013). *Harran Ovasında Yaygın Olarak Üretilen Pamuk ve Mısır Sapından Aktif Karbon Üretilmesi- (Yüksek Lisans Tezi)*. (Ulusal Tez Merkezi 343264).
- [90] Mohamad Nor, N., Chung, LL., Teong, LK. & Mohamed, A.R. (2013). Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control-a review, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1, 658-666.
- [91] El-Raie, A.E.S., Abdelbary, K.M., Ismail, N. K. & Amer, M.A. (2016). Production of activated carbon from agricultural residues, *International Journal Of ChemTech Research*, 9(8) 62-69.
- [92] Akçakal, Özlem. (2017). *Badem kabuğu ile kayısı ve şeftali çekirdeğinden hazırlanan ligno-selülozik karışımdan kimyasal aktivasyonla aktif karbon eldesi. (Yüksek Lisans Tezi)*. (Ulusal Tez Merkezi 463072).
- [93] Yahya, M.A., Al-Qodah, Z. & C Zanariah Ngah, W. (2015). Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 218–235.
- [94] Girgis, B.S., Yunis, S.S. & Soliman, A.M. (2002). Characteristics of activated carbon from peanut hulls in relation to conditions of preparation, *Materials Letters*, 57(1), 164-72.

- [95] Kwiatkowski, J.F. (2011). Activated Carbon Classification, Properties And Applications. New York.
- [96] <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/activated-carbon-market,2019>.
- [97] WEBER, W.J.R. (1972). Physicochemical Processes for Water Quality Control. ABD.
- [98] Metin, Nilüfer. (2010). Akrilik Asitli Poliester Reçinesi Üzerine Sulu Çözeltilerden U(VI) İyonlarının Adsorpsiyonu. (Yüksek Lisans Tezi) (Ulusal Tez Merkezi 282749).
- [99] Orbak, İlkün. (2009). Aktif Karbon ile Çevre Kirlenici Bazı Unsurların Giderilmesi. (Doktora Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 252372).
- [100] Özvardarlı, Ayşenur. (2006). Çevre Biyoteknolojisi Uygulamalarında Biyosorpsiyonun Yeri. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 183864).
- [101] Metin, Nilüfer. (2010). Akrilik Asitli Poliester Reçinesi Üzerine Sulu Çözeltilerden U(VI) İyonlarının Adsorpsiyonu. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 282749).
- [102] Erkmen, J., Kavci, E. & Adigüzel, M. (2019). Üretim Planlaması Yapılarak Su Bazlı Boyaların Üretimi Esnasında Oluşan Su Kirliliğinin ve Boya Kaybının Önlenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 57-65,
- [103] Kömüroğlu, A.U., Alacabey, I., Atasoy, N. & Üçler, R. (2006). Determination of Hair and Serum Metal Levels in Petrol Station Workers, *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 47(2), 171 – 176.
- [104] Kılıç, Fatih. (2014). Tarımsal Atık ile Adsorpsiyonda Optimum Koşulların Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 367598).
- [105] Ustabaş, Erdal. (2016). İşlenmiş ve Demlenen Atık Çaydan Elde Edilen Aktif Karbonun Tekstil Boyar Maddesi Metilen Mavisini Adsorplama Özellikleri. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 423847).
- [106] Güneş, Sinem. (2016). Portakal Küspesinden Üretilen Aktif Karbonun Sulu Çözeltilerden Raktif Boyar Madde Adsorpsiyonunda Kullanımı. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi 434017).
- [107] Dias, J.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., Almeida, M.F., Rivera-Utrilla, J. & Sanchez- Polo, M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review, *Journal of Environmental Management*, 85(4), 833-846.
- [108] Han, R., Zhang, J., Zou, W., Shi, J. & Liu, H. (2005). Equilibrium biosorption isotherm for lead ion of chaff, *Journal of Hazardous Materials*, 125(1-3), 266–271.
- [109] Guzey, D., Özdemir, M., Seyhan, FG., Doğan, H. & Devres, YO. (2001). Adsorption isotherms of raw and roasted hazelnuts, *Drying Technology*, 19(3-4), 691-699.

- [110] Wang, R.C., Kuo, C.C. & Shyu, C.C. (1997). Adsorption of Phenols onto Granular Activated Carbon in a Liquid–Solid Fluidized Bed, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 68(2), 187-194.
- [111] Aksu, Z. & Tunç, Ö. (2005). Application of biosorption for penicillin G removal: comparison with activated carbon, *Process Biochemistry*, 40(2), 831–847.
- [112] Karaca, S., Gurses, A., Ejder, M. & Acıkyıldız, M. (2006). Adsorptive Removal of Phosphate from Aqueous Solutions Using Raw and Calcinated Dolomite, *Journal Hazardous Material*, 128(2-3):273-9.
- [113] Akmil-Basar, C. (2006). Applicability of the various adsorption models of three dyes adsorption onto activated carbon prepared waste apricot, *Journal of Hazardous Materials*, 135(1-3), 232–241.
- [114] Bansal, R.C. & Goyal, M. (2005). Activated carbon adsorption, England.
- [115] Keller, U. & Staudt, R. (2005), Gas Adsorption Equilibria: Experimental Methods and Adsorptive Isotherms, Germany.
- [116] Satayeva A.R., Howell C.A., Korobeinyka A.V., Jandosov J., Inglezakis V.J., Mansurov Z.A. & Mikhalovsky, V.S. (2018) Investigation of rice husk derived activated carbon for removal of nitrate contamination from water, *Science of The Total Environment*, 630, 1237-1245.
- [117] Khalfaoui M., Knani S., Hachicha M.A. & BenLamine A. (2003) New theoretical expressions for the five adsorption type isotherms classified by BET based on statistical physics treatment, *Journal of Colloid and Interface Science*, 263(2), 350-356.
- [118] Sultan, T., Rahman, R., Hamdan, S., Hossen, F. & Mazlan, A.B. (2018). Improved Interfacial Interaction between Wood and Styrene with the Help of Organically Modified Nanoclay, *Bioresources*, 13(4), 8100-8112.
- [119] El-Alouani, M., Alehyen, S., El-Achouri, M. & Taibi, M. (2019). Comparative study of the adsorption of micropollutant contained in aqueous phase using coal fly ash and activated coal fly ash: Kinetic and isotherm studies, *Chemical Data Collections*, 23, 100265.
- [120] Qu, J., Liu, Y., Jiang, Z., Zhang, G., Deng, F., Wang, L., Han, W. & Zhang, Y. (2021). Green synthesis of hydrophilic activated carbon supported sulfide nZVI for enhanced Pb(II) scavenging from water: Characterization, kinetics, isotherms and mechanisms, *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123607.
- [121] Kong, L. & Adidharma, H. (2019). A new adsorption model based on generalized van der Waals partition function for the description of all types of adsorption isotherms, *Chemical Engineering Journal*, 375, 122112.

- [122] Swenson, H. & Stadie, N.P. (2019). Langmuir's Theory of Adsorption: A Centennial Review, *Langmuir*, 35, 5409-5426.
- [123] Ayawei, N., Ebelegi, A.N. & Wankasi, D. (2017). Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms, *Hindawi Journal of Chemistry*, 2017, 11.
- [124] Al-Ghouti, M.A. & Razavi, M.M. (2020). Water reuse: Brackish water desalination using *Prosopis juliflora*, *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100614.
- [125] Islam, A., Taufiq- Yap, Y.H., Ravindra, P., Teo, S.H., Sivasangar, S. & Chan, E.S. (2015). Biodiesel synthesis over millimetric g-Al₂O₃/KI catalyst, *Energy*, 89, 965-973.
- [126] Hall, D.O. & Scrase, J.I. (1998). Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future?, *Biomass and Bioenergy*, 15(4-5), 357-367.
- [127] Günay, A., Arslankaya, E. & Tosun, İ. (2007). Lead removal from aqueous solution by natural and pretreated clinoptilolite: Adsorption equilibrium and kinetics, *Journal of Hazardous Materials*, 146(1-2), 362-371.
- [128] Rahmani, A., Samarghandi, M.R. Samadi, M.T. Nazemi, F. (2009). Photocatalytic Disinfection of Coliform Bacteria Using UV/TiO₂, *Journal Research Health Science*, 9(1), 1-6.
- [129] Khan, A.S.A. (2011). Evaluation of thermodynamic parameters of cadmium adsorption on sand from Temkin adsorption isotherm, *Turk Journal Chemical*, 36, 437- 443.
- [130] Sukumaran, J., Keresztes, R., Kalácska, G., Almaliki, H., Neis, P.D. & De Baets P. (2017). Extruded and Injection Moulded Virgin PA 6/6 as Abrasion Resistant Material, *Hindawi Advances in Tribology*, 2017, 9.
- [131] Nederlof, M.M., Riemsdijk W.H.V. & Koopal L.K. (1994). Analysis of the Rate of Dissociation of Ligand Complexes, *Environmental Science Technoogy*, 28, 1048-1053.
- [132] Gholitabar, S. & Tahermansouri, H. (2017). Kinetic and multi-parameter isotherm studies of picric acid removal from aqueous solutions by carboxylated multi-walled carbon nanotubes in the presence and absence of ultrasound, *Carbon Letters*, 22, 14-24.
- [133] Tolahunase, M., Sagar, R. & Dada, R. (2017). Impact of Yoga and Meditation on Cellular Aging in Apparently Healthy Individuals: A Prospective, Open-Label Single-Arm Exploratory Study, *Hindawi Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 9.
- [134] Saadi S., Todorovic M., Tanasijevic L., Luis S.P., Pizzigalli C., Piero, L. (2015). Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato, crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield, *Agricultural Water Management*, 147, 103-115.
- [135] Foo K.Y. & Hameed, B.Y. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems, *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2-10.

- [136] McDonald, R.P. & Ho, M. (2002). Principles and practice in reporting structural equation analyses, *Psychological Methods*, 7(1), 64–82.
- [137] Panos M.P., Themistocles M. R. & Akhtar A.K. (2010). Nonlinear Analysis and Variational Problems. ABD.
- [138] Hamdaouia, O. & Naffrechoux, E. (2007). Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon: Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters, *Journal of Hazardous Materials*, 147(1–2), 381-394.
- [139] Nebaghea, K.C., El Boundatia Y., Ziat K., Naji, A., Rghiouic, L. & Saidia M. (2016). Comparison of linear and non-linear method for determination of optimum equilibrium isotherm for adsorption of copper(II) onto treated Martil sand, *Fluid Phase Equilibria*, 430, 188-194.
- [140] Tantawy, A.S., El-Nemr, M.A. & Sassine Y.N. (2010). Growth and Yield Responses of Strawberry Plants to Chitosan Application, *European Journal of Scientific Research*, 39, 170-177.
- [141] Ramadoss, R. & Subramaniam, D. (2018). Removal of divalent nickel from aqueous solution using blue-green marine algae: adsorption modeling and applicability of various isotherm models, *Separation Science and Technology*, 54(6), 1520-5754.
- [142] Prasanna, L. & Vijayaraghavan, R. (2015). Insight into the Mechanism of Antibacterial Activity of ZnO: Surface Defects Mediated Reactive Oxygen Species Even in the Dark, *American Chemical Society*, 31, 9155–9162.
- [143] Avcı, V. (2017) Elma Kabuğu Kullanarak Sulu Çözeltilerden Tekstil Boyar Maddelerin Adsorpsiyonu. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi. 463715).
- [144] Wang, S. & Li, H. (2007). Kinetic modelling and mechanism of dye adsorption on unburned carbon, *Dyes and Pigments*, 72(3), 308-314.
- [145] Kule, L. (2014). Elma Ve Portakal Kabuğu Üzerine Malaşit Yeşilinin Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyonu. (Yüksek Lisans Tezi). (Ulusal Tez Merkezi. 378481).
- [146] Sostaric, T., Petrovic, M., Milojkovic, J., Lacnjevac, C., Cosovic, A., Stanojevic, M. & Stojanovic, M. (2015). Application of apricot stone waste from fruit processing industry in environmental cleanup: copper biosorption study, *Fruits*, 70(5) 271-280.
- [147] Milena M. de Souza, Stephanie C. de Sa, Zmozinski, A.V., Peres, R.S. & Ferreira, C. A. (2016). Biomass as the Carbon Source in Intumescent Coatings for Steel Protection against Fire, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55, 11961-11969.

- [148] Omri, A., Ltaief, H.B.H. & Benzina, M. (2012). Study of retention of silver ions onto activated carbon prepared from almond shell: Approach for the treatment of liquid effluent from radiology, *ESAIJ*, 7(4).
- [149] Li, X., Liu, Y., Hao, J. & Wang, W. (2018). Study of Almond Shell Characteristics, *Materials*, 11, 1782.
- [150] Coşkun, R., Yıldız, A. & Delibaş, A. (2017). Removal of Methylene Blue Using Fast Sucking Adsorbent, *Journal of materials and Environmental Sciences*, 8(2) 398-409.
- [151] Li, X., Qiu, J., Hu, Y., Ren, X., He, L., Zhao, N., Ye T. & Zhao X. (2020). Characterization and comparison of walnut shells-based activated carbons and their adsorptive properties, *Adsorption Science & Technology*, 38(9-10), 450-463.
- [152] Morcali M. H., Zeytuncu, B. & Yücel, O. (2013). Platinum Uptake from Chloride Solutions Using Biosorbents, *Materials Research*, 16(2), 528-538.
- [153] Komnitsas, K., Zaharaki, D., Pylitotis, I., Vamvuka, D. & Bartzas, G. (2015). Assessment of Pistachio Shell Biochar Quality and Its Potential for Adsorption of Heavy Metals, *Waste Biomass Valor.*
- [154] Ratana, J.K., Kaura, M. & Adirajua, B. (2018). Synthesis of activated carbon from agricultural waste using a simple method: Characterization, parametric and isotherms study, *Materials Today: Proceedings*, 5, 3334–3345.
- [155] Ogungbenro, A.E., Quang, D.V., Al-Ali, K.A., Vega, L.F. & Abu-Zahra, M.R.M. (2020). Synthesis and characterization of activated carbon from biomass date seeds for carbon dioxide adsorption, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104257.
- [156] Kong, X., Zhu, Y., Lei, H., Wang, C., Zhao, Y., Huo, E., Lin, X., Zhang, O., Qian, M., Mateo, M., Zou, R., Fang, Z. & Ruan, R. (2020). Synthesis of graphene-like carbon from biomass pyrolysis and its applications, *Chemical Engineering Journal*, 399, 125808.
- [157] Dujearic-Stephane, K., Panta, P., Shulga, Y.M., Kumar, A., Gupta, M. & Kumar, Y. (2020). Physico-chemical characterization of activated carbon synthesized from Datura metel's peels and comparative capacitive performance analysis in acidic electrolytes and ionic liquids, *Bioresource Technology Reports*, 11,100516
- [158] Habeeb, O.A., Kanthasamy, R., Saber, S.E.M. & Olalere, O.A. (2020). Characterization of agriculture wastes based activated carbon for removal of hydrogen sulfide from petroleum refinery waste water, *Materials Today: Proceedings*, 20(4), 588-594.
- [159] Prakash, M.O., Raghavendra, G., Ojha, S. & Panchal, M. (2021). Characterization of porous activated carbon prepared from arhar stalks by single step chemical activation method, *Materials Today: Proceedings*, Article in Press.

- [160] Wibawa, P.J., Nur, M., Asy'ari, M. & Nur, H. (2020). SEM, XRD and FTIR analyses of both ultrasonic and heat generated activated carbon black microstructures, *Heliyon*, 6(3), E03546.
- [161] El-Hendawy, A.N.A. (2006). Variation in the FTIR spectra of a biomass under impregnation, carbonization and oxidation conditions, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 75, 159–166.
- [162] Sim, S.F., Mohamed, M., Lu, N.A., Lu, M.I., Sarman, N.S.P. & Samsudin, S.N.S. (2012). Computer-Assisted Analysis Of Fourier Transform Infrared (Ftir) Spectra For Characterization Of Various Treated And Untreated Agriculture Biomass, *BioResources* 7(4), 5367-5380.
- [163] Özdemir, Ç.S. (2018). Adsorptive removal of methylene blue by fruit shell: Isotherm studies, *Fullerenes, Nanotubes And Carbon Nanostructures*, 26(9), 570-577.
- [164] Kucuk, I. & Onal, Y. (2020). Low Cost Activated Carbon Synthesis, Characterization and Adsorption Applications, *NATURENGS, MTU Journal of Engineering and Natural Sciences*, 1(2), 32-38.
- [165] Zhao, G. & Huang, Y. (2016). Preparation and characterization of activated carbon fibers from liquefied wood by KOH activation, *Holzforschung*, 70(3), 195–202.
- [166] <https://wondercharcoal.com/>, 2020.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuğba UTKU

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2003, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 2006, İnönü Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü

MESLEKİ DENEYİM:

2004-2006 Malatya Çevre ve Gıda Laboratuvarı- Laboratuvar Müdürlüğü ve KaliteYöneticiliği

2009- İnönü Üniversitesinde Öğretim Görevliliği

YAYINLAR

- 1 Adsorptions of High Concentration Malachite Green by Two Activated Carbons Having Different Porous Structures-*Journal of Hazardous Materials*- B127, 2005, 73-80

SUNUMLAR

- 1 AKSOĞAN KORKMAZ A., UTKU T., ÖNAL Y., AKMİL BAŞAR C., "LİNYİT VE ANTEP FISTIĞI KABUĞUNUN PİROLİZ ÜRÜN VERİMLERİ ÜZERİNE KARIŞIM ORANI VE SICAKLIĞIN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI", III. ULUSLARARASI BATTALGAZİ MULTİDİSİPLİNER ÇALIŞMALAR KONGRESİ, Malatya, Türkiye, 21- 23 Eylül 2019, ss.374-383
- 2 ÖNAL Y., AKMİL BAŞAR C., UTKU T., "MALATYA 2 ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ARITMA TESİSİ GİRİŞ ATIK SUYUNUN AKTİF KARBON VE OZON KULLANILARAK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ", International Symposium of Water and WastewaterManagement (ISWWM), Malatya, Türkiye, 26- 28 Ekim 2016