



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



TEKSTİL ATIKLARINDAN ÜRETİLEN AKTİF KARBONLARIN TEKSTİL ATIK SULARININ RENK GİDERİMİNDE KULLANIMI

Yüksek Lisans Tezi

Emire Ülkü PARMAKOĞLU

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2020

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**TEKSTİL ATIKLARINDAN ÜRETİLEN AKTİF
KARBONLARIN TEKSTİL ATIK SULARININ RENK
GİDERİMİNDE KULLANIMI**

Emire Ülkü PARMAKOĞLU

Danışmanlar : Doç. Dr. Ahmet ÇAY, Prof. Dr. Jale YANIK

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
Tekstil Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

İzmir
2020

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tekstil Atıklarından Üretilen Aktif Karbonların Tekstil Atıksularının Renk Gideriminde Kullanımı” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

27 / 07 / 2020

Emire Ülkü PARMAKOĞLU

ÖZET

TEKSTİL ATIKLARINDAN ÜRETİLEN AKTİF KARBONLARIN TEKSTİL ATIK SULARININ RENK GİDERİMİNDE KULLANIMI

PARMAKOĞLU, Emire Ülkü

Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları: Doç. Dr. Ahmet ÇAY, Prof. Dr. Jale YANIK

Bu tez kapsamında, tekstil endüstrisi katı atıklarından aktif karbon eldesi ve bu aktif karbonların tekstil atık sularından renk gideriminde kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Tekstil endüstrisi katı atıkları olarak, tekstil boyahanelerinde büyük oranda ortaya çıkan pamuklu ve pamuk/poliester karışımı kumaş atıkları ile atık su arıtma çamuru seçilmiştir. Aktif karbon üretimi için çinkoklorür ile kimyasal aktivasyon yöntemi kullanılmıştır. Aktif karbonların karakterizasyonu elementel analiz, FT-IR, SEM ve BET analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Hammaddeye göre aktif karbon verimi % 28-34 olarak tespit edilmiştir. Pamuklu tekstil atıklarından üretilen aktif karbonların en yüksek yüzey alanına sahip olduğu (~1350 m²/g), bunu sırasıyla pamuk/poliester ve arıtma çamuru esaslı olanların izlediği görülmüştür. Üretilen aktif karbonlarda yüzey oksijenli asidik miktarının, bazik gruplara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Tekstil atıklarından üretilen aktif karbonların tekstil atık sularındaki reaktif boyarmaddeleri adsorplama özellikleri, adsorban tipi, adsorban miktarı, boya konsantrasyonu ve adsorpsiyon süresi dikkate alınarak araştırılmıştır. Arıtma çamuru esaslı aktif karbonların en yüksek boya adsorplama kapasitesine sahip olduğu saptanmıştır. Adsorpsiyon işleminin gerek Laungmir gerekse de Freundlich izotermi ile uyumlu olduğu, adsorpsiyon kinetiğinin ise yalancı ikinci dereceden kinetik model ile yüksek oranda uyumluluk gösterdiği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Tekstil atıkları, geri dönüşüm, aktif karbon, atık su, adsorpsiyon, renk giderme

ABSTRACT**COLOR REMOVAL FROM TEXTILE WASTEWATER USING
ACTIVATED CARBONS PRODUCED FROM TEXTILE WASTES**

PARMAKOĞLU, Emire Ülkü

MSc in Textile Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇAY, Prof. Dr. Jale YANIK

In this thesis, upcycling of solid textile wastes into activated carbon and the potential use of these activated carbons in color removal from textile wastewater were investigated. Cotton and cotton/polyester blended fabric wastes and textile wastewater treatment sludge were selected as textile solid wastes. Chemical activation with zinc chloride was used for activated carbon production. The characterisation of activated carbons were determined by elemental analysis, FT-IR, SEM and BET analysis. Activated carbon yield was determined to be 28-34%. Cotton textile waste based activated carbons were found to have the highest surface area ($\sim 1350 \text{ m}^2/\text{g}$); followed by cotton/polyester and wastewater treatment sludge based ones. Acidic groups of the produced activated carbons were found to be higher than basic groups. The reactive dye adsorption properties of activated carbons produced from textile wastes were investigated by considering adsorbent type, adsorbent amount, dye concentration and adsorption time. When the adsorption values were analyzed in general, it was seen that the treatment sludge-based activated carbons have the highest dye adsorption capacity. It has been demonstrated that the adsorption process is compatible with both Langmuir and Freundlich isotherms, while the adsorption kinetic is highly compatible with the pseudo-second-order kinetic model.

Key words: Textile waste, recycling, activated carbon, wastewater, adsorption, color removal

İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
TABLOLAR DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1.GİRİŞ.....	1
2.TEKSTİL SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE GERİ DÖNÜŞÜM.....	2
3.TEKSTİL ATIKLARI.....	3
3.1. Tekstil Arıtma Çamurları	4
4.TEKSTİL ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ.....	6
4.1. Mekanik Geri Dönüşüm.....	6
4.2. Kimyasal Geri Dönüşüm.....	6
4.3. Termokimyasal Yöntemler.....	7
4.3.1. Gazlaştırma	7
4.3.2. Sıvılaştırma	7
4.3.3. Piroliz	8
5.AKTİF KARBON	9
5.1. Aktif Karbon Üretimi.....	10
5.1.2. Aktivasyon	10

İÇİNDEKİLER(devam)

Sayfa

5.1.2.1.Fiziksel Aktivasyon	11
5.1.2.2.Kimyasal Aktivasyon	11
6.TEKSTİL ATIK SULARI	13
7.ADSORPSİYON	15
7.1. Adsorpsiyon İzotermi	15
7.1.1. Langmuir İzotermi	16
7.1.2. Freundlich İzotermi	18
7.2. Adsorpsiyon Kinetiği.....	18
7.2.1. Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model	19
7.2.2. Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model.....	19
8.GENEL BİLGİLER	21
9.MATERYAL-METOT	26
9.1. Materyal.....	26
9.1.1. Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddeler:	26
9.1.2. Boyarmadde.....	26
9.2. Metot:	26
9.2.1. Adsorbanların hazırlanması	26
9.2.1.1. “Biochar” eldesi.....	27
9.2.1.2. Aktif karbon eldesi	27
9.2.2. Adsorpsiyon çalışmaları	28
9.3. Analizler	29
9.3.1. Verim-Elementel Analiz.....	30
9.3.2. SEM Analizi	30
9.3.3. BET Analizi	31
9.3.4. XRF Analizi.....	31
9.3.5. Boehm Titrasyon Metoduna Göre Uç Grup Tayini.....	31
9.3.6. FT-IR Analizi	32

İÇİNDEKİLER(devam)

Sayfa

10.BULGULAR VE TARTIŞMA	33
10.1. Verim-Elementel Analiz	33
10.2. Sem Analizi	35
10.3. BET Analizi	38
10.4. XRF Analizi	40
10.5. Boehm Titrasyon Metoduna Göre Uç Grup Tayini	41
10.6. FT-IR Analizi	41
10.7. Aktif Karbonların Renk Giderim Performansı.....	45
10.8. İzoterm Çalışmaları.....	48
10.8.1. Langmuir İzotermi	48
10.8.2. Freundlich İzotermi.....	50
10.9. Adsorpsiyon Kinetikleri.....	53
10.9.1. Yalancı birinci dereceden kinetik model.....	53
10.9.2. Yalancı İkinci Dereceden Kinetik.....	55
11.SONUÇ	58
12.KAYNAKLAR DİZİNİ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. (a) Toz, (b) Granül, (c) Pellet Aktif Karbon (Şamdan, 2013)	12
Şekil 2. Bir tekstil imalat sanayinin çeşitli aşamalarında yer alan başlıca kirleticilerin bileşenleri (Verma vd., 2009).....	13
Şekil 3.Reaktif Red 141 Boyarmaddesinin Kimyasal Yapısı (Elemen, 2011)	26
Şekil 4. Tekstil atık suyu arıtma çamuru ve bundan üretilen “biochar” ve aktif karbona ait FT-IR spektrumları.....	42
Şekil 5. Pamuklu tekstil atığı ve bundan üretilen “biochar” ve aktif karbona ait FT-IR spektrumları.....	43
Şekil 6. Pamuk/poliester tekstil atığı ve bundan üretilen “biochar” ve aktif karbona ait FT-IR spektrumları.....	44
Şekil 7. Arıtma çamuru aktif karbonunun % renk giderim performansı. Adsorben miktarı: (a) 0,5 g/l, (b) 1 g/l, (c) 1,5 g/l.....	45
Şekil 8. Pamuk aktif karbonunun % renk giderim performansı. Adsorben miktarı: (a) 0,5 g/l, (b) 1 g/l, (c) 1,5 g/l	46
Şekil 9. Pamuk&poliester aktif karbonunun % renk giderim performansı. Adsorben miktarı: (a) 0,5 g/l, (b) 1 g/l, (c) 1,5 g/l	47
Şekil 10. Langmuir izotermde arıtma çamuru aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi.....	49
Şekil 11. Langmuir izotermde pamuk aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi.....	49
Şekil 12. Langmuir izotermde pamuk&poliester aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi.....	50
Şekil 13. Freundlich izotermde arıtma çamuru aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi.....	51
Şekil 14. Freundlich izotermde pamuk aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi.....	52
Şekil 15. Freundlich izotermde pamuk&poliester aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi.....	52
Şekil 16. Farklı adsorban türlerine RR 141’in yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (0,5 g/l adsorban varlığında).....	53
Şekil 17. Farklı adsorban türlerine RR 141’in yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (1 g/l adsorban varlığında).....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 18. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (1,5 g/l adsorban varlığında)	54
Şekil 19. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (0,5 g/l adsorban varlığında)	56
Şekil 20. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (1 g/l adsorban varlığında)	56
Şekil 21. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (1,5 g/l adsorban varlığında)	57

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 1. Tüketici öncesi ve sonrası tekstil katı atıkları (Yalçın Enis vd., 2019)	3
Tablo 2. Adsorpsiyon Deney Parametreleri	29
Tablo .3 “Biochar”ların Kütlesel Verimleri %.....	33
Tablo 4. Aktif Karbonların Kütlesel Verimi, %.....	34
Tablo 5. İşlemsiz, ‘biochar’ ve aktif karbon halindeki maddelerin elementel ve kül içerikleri (%)	35
Tablo 6. Arıtma Çamuru Esaslı Maddelerin SEM Görüntüleri	36
Tablo 7. Pamuk Esaslı Maddelerin SEM Görüntüleri	37
Tablo 8. Pamuk&Poliester Esaslı Maddelerin SEM Görüntüleri	38
Tablo 9. “Biochar”lara ait BET analiz sonuçları	39
Tablo 10. Aktif Karbonlara Ait BET Analizi Sonuçları	39
Tablo 11. Arıtma çamurunun inorganik içeriği, % ağırlıkça	40
Tablo 12. Aktif Karbonların Asidik-Bazik Yüzey Oksit Gruplarının Miktarları .	41
Tablo 13. Langmuir İzotermi parametreleri.....	48
Tablo 14. Freundlich İzotermi Parametreleri	51
Tablo 15. RR 141 adsorpsiyonunun grafiklerden hesaplanan yalancı birinci dereceden kinetik değerleri	55
Tablo 16. RR 141 adsorpsiyonunun grafiklerden hesaplanan yalancı ikinci dereceden kinetik değerleri	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
FTIR	Fourier Transform Infrared (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskopu)
BET	Brunauer-Emmet-Teller
XRF	X-Işını Floresansı (X-ışını floresans spektrometresi)
UV	Ultra Viole (Ultraviyole)
UV-Vis.	Ultra Viole Visible (Ultra Viyole Görünür)
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı.
C.I.	Color Index
RR 141	Reactive Red 141
$q_e(mg/g)$	1 gr adsorban tarafından adsorplanan boyar madde miktarı
$q_{max}(mg/g)$	Denge halinde adsorplanan boyar madde madde miktarı
$C_e(mg/L)$	Adsorpsiyon sonrasında çözeltide kalan boyar madde derişimi
$K_L(L/g)$	Adsorpsiyon enerjisine bağlı Langmuir sabiti
$C_0(mg/L)$	Başlangıç boyar madde konsantrasyonu
$K_F((mg/g)(L/mg)^{1/n})$	Freundlich sabiti
$1/n$	Heterojenlik faktörü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
q_t (mg/g)	Herhangi bir anda 1 g adsorban tarafından adsorplanan boyar madde miktarı
k_2 (g/mg.dk)	Hız sabiti
$k_2q_e^2$	Başlangıç hız sabiti(h)
R^2	Korelasyon katsayısı
R_L	Boyutsuz ayırma faktörü
ΔQ	Normalize edilmiş sapma değerleri



1. GİRİŞ

Tekstil sektörü üretim ve tüketim aşamalarında açığa çıkan çeşitli formlardaki atıklarıyla kirlenici sektörlerin başında gelmektedir. Tekstil sektöründen deşarj edilen atık sular, görsel olarak çevreyi kirlenmenin yanısıra temiz su yataklarına zarar vermekte ve su ekosisteminde yaşayan canlıları etkileyerek doğal ekosisteme de zarar vermektedir (Mansour vd., 2011). Bu nedenle tekstil endüstrisinde hammadde ve su tüketiminin minimuma indirilmesi ve geri dönüşümü kaçınılmaz bir hal almıştır. Tekstil ürünlerinin geri dönüştürülmesinde elde edilen ürünler, yine tekstil ürünleri olabildiği gibi, tekstil ve diğere sektörlerde farklı amaçlarla kullanmaya yönelik de olabilmektedir. Bu tez çalışmasında, tekstil işletmelerinde ortaya çıkan kumaş atıkları ve atık su arıtma çamurunun aktif karbona dönüştürülerek değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, üretilen bu aktif karbonların atık sudan boya adsorplama performansları incelenmiştir. Tekstil endüstrisi atıklarından aktif karbon üretimi, hem katı atık miktarının düşürülmesi hem de geri dönüşümle elde edilen ikincil hammaddenin adsorban olarak kullanımındaki potansiyeli göz önüne alındığında geri dönüşüm yöntemleri içerisinde önemli bir alternatif olarak ele alınabilecektir.

2. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE GERİ DÖNÜŞÜM

Son yıllarda dünya nüfusundaki artış ve yaşam standartlarındaki gelişme tekstil üretiminde ve tüketiminde de önemli bir artışa neden olmuştur (Eser vd., 2016). Özellikle moda kavramının önem kazanmasıyla tüketiciye sunulan cazip fiyatlı tekstil ürünleri, tüketim oranını her geçen gün artırmaktadır (Chavan, 2014). Tekstil üretim ve tüketiminde yaşanan bu artış, çevre kirliliğinin de her geçen gün artmasına yol açmaktadır. Atık miktarının çoğalmasıyla depolama alanlarının kapasitesi de hızla dolmaya başlamış, dolayısıyla geri dönüşüm kaçınılmaz hale gelmiştir (Aishwariya, 2018).

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) 1990 yılında kabul ettiği Atık Önleme Yasası ile atıkların mümkün olduğunca önlenmesini ya da azaltılmasını bildirmiştir. Ayrıca, önlenemeyen atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde geri dönüştürülmesi, geri dönüştürülemeyen atıkların ise çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi, doğaya salımın ise son çare olması gerektiğini bildirmiştir (Wang and Shammass, 2009).

Tekstil endüstrisi, pazar büyüklüğü ve üretimi sırasında kimyasal kullanımı dolayısıyla çevreye zarar veren sektörlerin başında gelmektedir (Lee, 2017). Bu nedenle tekstil sektöründe sürdürülebilir üretim ve atık yönetimi dikkat edilmesi gereken konuların başında gelmektedir. 2017 yılı dünya lif tüketim miktarı 105 milyon ton olarak açıklanmıştır (Hanoğlu vd., 2019). Bu rakamın 2020 yılında ise 110 milyon tona ulaşacağı öngörülmektedir (Voncina, 2016). Çevresel kaynakların yetersiz olması nedeniyle tekstil ürünlerinin %63'ü petrol türevi maddelerden elde edilmektedir. Bilindiği gibi petrol ürünleri yüksek oranda karbondioksit emisyonuna neden olmakta ve doğaya zarar vermektedir (Sandin and Peters, 2018).

Tekstil sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunların başında yeniden kullanım, atık azaltma, atıktan kaçınma ve geri dönüşüm gelmektedir.

3. TEKSTİL ATIKLARI

Tekstil atıkları genel olarak sıvı atıklar ve katı atıklar olarak ikiye ayrılırken tekstil katı atıkları ise tüketici öncesi ve sonrası olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. (Üte vd., 2019). Literatürde yer alan diğer gruplama ise, iplik fabrikası atıkları, tekstil imalat atıkları ve tüketici sonrası tekstil atıkları şeklindedir (Dönmez ve Türker, 2017) .

Tüketici öncesi tekstil katı atıkları; henüz üretim aşamasında açığa çıkan atıklardır. Örneğin, çırçırılama, taraklama, iplik eğirme ve kumaş kesme aşamasında açığa çıkan atıklar bu sınıfta yer almaktadır. Ayrıca sentetik lif üretimi esnasında açığa çıkan polimer ve plastik atıkları da tüketici öncesi tekstil atıkları sınıfına dâhil edilmektedir (Vadicherla and Saravanan, 2014).

Tüketici sonrası tekstil atıkları ise nihai kullanıcılar tarafından artık kullanılmayan ve atık olarak nitelendirilen malzemelerdir. Bu alanda kullanılmış kıyafetler ve ev tekstili ürünleri en büyük paya sahiptir.

Tablo 1. Tüketici öncesi ve sonrası tekstil katı atıkları (Yalçın Enis vd., 2019)

Tüketici Öncesi Tekstil Atıkları	Tüketici Sonrası Tekstil Atıkları
Lif	Yıpranmış ürünler
İplik	Hasarlı ürünler
Parça bez	Modası geçmiş ürünler
Kırpıntı	
Uçuntu	
Kumaş kesme atıkları	
Kumaş kenarları	
Hatalı ve satılamayan ürünler vb.	

Tekstil lifli atıklarının büyük bir çoğunluğunu pamuk ve poliester içerikli ürünler oluşturmaktadır. Avrupa Hazır Giyim Eylem Planının (ECAP) 2015 raporunda, AB pazarında pamuğun %43'lük bir paya sahip olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda poliesterin giysilerde kullanılma oranı ise %16 olarak belirtilmiştir. (Environmental impact of the textile and clothing industry, EPRS | European Parliamentary Research Service)

Eser vd. (2016), 2014 yılındaki dünya lif üretiminin %92'lik kısmının pamuk ve poliester liflerinden oluştuğunu belirtmiştir. %63'lük büyük bir oranla

en yüksek üretim miktarına sahip olan sentetik lifler içerisindeki %82'lik kısmı ise poliester liflerinin oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Giyim sektöründe kullanımı oldukça yoğun olan bu liflerin doğa açısından bir takım problemleri olduğu bilinmektedir. Örneğin, pamuk üretimi esnasında kullanılan gübre ve böcek ilaçlarının kanıtlanmış zararları mevcuttur. Ayrıca pamuk üretim ve işleme esnasındaki su tüketimi de oldukça fazladır. Poliester ise fosil yakıtlardan üretilen bir lif çeşitidir. Pamuğa göre düşük su ayak izine sahip olmasına rağmen son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda doğaya mikro plastik deşarjına sebep olduğu ispatlanmıştır (Environmental impact of the textile and clothing industry, EPRS | European Parliamentary Research Service) . Bu etkenler göz önüne alındığında geri dönüşümün önemi bir kez daha dikkat çekmektedir.

3.1. Tekstil Arıtma Çamurları

Tekstil sektöründe açığa çıkan atıklar arasında tekstil atık suları, lifli atıklar vb. dışında önemli bir kirlilik kaynağı olan tekstil atık suyu arıtma çamurları da yer almaktadır. Tekstil endüstrisinde içerisinde kimyasal, toksik maddeler, boyarmaddeler vb. içeren yüklü miktarda atık su açığa çıkarılmaktadır. Bu atık suların doğaya salınmadan önce çeşitli yöntemler kullanılarak özenli bir arıtma işlemine tabi tutulması gerekmektedir (Goyal vd., 2019). Bu arıtma işlemi esnasında atık su içerisindeki yabancı maddelerin toplanması sonucu elde edilen maddelere tekstil arıtma çamuru adı verilmektedir.

Çin Çevre İstatistik Kurumunun 2016 verilerine göre, Çin terbiye işletmelerinden yıllık ortalama 2 milyar ton atık su deşarjı yapılmaktadır. Bu atık sulardan ise yaklaşık 20,2 milyon ton yüksek nem içerikli tekstil arıtma çamuru açığa çıkmaktadır (Ran vd., 2019).

Tekstil Arıtma Çamurunun Bileşimleri (Zhang vd., 2017);

- Toksik organik maddeler
- Kimyasal maddeler
- Katkı maddeleri
- Mikroorganizmalar
- Parazitler
- Boyarmaddeler

- Ağır metaller (Alüminyum, demir, çinko, bakır, kurşun vb)
- Aromatik hidrokarbonlar vb.

Tekstil arıtma çamurları, çeşitli proseslerden gelen boyarmadde, metal iyonları, kimyasal madde, organik madde vb. içeriklerinden dolayı önemli atıklar arasında yer almaktadır. Bu çamurların düzensiz bir şekilde depolanması ve uygun koşullarda bertaraf edilmemesi canlı sağlığı açısından risk teşkil ettiği gibi toprak ve su kirliliğine de yol açabilmektedir (Ran vd., 2019, Wong vd., 2018). Bu nedenle bu atıkların lisanslı atık bertaraf şirketlerince toplanarak bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu prosedür ise tekstil firmalarına fazladan maliyete yol açmaktadır (Wong vd., 2018). Bu nedenle bu tez kapsamında olduğu gibi tekstil arıtma çamurları kullanılarak aktif karbon üretmek tekstil işletmeleri açısından alternatif bir yöntem olarak gündeme gelmektedir.

Tekstil arıtma çamurlarının ideal bir şekilde arıtılmasının yanı sıra hacimce minimum düzeye indirmek gerekmektedir. Ayrıca organik bileşenlerin bozunmasını ve toksik metallerin giderilmesini sağlamak gerekmektedir (Wang vd., 2019). Tekstil arıtma çamurlarının bertarafı esnasında yakma ilk düşünülen proses olsa da ağır metallerin doğaya salınımı açısından riskli bir yöntem olmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda piroliz işleminin yakma işlemine kıyasla daha çevreci ve verimli olduğu belirtilmiştir (Ran vd., 2019).

4. TEKSTİL ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ

Tekstil sektöründe geri dönüşüm genel olarak mekanik, kimyasal ve termal olmak üzere üç farklı yöntem ile gerçekleştirilmektedir (Sandind and Peters, 2018).

Mekaniksel geri dönüşümde genellikle yeni tekstil ürününün üretiminde malzemelerin yeniden kullanımıyla iplik ve dokusuz yüzeyler elde edilmektedir (Zamani at al., 2015). Bunun yanı sıra tekstil atıkları çeşitli alanlarda yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yeniden kullanımı mümkün olmayan tekstil atıkları ise genellikle gömülerek ya da yakılarak bertaraf edilmektedir (Zamani, 2014).

4.1. Mekanik Geri Dönüşüm

Mekanik geri dönüşüm işlemi, tekstil atıklarının istenilen ebatlarda küçültülerek farklı alanlarda kullanılabilir hale getirilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla kesme, parçalama ve taraklama gibi yöntemler uygulanmaktadır.

Mekanik yöntemlerle geri dönüştürülmüş tekstil atıkları genellikle şilte, keçe, paspas, dolgu ve yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır (Palm vd., 2014).

4.2. Kimyasal Geri Dönüşüm

Kimyasal geri dönüşüm yöntemi sentetik lif (poliester, naylon vb.) içerikli tekstil atıklarına uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem atık liflerin moleküler seviyede bozulması ve ardından yeniden polimerize edilmesi esasına dayanmaktadır. Böylelikle yeniden lif üretimi sağlanmaktadır.

Selülozik tekstil atıklarının bozunması ise enzimatik yöntemler ya da asit hidrolizi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Palm vd., 2014), ve nanoselüloz gibi malzemelerin üretimi için bu atıklar kullanılabilir. Ayrıca son yıllarda Liu vd., (2019), Björquist vd., (2018) ve Haule vd., (2016)'ın çalışmalarında da olduğu gibi selülozik tekstil atıklarından rejenere selüloz liflerinin elde edilmesine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır.

4.3. Termokimyasal Yöntemler

Termal geri dönüşüm, tekstil atıklarının yakıt ve enerji olarak geri kazanılmasını esas almaktadır. Temelde net bir geri dönüşüm sürecini yansıtmamasına karşın tekstil atıklarının yakılması sonucu ısı enerjisi elde edilmektedir (Palm vd., 2014). Ayrıca yakma işlemi ile atık hacmini %90 azaltmak mümkün olabilmektedir (Yalçın Enis vd., 2019).

Günümüzde iklim değişikliklerine yol açan petrol ve türevleri yerine alternatif kaynakların bulunması zorunluluk haline gelmiştir (Gadek vd., 2016). Bu nedenle çeşitli termokimyasal geri dönüşüm proseslerinden faydalanılarak biyokütleler üzerinden enerji elde etme işlemi gerçekleştirilmektedir (Ioannidou and Zabaniotou, 2007).

Termokimyasal dönüşüm teknolojileri; yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve pirolizdir (Kumar vd., 2009). Bu yöntemler ile ortaya çıkarılacak ürün performansını üzerinde etkili olan faktörler genel olarak sıcaklık, basınç, oksidasyon koşulları ve süre olarak sıralanmaktadır (Anderson vd., 2013).

Tekstil çamurlarının bertarafı için en uygun termokimyasal geri dönüşüm teknolojilerinin gazlaştırma ve piroliz olduğu bilinmektedir (Zhang vd., 2017).

4.3.1. Gazlaştırma

Gazlaştırma yöntemi, karbon içerikli malzemelerin yüksek sıcaklıkta kısmi hava/oksijen ve/veya su buharı ortamında bozundurulmasıyla sentez gazı veya jeneratör gazı elde etme işlemidir.

Gazlaştırma yöntemi, elektrik, buhar, hidrojen, ulaşım amaçlı kullanılan sıvı yakıtlar ve kimyasal madde üretimi için kullanılan sentez gazlarının üretilmesinde tercih edilen bir yöntemdir.

4.3.2. Sıvılaştırma

Büyük moleküllü karbonlu yapıların basınç ve sıcaklık altında katalizörlü/katalizörsüz sıvı ürünlere dönüştürülmesi amacıyla yapılan termokimyasal bir işlemdir. Bu işlemle kömür ve bitümlü şistler ham petrol

eşdeğeri sıvı yakıtlara dönüştürülür. Günümüzde, biyokütleden (algler, arıtma çamurları gibi) sıvı yakıt eldesinde de uygulanmaktadır.

4.3.3. Piroliz

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklara ısıtılarak gaz, katı ve sıvı ürünlere ayrıştırılması (bozundurulması) işlemidir. Diğer bir tanımı ile piroliz, büyük moleküllü polimerlerin, inert, vakum, indirgen veya yükseltgen ortamlarda katalizörlü veya katalizörsüz olarak, sıcaklık etkisi ile parçalanması işlemidir. Bu bozunma sırasında polimerik yapıda bağ kopmaları veya zincir kırılmaları olmakta ve çok sayıda oldukça reaktif radikaller oluşmaktadır. Bu radikaller kararlı hale geçmek için bir seri tepkimeye girerek gaz, sıvı ve katı ürünler oluşturmaktadırlar (Üçgül ve Elibüyük., 2014).

Pirolizi Etkileyen Parametreler:

- Hammaddenin cinsi
- Sıcaklık
- Isıtma Hızı
- Basınç
- Piroliz atmosferi

Piroliz işlemi kısa reaksiyon süresi, küçük reaktör hacmi, yüksek verim, esnek hammadde özellikleri elde edebilme gibi avantajlara sahiptir. Aynı zamanda ağır metalleri bloke etme, oksijensiz ortamda düşük emisyon açığa çıkarma gibi avantajları da bulunduğundan tekstil arıtma çamurlarının geri dönüşüm işleminde de oldukça başarılı bir prosestir (Zhang vd., 2017).

5. AKTİF KARBON

Aktif karbonun adsorban özelliği uzun zamandır bilinmektedir. Hippocrates kötü kokuların odun kömürü tozu kullanılarak giderilebileceğini önermiştir. Endüstriyel amaçlı aktif karbon kullanımı 18.yy sonlarında İsveçli Kimyager Karl Wilhelm Scheele tarafından gazların odun kömürü kullanılarak adsorbe edilmesi ile başlatılmıştır. On beş yıl sonra ise Rus akademisyen Lovits organik madde içeren tartarik asit çözeltisinin rengini gidermek için odun kömürü kullanmıştır. Sanayi uygulaması 1794 yılında İngiltere’de şeker sanayisinde renk giderici olarak kullanılması ile başlamıştır (Kumaş, 2015).

Aktif karbonlar yüksek gözenekliliği ve geniş yüzey alanlarıyla bilinen yaygın adsorbanlardır. İçeriğinde %87-97 oranlarında karbon içeren bileşimlerdir. Bileşimde karbon dışında hidrojen, kükürt, azot ve kullanılan hammaddeye bağlı olarak farklı elementler bulunabilmektedir (Küçükgül, 2004). Genel olarak, aktif karbonlar mikro gözenekli yapıda olsalar da mezo ve makro yapıda gözenek de içermektedir (Corcho-Corral vd., 2006). Aktif karbonların adsorplama kapasiteleri bu gözeneklerin dağılımları ile doğrudan ilişkilidir. Literatürde lignin içerikli malzemelerden üretilen aktif karbonların, ağırlıklı gözenek boyutu makro iken selüloz içerikli maddelerden üretilenlerde mikro olduğu bilgisi verilmiştir (Ioannidou and Zabaniotou, 2007).

Aktif karbonların adsorpsiyon kapasitesi oksijen içeren fonksiyonel gruplarıyla da belirlenebilmektedir. Aktif karbonların yüzey özellikleri üretim koşullarına göre değişebilmektedir. Örneğin termal işlemler esnasındaki karbonizasyon sıcaklığı, oksidasyon esnasında kullanılan teknik (sıvı fazda oksidasyon, gaz fazında oksidasyon) ve bu teknikler uygulanırken kullanılan maddelere (O_2 , N_2O , HNO_3 , H_2O_2) göre belirlenebilmektedir (Faria vd., 2004).

Aktif karbon, adsorpsiyonun şart olduğu bütün endüstri dallarında geniş olarak kullanılmaktadır. Koku ve tat giderimi, içme suyu arıtımı, hava temizliği, solvent geri kazanımı, gaz maskeleri, klima sistemleri, gazların ayrılması ve saflaştırılması, kimyasal, ilaç ve gıda endüstrisinde organik ve inorganik maddelerin saflaştırılması, kimyasal, ilaç ve gıda endüstrisinde organik ve inorganik maddelerin saflaştırılması alanlarında sıkça kullanılmaktadır (Kumaş, 2015., Kütahyalı, 2002).

Aktif karbon üretiminde karbon yönünden zengin organik maddeler tercih edilmektedir (Sathishkumar vd., 2012). Bu amaçla genellikle fosil bazı

hidrokarbonlar, doğal biyokütle, biyokütle atıkları, polimerler ve karbonlu atıklar tercih edilmektedir (Demiral ve Şamdan, 2016). Ayrıca düşük inorganik madde içeriği, bol ve ucuz bulunabilirlik, kolay işlenebilirlik, uzun depolama ömrü, kolay aktive edilebilirlik gibi faktörler de aktif karbon üretiminde kullanılacak hammadde seçiminde önemli rol oynamaktadır (Döşemen, 2009).

5.1. Aktif Karbon Üretimi

Aktif karbon üretiminin temel basamağı karbonizasyondur (piroliz). Karbonizasyon ile hammadde içerisindeki nem ve uçucu maddenin inert ortamda giderilmesi sonucunda, daha sonraki aktivasyon işlemi için temel gözenek yapısı oluşturulur. Karbonizasyondan sonra ürün, az gelişmiş poröz bir yapıya sahiptir. İlave bir aktivasyon işlemi olmazsa pratikte adsorban olarak kullanılamazlar. Karbonizasyon sırasında oluşan katran, kömürün ince gözenekli yapısında tıkanmalara yol açtığından gözenek ve boşluklarda bulunan katranın uzaklaştırılması gerekmektedir (Kütahyalı, 2002., Ozmak, 2010., Gogate and Pandit, 2004).

5.1.2. Aktivasyon

Karbonca zengin malzemelerin kullanılmasıyla elde edilen aktif karbonların temel üretim aşamasıdır (Karacan ve Karacan, 2014). Aktivasyon işleminde, düzgün yapıdaki karbon tabakalar, kullanılan kimyasal maddelerce deforme edilerek, gözenek yapısının oluşumu sağlanmaktadır.

Aktivasyon iki aşamada gerçekleşir:

- Kapalı gözeneklerin açılması: Düzensiz karbon ve katranın, seçimli olarak uzaklaştırılması
- Daha büyük gözeneklerin oluşması: Mevcut gözeneklerin genişlemesi veya komşu gözenekler arasındaki duvarların yıkılması.

Fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki çeşit aktivasyon yöntemi bulunmaktadır. Her iki yöntemin esası da başlangıç maddesinin deformasyonuna dayanmaktadır (Karacan ve Karacan, 2014). Fiziksel aktivasyon su buharı ya da CO₂ ile gerçekleştirilirken kimyasal aktivasyon işlemi ZNCl₂, PO₄, KOH gibi kimyasal aktivatörlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Chen vd., 2019).

5.1.2.1. Fiziksel Aktivasyon

Fiziksel aktivasyon piroliz ve aktivasyon adımlarını içeren iki aşamalı bir prosestir (Budinova vd., 2006). Birinci adımda başlangıç malzemesinin 700 °C'nin altında karbonizasyonu sağlanırken ikinci adımda 850 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda inert atmosfer ortamında aktifleştirme işlemi gerçekleştirilir (Hayashi vd., 2000), (El- Hendawy vd., 2001). Gözenekli yapının elde edilebilmesi için genellikle aktifleştirici olarak buhar ya da CO₂ kullanılmaktadır (Kılıç vd., 2012).

5.1.2.2. Kimyasal Aktivasyon

Kimyasal aktivasyon prosesinde karbonizasyon ve aktivasyon adımları aynı anda ilerlemektedir. Kimyasal aktivasyon yöntemine göre elde edilen aktif karbonlarda yüksek kütleli verim, yüzey alanı ve gözeneklilik elde edildiği bilinmektedir.

Kimyasal aktivasyon prosesinde karbonizasyon adımı kimyasal maddeler ile emdirilmiş hammadde inert atmosfer ortamında ısıtılır. Burada kimyasal madde kullanımı dehidrasyon ve oksidasyona yol açtığından aktif karbon için gerekli olan gözenekliliğin gelişmesini sağlamaktadır (Kılıç vd., 2012). Isıl işlemin tamamlanmasının ardından geriye kalan emdirme maddesi ve açığa çıkan tuzları, bazik ve su ile yıkama yoluyla uzaklaştırılmaktadır. (Yorgun and Yıldız, 2015).

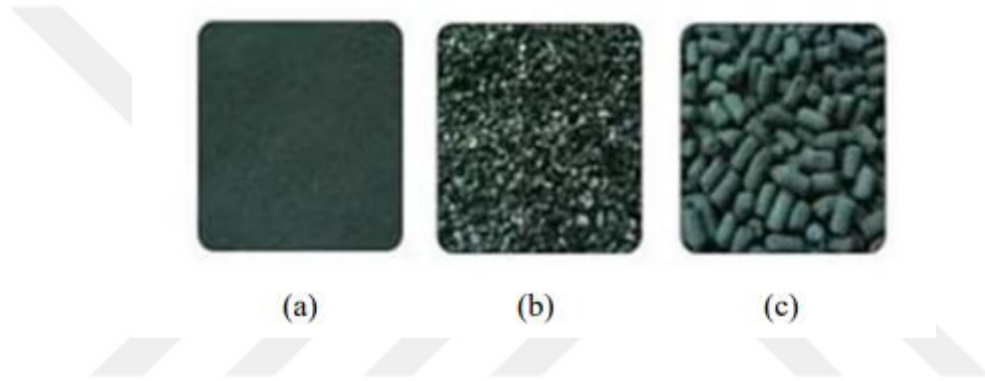
Bu yöntemde genellikle fosforik asit, potasyum hidroksit, potasyum karbonat, çinkoklorür vb. kimyasallar kullanılmaktadır. Kimyasal aktivasyon prosesinde sıcaklık genellikle kullanılan aktivasyon maddesine göre belirlenmektedir. Örneğin, Örkün (2011) gerçekleştirdiği araştırmalar sonucunda ZnCl₂ ve H₃PO₄ için en uygun aktivasyon sıcaklığının 400-600 °C, NaOH, KOH vb. kimyasallarda ise 500-800 °C olarak belirlendiği bilgisine ulaşmıştır.

Kullanılan kimyasalların maliyeti ve aktivasyon sonrası yıkama işlemi gerekliliği bu yöntemin dezavantajları olarak görülmektedir (Demirel and Şamdan, 2016). Ancak kullanılan kimyasalların geri kazanımı da mümkün olmaktadır. Kimyasalların ayrılmasından sonra hammaddenin poröz ve aktif karbon yapısı geriye kalmaktadır (Gogate and Pandit, 2004).

Kimyasal aktivasyon prosesi ile elde edilen aktif karbonların gözenek boyutu, yüzey alanı gibi önemli parametrelerin belirlenmesindeki en önemli parametreler kimyasal emdirme oranı, aktivasyon sıcaklığı ve süresidir.

Aktivasyon esnasında beklenen gözenekliliğin sağlanabilmesi için hammadde üzerindeki tüm nemin ve uçucu bileşenlerin uzaklaştırılması gerekmektedir (Gratis vd., 2008). Aktivasyon süresi olarak genellikle 1-2 saat sürenin yeterli olduğu bilinmektedir (Vargas vd., 2011).

Aktif karbonlar çeşitli hammadde ve üretim yöntemlerine göre Şekil 1’de gösterildiği gibi toz, granül ve pellet formunda elde edilebilmektedir.

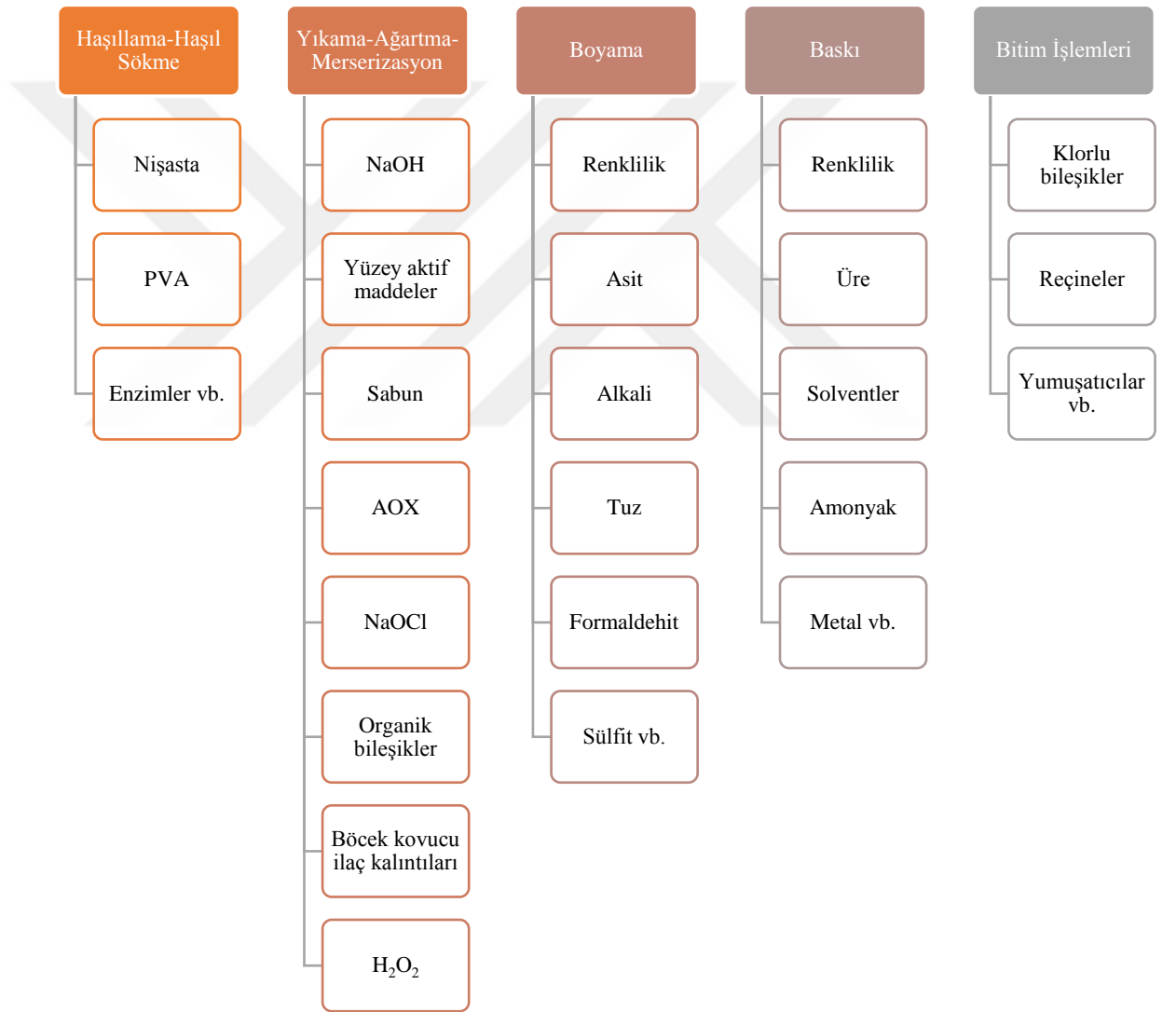


Şekil 1. (a) Toz, (b) Granül, (c) Pellet Aktif Karbon (Şamdan, 2013)

6. TEKSTİL ATIK SULARI

Tekstil endüstrisi, günümüzde sanayi kolları içerisinde doğaya en fazla atık su deşarjı yapan sektörlerden biri konumundadır (Vandevivere vd., 1998., Hussain and Wahab, 2018).

Son yıllarda sanayinin hızla gelişmesi ile beraber dünya üzerindeki sınırlı kaynaklardan biri olan ve gün geçtikte tükenme riski daha da artan suyun tüketimini hızlandırmakta, bunun sonucu olarak atık su miktarının her yıl lineer bir şekilde artmasına neden olmaktadır (Verma vd., 2012; Dasgupta vd., 2014).



Şekil 2. Bir tekstil imalat sanayinin çeşitli aşamalarında yer alan başlıca kirleticilerin bileşenleri (Verma vd., 2009)

Tekstil sektöründe ortaya çıkan ve atık suya karışan başlıca kirleticiler Şekil 2'de gösterilmektedir. Tekstil işletmelerinde yaşanan en büyük problemlerden birisi atık sulardaki rengin uzaklaştırılmasıdır. Terbiye işlemlerinde kullanılan su kapasitesi çok yüksek olduğundan çeşitli yöntemlerle rengin giderilmesi zorunlu hale gelmiştir (Órfão vd., 2006).

Tekstil boyahanelerinde 1 kg pamuklu kumaşın boyanması için ortalama olarak 0,7 kg sodyum klorür ve 30-60 gr arası boyarmadde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra 75-150 kg arasında su tüketimi yapılmaktadır (Giannakoudakis vd., 2016). Günümüzde yıllık ortalama 7000 ton civarında üretilen boyarmaddelerin yaklaşık %10-15'i boyama esnasında boya banyosunda kalarak atık sulara karışmaktadır. Atık sulardaki bu boyarmaddeler ise güneş ışığının girmesini önleyerek atık su ortamına oksijen girişine engel olmaktadır.

Reaktif boyarmaddelerin suda çözünürlüğü yüksektir ve boyama işlemi esnasında boyarmaddelerin %30'u bulabilen bir kısmı hidrolize olmaktadır. Bu nedenle geleneksel arıtma sistemlerinden geçme eğilimi gösterirler ve tekstil atık sularında yüksek oranda renkliliğe neden olmaktadır (Mathew vd., 2019; Giannakoudakis et al, 2016). Ayrıca reaktif boyarmaddelerin adsorplanabilme kapasitesinin düşük olduğu bilinmektedir.

Reaktif boyarmadde sınıflarından en sık kullanılan reaktif azo boyarmaddeleridir. Bu boyarmaddelerin ise aromatik aminlerine ayrıldığında insan sağlığı açısından kansorejen olduğu bilinmektedir (Senthilkumaar vd., 2006).

Tekstil atık sularında renk giderimi konusunda çeşitli yöntemler kullanılabilir. Fakat karmaşık yapıları ve yeterli giderimi tek başlarına sağlayamadıklarından genellikle birkaç yöntem bir arada kullanılmaktadır (Faria vd., 2004).

Arıtma tesislerinde genellikle öncelikle aktif çamur yöntemi ardından da oksidasyon, fenton proses, hidrojen peroksit UV radyasyonu, membran ayırması ve adsorpsiyon yöntemlerinden biri kullanılmaktadır (Órfão vd., 2006). Bu tez çalışması adsorpsiyonu konu aldığından izleyen bölümde adsorpsiyon hakkında bilgi verilmektedir.

7. ADSORPSİYON

Tekstil endüstrisinde açığa çıkan atık sularda renklilik, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), pH, sıcaklık, bulanıklık ve toksisite gibi problemler görülmektedir (Verma vd., 2012).

Adsorpsiyon yöntemi diğer renk giderim yöntemlerine göre, atık sulardaki kirleticilerin giderilmesi konusunda kanıtlanmış etkinliğe sahiptir. Ekonomik açıdan da uygunluğu nedeniyle atık su arıtımında yüksek kullanım potansiyeline sahiptir (Patel and Vashi, 2010). Klasik arıtma yöntemlerle uzaklaştırılması zor olan sentetik boyalar, uygun adsorban kullanımı ile basit ve ekonomik bir biçimde adsorpsiyon yöntemi ile atık sulardan uzaklaştırılabilmektedir (Giannakoudakis vd., 2016).

Adsorpsiyon yönteminin esası, atıksularda bulunan boyarmadde ve kimyasal maddeler gibi kirleticilerin bir adsorbana fiziksel veya kimyasal bağlarla bağlanmasına dayanmaktadır (Kumar vd., 2013).

Adsorpsiyon yönteminin en büyük dezavantajı adsorban olarak kullanılan malzemelerin yüksek maliyetli oluşudur. Bu nedenle alternatif adsorban arayışı devam etmektedir. Adsorpsiyon yönteminde kullanılan adsorbanlar çok çeşitli olabildiği gibi en sık kullanılanlar aktif karbonlardır. Ayrıca killer, zeolitler, biyoküteller ve çeşitli endüstriyel atıklar kullanılabilmektedir.

Yüksek adsorban maliyetlerinin düşürülmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda atık malzemelerin adsorban olarak kullanılma potansiyelleri araştırılmaya başlanmıştır. Böylelikle atık bertarafı ve çevrenin korunması gibi konularda da avantaj elde etme potansiyeli ortaya konmuştur (Bhatnagar and Sillanpää, 2010). Örneğin Isah ve ark (2015); hindistan cevizi kabuklarından aktif karbon üreterek atıksulardan C.I Reactive Blue 19 boyarmaddesinin adsorplanması üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

7.1. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi adsorban molekülleri ve adsorplanan madde arasındaki etkileşimi anlamak için kullanılmaktadır (Subramani and Thinakaran, 2017). Adsorpsiyon izotermi adsorpsiyon işlemi denge haline ulaştığında

adsorbanların katı ve sıvı faz arasındaki dağılımını göstermektedir (Isah vd., 2015; Şahan, 2007; Yılmaz ve Alagöz, 2019).

Adsorpsiyon çalışmalarında, adsorbanın adsorpsiyon kapasitesi(q_e) aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır (Kertmen vd., 2019):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

q_e (mg/g) = Adsorpsiyon kapasitesi

C_0 (mg/l) =Sıvı fazdaki başlangıç boya konsantrasyonu

C_e (mg/l)=Denge konsantrasyonu

V (l) =Kullanılan boya çözeltisinin toplam hacmi

m (g) = Kullanılan adsorbanın kütlesi

Adsorpsiyon çalışmaları kapsamında birçok izoterm modeli kullanılabilse de tek çözünen bulunan sistemlerde Langmuir ve Freundlich izotermi en sık tercih edilen modellerdir (Chung vd., 2015, Santhi vd., 2010). Adsorpsiyon izotermelerinde adsorban konsantrasyonu ve adsorbanın yüzey karakteristikleri doğrudan etkili olan faktörlerdir (Yılmaz, Alagöz, 2019).

İzoterm denklemlerinin uygulanabilirliğine korelasyon katsayıları değerlendirilerek karar verilmektedir (Santhi vd., 2010). Korelasyon katsayısı ise izoterm denklemlerinde yer alan verilerin kullanılmasıyla elde edilen grafiğin eğiminin hesaplanması ile elde edilmektedir. Bu kapsamda en doğrusal grafik en uygun olan izotermi simgelediği gibi birden fazla izoterm de o adsorpsiyon işlemi için uygun olabilmektedir (Yıldız, 2008) .

7.1.1. Langmuir İzotermi

1918 yılında Irving Langmuir tarafından keşfedilen ve ismini keşifçisinden alan Langmuir İzotermi bir adsorpsiyon işleminde doyma noktasına ulaşıldığında oluşan denge halini tarif etmek için kullanılmaktadır (Liu vd., 2019). Langmuir

izotermi, adsorban yüzeyinin enerji açısından benzer olduğu varsayımıyla, tek tabakalı homojen adsorpsiyonu açıklamak için kullanılmaktadır

Langmiur izoterminde adsorplanan madde miktarı doyma doktasına gelinceye kadar doğrusal bir şekilde artar. Langmiur İzotermi eşitlikleri (2) , (3) ve (4)'de gösterildiği gibidir:

$$q_e = \frac{q_{max}K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

q_e (mg/g)=1 g adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı

q_{max} (mg/g)= Denge halinde adsorplanan madde miktarı

C_e (mg/L)= Adsorpsiyon sonrasında çözeltilde kalan madde derişimi

K_L (L/g)= Adsorpsiyon enerjisine bağlı Langmuir sabiti

Eşitlik (2) doğrusal hale getirildiğinde Eşitlik (3) elde edilmektedir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}K_L} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (3)$$

Bu formülden hareketle C_e ve C_e/q_e değerlerinin kullanılmasıyla elde edilecek grafikteki doğrunun eğimi $1/q_{max}$ değerini vermektedir. $1/q_{max}K_L$ ise ordinatı kesim noktasını ifade etmektedir.

Langmuir izoterminin en önemli değeri olan R_L (boyutsuz ayırma faktörü)'nin hesaplanması ise Eşitlik (4)'de gösterilmiştir.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (4)$$

K_L (L/g)= Adsorpsiyon enerjisine bağlı Langmuir sabiti

C_0 (mg/L)= En yüksek başlangıç konsantrasyonu

Langmuir izoterminde R_L değeri incelenerek adsorpsiyonun izoterm modeliyle uyumluluğu hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Bu bağlamda $R_L > 1$ ise izoterm tipi ile uyumsuz, $R_L = 1$ ise lineer, $0 < R_L < 1$ ise uyumlu, $R_L = 0$ ise tersinmez yorumu yapılmaktadır (Elemen, 2011).

7.1.2. Freundlich İzotermi

Freundlich adsorpsiyon izotermi 1906 yılında keşfedilmiş olup ismini keşifçisinden almıştır. Bilinen en eski adsorpsiyon izotermi olan Freundlich izoterminin aslında ampirik bir denklem olmasına rağmen heterojen yüzeylerde gerçekleştirilen adsorpsiyon termodinamiği ile uyumlu olduğu bilinmektedir (Santhi vd., 2010, Liu vd., 2019).

Freundlich izotermi heterojen yüzeyler ile adsorpsiyon işlemlerinde tercih edilen bir model olup denklemini (5)'de gösterildiği gibidir (Elemen, 2011):

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (5)$$

q_e (mg/g) = 1 g adsorban başına adsorplanan boyarmadde miktarı

C_e (mg/L) = Boyarmaddenin denge derişimi

K_F ((mg/g)(L/mg)^{1/n}) = Freundlich sabiti

1/n = Heterojenlik faktörü

Eşitlik (4)'de yer alan denklemin doğrusal hale getirilebilmesi için iki tarafın da logaritması alınmaktadır. Böylelikle denklem Eşitlik (6) haline dönüşmektedir (Yılmaz ve Alagöz, 2019).

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (6)$$

7.2. Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon sürecinde gerçekleşen difüzyon, kütle transferi, kimyasal reaksiyonlar gibi parametreleri analiz etmek için çeşitli kinetik modellerin tasarlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Geliştirilen çeşitli modellerde deneysel veriler kullanılarak adsorpsiyon oranı ve mekanizması belirlenebilmektedir

(Senthilkumaar vd., 2006) . Bu bağlamda yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (Pseudo-First Order kinetic model) ve yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (Pseudo-second order kinetic model) en sık kullanılan iki yöntemdir (Elemen, 2011).

7.2.1. Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model

Yalancı birinci dereceden denklemin genel ifadesi Eşitlik (7)'da yer aldığı şekildedir:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (7)$$

Burada q_e (mg/g) denge halinde birim miktarda adsorban tarafından adsorbe edilen boyarmadde miktarını, q_t herhangi bir anda adsorbanın gramı başına adsorplanan boyarmadde miktarını (mg/g), k_1 (dk⁻¹) ise hız sabitini ifade etmektedir (Mahmoodi vd., 2011).

Eşitlik (6) lineer hale dönüştürüldüğünde Eşitlik (8) elde edilmektedir.

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \left(\frac{k_1}{2.303}\right) t \quad (8)$$

Adsorpsiyon sistemlerinde adsorban üzerine gerçekleşen adsorpsiyon t ye karşı $\log(q_e - q_t)$ grafiğinden belirlenmektedir. Çizilen grafiğin eğimi hız sabiti k_1 'i, kesişim noktası ise q_e değerini vermektedir.

7.2.2. Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model

Yalancı ikinci dereceden kinetik model Ho ve McKay tarafından ortaya atılmıştır ve adsorpsiyon kinetiklerinde en sık kullanılan denklemlerden birisidir. Bu modelin denklemini Eşitlik (9)' de gösterilmiştir.

$$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{k_2 q_e^2}\right) + \left(\frac{1}{q_e}\right) t \quad (9)$$

q_e (mg/g)= Denge anında 1 g adsorban tarafından adsorplanan boyarmadde miktarı

q_t (mg/g)= Herhangi bir anda 1 g adsorban tarafından adsorplanan boyarmadde miktarı

k_2 (g/mg.dk)= Hız sabiti

$k_2q_e^2$ =Başlangıç hız sabiti(h) (Blaid vd., 2013)

Bu tez çalışması kapsamında, tekstil katı atıklarından aktif karbon eldesi incelenmekte olup, bu aktif karbonların boya adsorplama performansları değerlendirilmekte ve adsorpsiyon izoterm ve kinetikleri tartışılmaktadır. İzleyen bölümde, konu ile ilişkili gerçekleştirilmiş daha önceki çalışmalara değinilmektedir.



8. GENEL BİLGİLER

Literatür incelemesi kapsamında aktif karbon üretimi için çeşitli metotlarla geniş hammadde yelpazesinde aktif karbon üretiminin mümkün olduğu görülmüştür. Bu tez kapsamında selülozik lif ailesinden pamuk liflerini içeren kumaşlardan aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle selülozik atıklardan aktif karbon elde edilen çalışmalara örnekler verilmiştir. Hameed vd., (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; aktif karbon elde etmek için bambu tercih edilmiş ve CO₂ ortamında potasyum hidroksit (KOH) kullanılarak aktivasyon gerçekleştirilmiştir. Aktivasyon esnasında 850 °C'de çalışmışlardır. Elde edilen aktif karbonların metilen mavisini adsorplama kapasiteleri belirlenmiş ve Langmiur İzotermi ile doğrulanmıştır.

Williams and Reed., (2004), keten ve kenevir liflerinden üretilen dokusuz yüzeyleri çinko klorür ve fosforik asit kullanarak kimyasal aktivasyon metoduna göre aktif karbon üretimi gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında emdirme oranı ve piroliz sıcaklığının aktif karbon yüzey özelliklerine etkisini inceleyen araştırmacılar maksimum verim sağlanabilmesi için optimum üretim koşullarının belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Tekstil atıklarından üretilen aktif karbonların 2000 m²g⁻¹'in üzerinde yüzey alanına ve mikro gözenekli yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca çinko klorür kullanarak üretilen aktif karbonların fosforik asitle üretilenlere kıyasla daha yüksek yüzey alanına sahip olduğu bulunmuştur.

Selülozik liflerden aktif karbon üretimi gerçekleştirilen çalışmalardan bir diğeri Dizbay vd. (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan sisal liflerinden H₃PO₄ kullanarak kimyasal aktivasyon metoduyla aktif karbon üretiminde karbonizasyon koşullarının aktif karbon yüzey özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında farklı piroliz sıcaklıkları (550 °C, 600 °C, 650 °C), karbonizasyon süreleri (1-3 saat) ve azot akış hızları (94.4, 188.8 ve 377.6 ml/dakika) incelenmiştir. Denemeler sonucunda karbonizasyon sıcaklığı ve süresi arttıkça yüzey alanı, toplam gözenek hacmi ve karbon içeriğinin arttığı, ancak azot akış hızı arttıkça sonuçların negatif olarak etkilendiği bulunmuştur.

Phan vd., (2006) jüt ve hindistan cevizi liflerinden fiziksel ve kimyasal aktivasyon metotlarına göre aktif karbon üretmiştir. Fiziksel aktivasyon işlemi 950 °C'de CO₂ atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Kimyasal aktivasyonda ise fosforik asit çözeltisi kullanılmış ve piroliz işlemi 900 °C'de gerçekleştirilmiştir. Atıklardan elde edilen aktif karbonların atık su arıtımında kullanımını planlayan

araştırmacılar Acid Red 27 boyarmaddesi, fenol ve Cu^{+2} iyonlarını adsorplama kapasitelerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kimyasal aktivasyon metoduyla üretilen aktif karbonların daha yüksek gözenekliliğe sahip olduğu, bu nedenle de adsorplama kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Senthilkumaar vd. (2006), azot gazı ortamında fosforik asit ile kimyasal aktivasyon işlemi kullanarak Hindistan cevizi kabukları ve jt liflerinden aktif karbon elde etmişlerdir. Elde ettikleri aktif karbonlar ile kırmızı renkteki reaktif boyarmadde ile adsorpsiyon çalışmaları yapmışlardır. Çalışmada boya ve adsorban konsantrasyonu, adsorpsiyon süresi ve pH'ın adsorpsiyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda jt lifi ile elde edilen aktif karbonların daha başarılı sonuçlar verdiği grlmştir.

Correia vd. (2018), pamuk ağırlıklı tekstil atıkları kullanarak kimyasal aktivasyon metodu ile aktif karbon üretmiş ve üretilen adsorbanların tekstil atıksularından renk gideriminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Aktif karbon üretimi esnasında aktive edici kimyasal olarak K_2CO_3 kullanılmış ve $500\text{ }^\circ\text{C}$ de 70 dk piroliz işlemi gerçekleştirmişlerdir. Üretilen aktif karbonlara çeşitli karakterizasyon testleri uygulayan çalışma ekibi, kimyasal aktivasyon metodunun aktif karbon gözenek miktarı ve gözenek çeşidi üzerinde yüksek oranda etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Adsorpsiyon denemelerinde ise Remazol Black N gran 150% reaktif boyasını adsorplama kapasitesi incelenmiştir. Bu alışma kapsamında bu tezde olduğu gibi hidrolizat boya zltisi kullanılmıştır. Denemeler sonunda üretilen aktif karbonların ticari aktif karbona kıyasla daha üstün boya adsorplama kapasitesine sahip olduğunu bulmuşlardır.

Zheng vd. (2014), pamuklu dokuma kumaş atıklarından aktif karbon lifler üretmek için öncelikle kumaşların %80'lik fosforik asit zltisi ve ardından %7,5 diamonyum hidrojen fosfat zltisi ile muamele etmişlerdir. Numuneler kurutulduktan sonra $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızı ile $500\text{-}800\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30-60 dakika karbonize etmişlerdir. Karbonizasyon adımından sonra $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında $700\text{-}900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30-60 dakika bekletilerek CO_2 ile aktivasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan aktif karbon elyafların petrol sahası atık sularında adsorban olarak kullanımı değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda yüksek yüzey alanına sahip aktif karbon lifler elde edilmiş ve petrol sahası atık sularında %80 KOI giderimi sağlayabileceği tespit edilmiştir.

Chiu ve Ng. (2012), tıbbi pamuklu kumaş atıklarından $ZnCl_2$ kullanarak kimyasal aktivasyon metoduyla argon gazı ortamında 400-600 ve 700 °C'de aktif karbon üretmişlerdir. Üretilen aktif karbonların lifli yapısını koruduğu ve $2060 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ yüzey alanına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Aktif karbonların atık sulardan metilen mavisini adsorplama yeteneğini de inceleyen araştırmacılar nötr ve alkali pH değerlerinde adsorplama kapasitesinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Hammadde olarak tekstil ürünlerinin kullanıldığı çalışmalara örnek olarak selülozik lif tabanlı olanlara ek olarak Chen vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada olduğu gibi hayvansal lif esaslı örnekler vermek de mümkündür. Söz konusu çalışma kapsamında araştırmacılar, yün liflerinden kimyasal aktivasyon yolu ile aktif karbon üretmiş ve metilen mavisini adsorplama yetenekleri araştırmışlardır. Aktive edici olarak K_2CO_3 ve H_3PO_4 kullanılmış, piroliz sıcaklığı ve emdirme oranının aktif karbon özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonunda metilen mavisinin molekül boyutu kısmen büyük olduğunda yün aktif karbonların adsorplama kapasitesinin sınırlı olduğu belirlenmiştir.

Bu tez kapsamında pamuklu tekstil atıkları dışında pamuk/poliester karışımı kumaşlardan da aktif karbon üretilmiştir. Literatür incelemesi kapsamında bulunan poliester kumaşlardan aktif karbon üretimi gerçekleştirilen bazı çalışmalar örnek olarak sunulmuştur.

Yu vd. (2018), atık poliester liflerinden kimyasal aktivasyon metoduna göre $ZnCl_2$ kullanarak 500, 600, 700, 800 ve 900 C'de aktif karbon üretimi gerçekleştirmiştir. Ürettikleri aktif karbonların metilen mavisi içeren çözeltilerden renk giderim performanslarını ve yüzey karakteristiklerini belirlemişlerdir. Çalışma kapsamında piroliz sıcaklığı arttıkça aktif karbon yüzey alanının da arttığını, böylece adsorpsiyon başarısının da arttığını tespit etmişlerdir.

Yu vd. (2018), başka bir çalışmalarında da, ağırlıkça %64'e kadar yüksek karbon içeriğine sahip atık poliester tekstil ürünlerinin, aktif karbon hazırlamak için ideal bir hammadde işlevi görebileceğini kanıtlamışlardır.

Xu vd. (2019), poliester kumaş atıklarından farklı inorganik demir tuzları kullanılarak aktif karbon üretimi gerçekleştirmiştir. Üretilen aktif karbonların 'eriochrome black T' azo boyarmaddesini adsorplama davranışları incelenmiştir. Ayrıca yüzey karakteristikleri, elementel içerikleri ve termal davranışları da

incelenmiştir. Çalışma sonunda yüksek gözenekliliğe sahip aktif karbonların adsorpsiyon denemelerinde de başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Xu vd. (2018), atık poliester kumaşları $MgCl_2$ ile kimyasal aktivasyon metoduna göre piroliz işlemine tabi tutmuşlardır. Üretilen aktif karbonların yüzey ve gözenek özellikleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında piroliz sıcaklığı, süresi ve aktive edici kimyasal oranının aktif karbon özelliklerine etkileri saptanmıştır.

Tez kapsamında tekstil arıtma çamurlarından da aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiş ve kumaş atıklarından elde edilenler ile karşılaştırılmıştır. Kimyasal aktivasyon metoduna göre 500 °C'de aktif karbon üretimi gerçekleştirilip ardından reaktif boyarmadde adsorplama kapasitesinin incelenmesi göz önüne alınarak bu çalışmaya benzer çalışmalardan birisi Sonai vd. (2016) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bahsedilen çalışmada araştırmacılar, tekstil arıtma çamurlarını H_2SO_4 kullanarak kimyasal aktivasyon metoduna göre aktif karbon haline getirmişlerdir. Piroliz işlemi 500 °C'de 70 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. XRF, FT-IR, SEM ve BET, Boehm titrasyon metoduna göre uç grup analizleri yapılmıştır. Üretilen aktif karbonların Reaktif Red 2 boyarmaddesini adsorplama kapasitesi incelenmiştir. Tekstil arıtma çamurlarından üretilen aktif karbonların tekstil atıksularında bulunan reaktif Red 2 boyasını başarıyla adsorpladığı bulunmuştur.

Aşağıda bu tez kapsamında da incelenen Reaktif Red 141 boyarmaddesinin adsorplanmasına dayalı çalışmalar örnek olarak gösterilmiştir.

Dolphen vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Reaktif Red 141 boyasının atıksulardan uzaklaştırılması için, kitin ve modifiye kitin kullanılmıştır. Modifiye edilmiş kitinin işlenmemiş kitine kıyasla boyarmadde adsorplama yeteneği daha düşük bulunsa da araştırmacılar boyarmaddenin elüsyonunun modifiye kitinde daha kolay olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle atık su arıtma sistemlerinde modifiye kitin kullanımının kolon arıtmasında yardımcı olabileceği yorumunu yapmışlardır.

Georgin vd. (2016) ise Reaktif Red 141 ve Direct Black 38 boyarmaddelerinin adsorpsiyon tekniği ile atıksulardan uzaklaştırılması için yer fıstığı kabuğundan aktif karbon üretimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları kapsamında piroliz ve mikrodalga ışımasının ardından piroliz gerçekleştirerek numune üretimlerini sağlamışlardır. Aktif karbon üretimi fiziksel aktivasyon

metoduna göre gerçekleştirilmiş ve 5 °C/dk ısıtma hızı ile (25 °C-800 °C) 800 °C'de 5 saat piroliz yapılmıştır. Çalışma sonunda piroliz işleminden önce mikrodalga ışımasına tabi tutulan numunelerin yüksek oranda daha başarılı adsorplama özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Elemen (2011), modifiye edilmiş bentonit'in adsorban-boyarmadde konsantrasyonu, sıcaklık ve süre değişkenlerine bağlı olarak Reaktif Red 141 boyarmaddesini adsorplama kapasitesini incelemiştir. Araştırma sonucunda renk gideriminin adsorban miktarındaki artışla doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.



9. MATERYAL-METOT

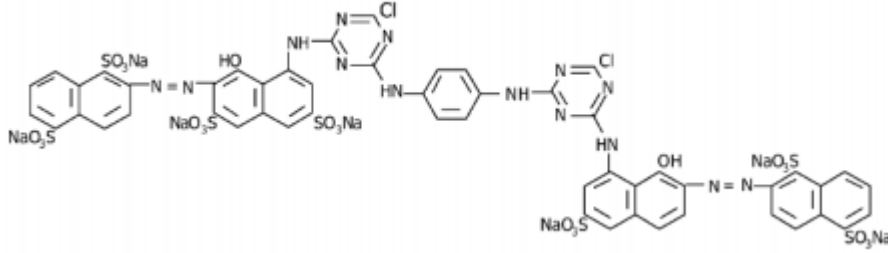
9.1. Materyal

9.1.1. Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddeler:

Aktif karbon üretimi için 3 ayrı hammadde seçimi yapılmıştır. Hammadde olarak %100 pamuk esaslı süprem örme kumaş, %50 pamuk-%50 poliester esaslı dokuma kumaş ve tekstil endüstrisi atıksu arıtıma çamuru kullanılmıştır. Tüm hammaddeler Batı Basma Sanayi A.Ş'den temin edilmiştir.

9.1.2. Boyarmadde

Adsorpsiyon çalışmalarında Dystar firmasından temin edilen Reaktif Red 141 (RR141) boyarmaddesi kullanılmıştır. Kullanılan boyarmaddenin ticari ismi Procion Red HE7B'dir.



Şekil 3.Reaktif Red 141 Boyarmaddesinin Kimyasal Yapısı (Elemen, 2011)

Çalışmalar esnasında tekstil atıksularının simüle edilmesi amacıyla boya çözeltileri hidrolizat haline getirilmiştir. Hidrolizat çözeltileri hazırlanırken 2 g/l Reaktif Red 141 boyarmaddesi, 50 g/l tuz(Na_2SO_4) ve 20 g/l soda(NaCl) ilavesi yapılmıştır.

9.2. Metot:

9.2.1. Adsorbanların hazırlanması

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılması planlanan adsorbanlar iki aşamada elde edilmiştir. Tekstil atıkları, özellikle lifli atıklar heterojen ve gözenekli yapıdadır ve özgül ağırlıkları düşüktür. Bu nedenle, aktivasyon işleminin daha

düzdün ve tekrarlanabilir olabilmesi için, bu atıklar öncelikle karbonca zengin ve homojen bir yapıya sahip “biochar”a dönüştürülmüştür. Elde edilen “biochar”lar kullanılarak kimyasal aktivasyon yöntemine göre aktif karbonlar elde edilmiştir.

9.2.1.1. “Biochar” eldesi

105 °C’de 24 saat kurutulan ve piroliz reaktörüne konacak uygun boyutlara getirilen atıklar dikey sabit yataklı reaktöre yerleştirildikten sonra reaktör hava almayacak şekilde kapatılmış ve azot gazı ortamında (25 ml/dk akış hızı) 300 °C’ye 10 °C/dk ısıtma hızı ile ısıtılarak bu sıcaklıkta 15 dakika bekletilmiştir. Piroliz sırasında oluşan uçucular soğutma kapanlarından geçirilerek piroliz sıvıları yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaşmayan uçucular (gazlar) kontrollü şekilde atmosfere verilmiştir.

Reaktör soğuduktan sonra reaktördeki piroliz katı ürünü (biochar) alınarak tartılmış ve % kütleli verimleri hesaplanmıştır.

9.2.1.2. Aktif karbon eldesi

Atıklardan elde edilen “biochar”lardan kimyasal aktivasyon prosesine göre aktif karbon elde edilmiştir.

Tipik bir aktivasyon işleminde: “biochar”lar öğütüldükten sonra 1:1 (ağırlıkça) oranında $ZnCl_2$ ile emdirilmiş ve 24 saat süreyle etüvde 105 °C de bekletilmiştir. Ardından 550 °C (10 °C/dk ısıtma hızı) ’de azot gazı ortamında (25 ml/dk akış hızı) numune tipi dikey sabit yataklı piroliz reaktöründe 1 saat piroliz işlemi gerçekleştirilerek kimyasal aktivasyon prosesi uygulanmıştır. Piroliz sırasında oluşan uçucular soğutma kapanlarından geçirilerek piroliz sıvıları yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaşmayan uçucular kontrollü bir şekilde atmosfere verilmiştir.

Piroliz işlemi ardından aktifleştirmiş “biochar”lar, önce %10’luk HCl çözeltisi ile 1 saat süreyle geri soğutucu da kaynatılmış, daha sonra klor tamamen uzaklaşmaya kadar sıcak saf su ile yıkanmıştır. Aktif karbon üzerinde aktifleştirici kimyasal kalıntısının kalıp kalmadığının tespiti yıkama sularında $AgNO_3$ çözeltisi testi ile yapılmıştır. Saf su ile yıkama işlemi ardından elde edilen aktif karbonlar etüvde kurutulduktan sonra tartılmış ve % kütleli verimleri

hesaplanmıştır. Adsorpsiyon denemelerinde kullanılmak üzere bıçaklı öğütücüde (LLG A11) öğütülmüş ve ardından gaze bezinden (200 mesh) geçirilmiştir.

9.2.2. Adsorpsiyon çalışmaları

Elde edilen aktif karbonların tekstil atık sularındaki renk giderim performanslarının belirlenmesinde kullanılmak üzere stok hidrolizat çözeltisi hazırlanmıştır. Reaktif boyarmaddeler, boyama sırasında lif ile kovalent bağ oluşturmakla birlikte bir kısım reaktif boya su ile reaksiyona girerek hidrolizat adı verilen yapıya dönüşmektedir. Bu yapı, reaktif gruba sahip olmadığından life kovalent bağ ile bağlanamamakta ancak yüksek afiniteye sahip olduğundan life tutunmaktadır. Life bağlanmayan bu hidrolizat haldeki boyanın da yıkamalarla uzaklaştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla, reaktif boyama ve art-yıkamalar sonrasında açığa çıkan atık suda bulunan reaktif boyaların tümünün hidrolizat formunda olduğu söylenebilir. Bu nedenle, gerçek reaktif boyama atık suyunu simüle etmek amacıyla hidrolizat halindeki reaktif boyalar kullanılmıştır. Hidrolizat çözeltisi hazırlanırken 2 g/l Reaktif Red 141 boyarmaddesi, 50 g/l tuz(Na_2SO_4) ve 20 g/l soda(NaCl) ile 70 °C'de 1 saat işlem görmüştür.

Stok çözeltiden, 5, 20, 60, 100, 140, 180 ve 220 mg/l konsantrasyonda boya çözeltileri hazırlanmış ve pH 9'a ayarlanarak UV-Vis spektrofotometrede kalibrasyon eğrisi belirlenmiştir.

Adsorpsiyon denemeleri esnasında adsorban cinsi, adsorban miktarı, boyarmadde konsantrasyonu ve adsorpsiyon süresi değişken olarak belirlenirken pH 9'da sabit tutulmuştur. Çalışmalarda 3 ayrı aktif karbon (pamuk esaslı, pamuk/poliester esaslı, arıtma çamuru esaslı) ve 3 ayrı adsorbent miktarı (0,5, 1 ve 1,5 g/l) kullanılmıştır. 10, 50, 100, 150 ve 200 mg/l'lik boyar madde konsantrasyonlarında çalışılmıştır. Adsorpsiyon süresi olarak; 0,5, 1, 2, 6, 16 ve 24 saatlik süreler denenmiştir. Adsorpsiyon deney parametreleri toplu olarak Tablo 2'de listelenmektedir.

Tablo 2. Adsorpsiyon Deney Parametreleri

Adsorban Cinsi	Adsorban Konsantrasyonu (g/l)	Boyarmadde Konsantrasyonu (mg/l)	Süre (saat)
Pamuk Aktif Karbon Pamuk/Poliester Aktif Karbon Arıtma Çamuru Aktif Karbon	0,5 1 1,5	10	0,5
		50	1
		100	2
		150	6
		200	16
			24

Tüm deney grupları için minimum 2'şer tekrar yapılarak elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır.

Belirlenen boyarmadde konsantrasyonlarına göre hazırlanan çözeltiler içerisine belirlenen miktarlardaki aktif karbonlar eklendikten sonra Nüve ST 402 marka çalkalayıcı su banyosunda belirlenen sürelerde çalkalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon süresi sonunda, çözelti süzülerek aktif karbonlar uzaklaştırılmış, geriye kalan çözeltilerin adsorbans değerleri Perkin-Elmer Lambda 25 model UV-Vis spektrofotometrede ölçülmüştür. Spektrofotometrik ölçümlerin ardından kalibrasyon eğrisi kullanılarak adsorbanların % renk giderim kapasitesi hesaplanmıştır. Daha sonra Lagmiur ve Freundlich izotermine göre adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir.

9.3. Analizler

Tez kapsamında elde edilen “biochar” ve aktif karbonların üretim verimleri ve elementel analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen malzemelerin karakterizasyonu için aşağıdaki analizler uygulanmıştır.

- Yüzey morfolojisi için SEM analizi
- Yüzey alanı, gözenek alanı ve gözeneklilik için BET analizi
- Yüzey fonksiyonel grupların tayini için FT-IR analizi
- Arıtma çamurundan elde edilen aktif karbonların metal içeriğinin saptanması için XRF analizi
- Asidik bazik uç grup tayini

9.3.1. Verim-Elementel Analiz

Aktif karbon üretim proseslerinde kullanılacak hammaddenin bol ve ucuz bulunabilir olmasının yanı sıra piroliz sonrası kütleli verimi de proses optimizasyonu açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle elde edilen “biochar” ların verimleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\text{Verim, \% kütleli} = (m_2 * 100) / m_1$$

m_2 = “biochar” kütlesi

m_1 = pirolizlenen atık kütlesi

Aktif karbonların verimleri ise hem “biochar” hem de atık üzerinden hesaplanmıştır.

$$\text{Verim 1, \% kütleli} = (M_2 * 100) / M_1$$

M_2 = aktif karbon kütlesi

M_1 = aktifleştirilen “biochar” kütlesi

$$\text{Verim 2, \% kütleli} = (M_2 * 100) / M_1$$

M_2 = aktif karbon kütlesi

M_1 = başlangıç atık kütlesi

Bu tez kapsamında hammaddelerin aktif karbon üretim prosesine elementel açıdan uygunluğunun tespit edilmesi, “biochar” ve aktif karbon prosesinden sonraki elementel içerik ve özellikle karbon miktarındaki değişimin belirlenmesi amacıyla elementel analiz yapılmıştır. Elementel analiz ASTM D5291-96 standardına göre LECO CHNS 932 markalı cihazda gerçekleştirilmiştir.

9.3.2. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi

Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddelerin, üretilen “biochar” ve aktif karbonların morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için farklı büyütme oranlarında taramalı elektron mikroskopu ile görüntüleri alınmıştır. Görüntüler İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi Malzeme Araştırma Merkezi’nde (İYTE MAM) bulunan Quanta 250 SEM cihazında ve Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde (Ege MATA) bulunan Thermo Scientific Apreo S cihazı ile alınmıştır.

9.3.3. Brunauer-Emmet-Teller (BET) Analizi

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılacak adsorbanın kalitesi yüzey alanı ile doğrudan ilişkilidir (Saka, 2012). Malzemelerin yüzey özelliklerinin belirlenmesinde BET analizi kullanılmaktadır. Bu tez kapsamındaki BET analizleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde (MERLAB) bulunan Qantachrome Autosorb IQ2 cihazında ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezinde (İYTE MAM) bulunan Mikromeritics Gemini V cihazında yaptırılmıştır.

9.3.4. X-Işını Floresansı (XRF) Analizi

Tekstil kumaş atıklarındaki metal içeriği ihmal edilebilir seviyededir. Tekstil terbiye işlemleri sonucu açığa çıkan katı atıkların içerisinde ise metal elementleri olabilmektedir. Bu nedenle XRF analizi sadece işlem görmemiş arıtma çamuru ve bu çamurdan üretilen “biochar” ve aktif karbonlara uygulanmıştır. Bu kapsamda numunelerin EDXRF spektrometresi Ege MATA’da bulunan Rigaku NEXCG model cihaz ile belirlenmiştir.

9.3.5. Boehm Titrasyon Metoduna Göre Uç Grup Tayini

Adsorban olarak kullanılacak aktif karbonların adsorplama davranışlarının belirlenmesinde yüzey kimyası, nem içeriği, katalitik özellikleri ve asit-baz karakteristikleri önemli bir rol oynamaktadır (Salame and Bandosz, 2001). Aktif karbon üretiminde kullanılan aktivasyon yönteminin parametrelerine göre aktif karbonun barındırdığı fonksiyonel gruplarda da çeşitlilik meydana gelmektedir (Demiral vd., 2011). Aktif karbonların yüzey fonksiyonel gruplarını fenolik hidroksilik ve karboksilik gruplar, normal laktanlar, Quinone tipi karbonil gruplar, Fluorescein type laktanlar, siklik peroksitler, karboksilik asit anhidritler oluşturmaktadır. Bu fonksiyonel gruplar üzerine bağlanan O₂ ve H asidik-bazik yüzey oksitlerinin oluşumunu sağlamaktadır. Aktif karbonlarda bulunan yüzey oksitler genel olarak asidik özellikte olmaktadır (Kılıç., 2018).

Aktif karbonların yüzey grupları tayininde ıslak ve kuru analiz metodları uygulanmaktadır. Boehm titrasyon metodu ıslak teknikler sınıfında yer alır. (Salame and Bandosz, 2001). Boehm titrasyon metodunda NaOH’ın karboksilik, fenolik ve laktonik grupları nötralize ettiği kabul edilerek fenolik, laktonik ve

karboksilik yüzey fonksiyonel grupları tayin edilir (Chiang vd., 2002; El-Sayed and Bandosz, 2004).

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen asidik ve bazik yüzey fonksiyonel grupları tayini Boehm titrasyon metoduna göre gerçekleştirilmiş olup kabaca asidik ve bazik grup miktarları mmol/g cinsinden hesaplanmıştır.

Boehm titrasyon metodunda 0,05 molar HCL, NaOH ve Na₂CO₃ çözeltileri kullanılmıştır. Tüm aktif karbonlardan 2'şer adet 0,25 gr tartılarak üzerlerine asidik uç grup tayini yapılacak numuneler için 100'er ml NaOH, bazik uç grup tayini yapılacak numuneler için 100'er ml HCl çözeltisi eklenmiştir. Ardından tüm numuneler 24 saat boyunca 150 rpm hızındaki çalkalayıcıda bekletilmiştir. Na₂CO₃ çözeltisi titrasyonun doğruluğunu kontrol etme amacıyla kullanılmıştır. Tüm denemeler ikişer tekrarlı gerçekleştirilmiştir.

9.3.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi

Tez kapsamında kullanılan ve üretilen malzemelerin yüzey fonksiyonel gruplarının belirlenmesi amacıyla Ege MATAL bünyesindeki Perkin Elmer Spectrum Two cihazında Elmas kristal-ATR (Zayıflatılmış Toplam Yansıma) modülü ile 4000-600 cm⁻¹ arasında analiz yapılmıştır.

10. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında yüksek miktarda atık su oluşumuna sebep olan sektörlerin başında gelen tekstil sektöründe çevre dostu tekstil üretimine katkı sağlamak amaçlanarak; tekstil atıklarından aktif karbon elde edilmesi, bu aktif karbonların da tekstil atık sularından renk gideriminde kullanılması hedeflenmiştir. Çalışmalar üç grup altında toplanmaktadır. Tekstil atıklarının heterojen bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında öncelikle atıklardan düşük sıcaklık piroliz tekniğine göre “biochar” eldesi gerçekleştirilmiştir (birinci grup denemeler). Böylelikle daha homojen yapıya sahip karbonca zengin başlangıç malzemesi elde edilmiştir. Ardından kimyasal aktivasyon metoduna göre aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiş ve üretilen aktif karbonlara çeşitli karakterizasyon testleri uygulanmıştır (ikinci grup denemeler). Son grup denemelerde, üretilen aktif karbonların Reaktif Red 141 boyarmaddesini adsorplama kapasiteleri belirlenmiş ve adsorpsiyon izotermi ve kinetiklerine uyumluluğu incelenmiştir.

10.1. Verim-Elementel Analiz

Bu tez kapsamında üretilen “biochar” ve aktif karbonların kütleli verimleri bölüm 8.2.1’de açıklandığı gibi hesaplanmıştır. “Biochar” % kütleli verimleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo .3 “Biochar”ların Kütleli Verimleri (%)

Aritma Çamuru “Biochar”	Pamuk “Biochar”	Pamuk/Poliester “Biochar”
79	60	72

Elde edilen “biochar” verimlerinin minimum %60 olduğu görülmüştür. Pamuk ve pamuk/poliester esaslı kumaşlardan “biochar” üretiminin incelendiği bir çalışmada (Hanoğlu vd., 2019) 300 °C’de pamuk/poliester için elde edilen kütleli verimin bu çalışmadaki ile benzer olduğu ancak pamuk esaslı “biochar” veriminin bu proje kapsamında daha yüksek bulunduğu görülmüştür. Bu farkın piroliz süresinin daha kısa olmasından kaynaklandığı öngörülmüştür. 300 °C’de yapılan piroliz işleminde pamuk esaslı atıklardan elde edilen “biochar” kütleli veriminin, diğerlerine kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Pamuk/poliester karışımı atıklardan elde edilen “biochar” kütleli veriminin daha yüksek olması

poliester liflerinin daha yüksek termal parçalanma sıcaklığı (yaklaşık 420-480 °C) ile ilişkilidir. Çalışılan sıcaklıkta (300 °C), karışım içerisindeki poliester parçalanmamakta, yalnızca eriyerek kömürleşmiş pamuk lifinin yüzeyini kaplamaktadır. Kumaş esaslı atıkların kül içeriği ihmal edilebilir seviyede iken arıtma çamurunun kül içeriği %10 olarak tespit edilmiştir. Arıtma çamurunun kül miktarı yüksek olduğundan yüksek biyokömür verimi vermiştir.

Bu tez kapsamında “biochar”den hareketle aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle aktif karbon % kütleli verimleri hem hammaddeye göre hem de “biochar”a göre hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Aktif Karbonların Kütleli Verimi (%)

	Arıtma Çamuru Aktif Karbon	Pamuk Aktif Karbon	Pamuk/Poliester Aktif Karbon
Hammaddeye Göre	34	28	31
“Biochar”a Göre	43	46	43

Akçakal, (2017) gerçekleştirdiği tez çalışmasında badem kabuğu, şeftali ve kayısı çekirdeği içeren üçlü bir karışımdan aktif karbon üretimi gerçekleştirmiştir. 1:1 ZnCl₂ kullanarak azot gazı ortamında 1 saat boyunca piroliz işlemi gerçekleştirdiğinde bu çalışmadaki aktif karbon verimlerine yakın sonuçlar elde etmiştir. Yang and Qui., (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise 1:1 empenye oranında ZnCl₂ ile ceviz kabukları 550 °C’de aktive edilmiş ve kütleli verimi % 41.3 bulunmuştur. Bu tez kapsamında elde edilen aktif karbon verimleri dikkate alındığında “biochar” bazında elde edilen % kütleli verimler örnek çalışmalarla benzer sonuçlar gösterse de esas hammaddeden (atıktan) elde edilen % kütleli verimlerin özellikle kumaş atıklarında daha düşük olduğu görülmüştür. Arıtma çamurundan elde edilen aktif karbonun hammaddeye göre daha yüksek kütleli verime sahip olması, “biochar” veriminin yüksek olmasındandır.

Hammaddelerin aktif karbon üretim prosesine elementel açıdan uygunluğunun tespit edilmesi, “biochar” ve aktif karbon prosesinden sonraki elementel içerik ve özellikle karbon miktarındaki değişimin belirlenmesi amacıyla yapılan elementel analiz sonuçları Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5. İşlemsiz, ‘biochar’ ve aktif karbon halindeki maddelerin elementel ve kül içerikleri (%)

		C	H	N	S	O*	Kül
Aritma çamuru	İşlemsiz	55,5	6,9	4,8	1,1	21,4	10,3
	“Biochar”	59,0	1,5	4,9	0,7	20,0	13,9
	Aktif karbon	61,3	1,8	5,1	0,7	15,1	16,0
Pamuk	İşlemsiz	44,8	6,4	-	-	48,8	-
	“Biochar”	57,3	5,3	-	-	37,4	-
	Aktif karbon	83,3	1,8	-	-	13,9	1,0
Pamuk/poliester	İşlemsiz	52,4	4,7	-	-	42,9	-
	“Biochar”	64,4	4,1	-	-	31,5	-
	Aktif karbon	84,0	2,1	-	-	11,7	2,2

*farktan hesaplanmıştır (% O = 100 – (%C+ %H+ %N+ % S+ % kül)

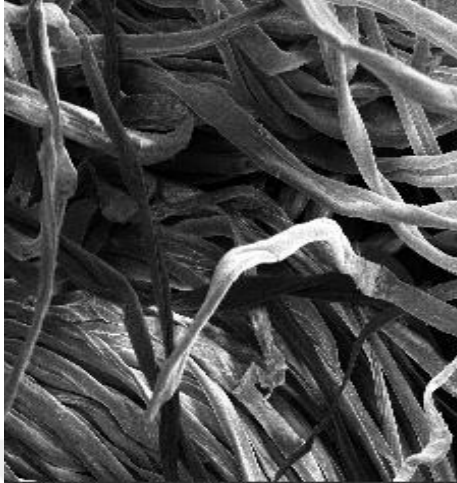
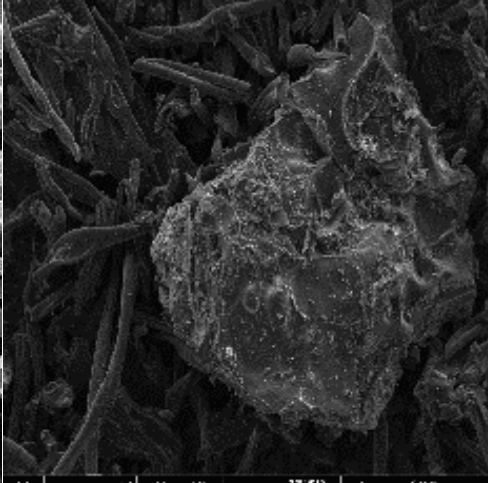
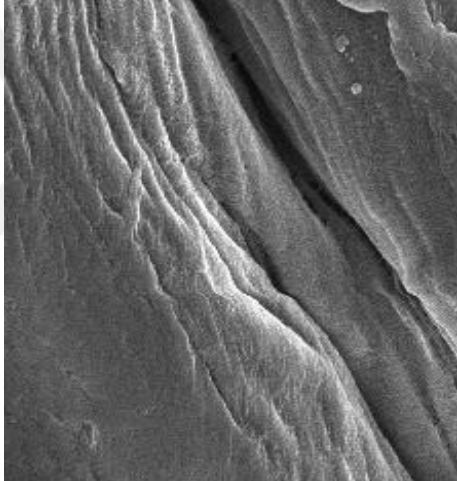
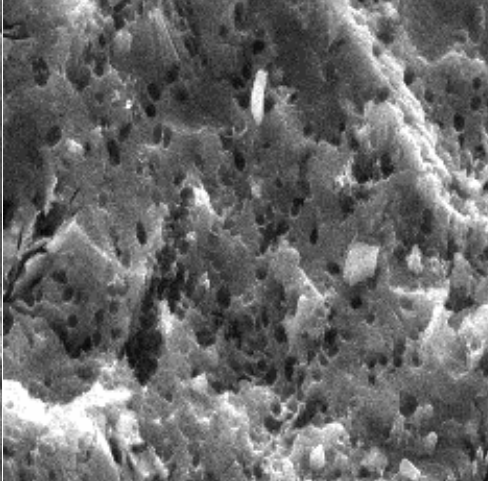
Analizi yapılan maddelerin işlemsiz hallerinde yüksek oranda karbon elementi tespit edilmiş olup, aktif karbon üretimi için ideal hammaddeler oldukları belirlenmiştir. Piroliz işlemi ile beraber pamuk ve pamuk/poliester esaslı malzemelerin oksijen içeriği yüksek oranda azalmış, karbon içeriğinde ise artış olmuştur. Aritma çamurunun kül içeriği piroliz işlemiyle artarken (% 13,9) oksijen içeriğinde bir değişiklik olmamış, karbon içeriğinde hafif bir artış gözlenmiştir.

Aktifleştirme işleminden sonra, pamuk ve pamuk/poliester esaslı aktif karbonların karbon içeriğinde önemli ölçüde artış, oksijen içeriğinde ise azalma olmuştur. İlginçtir ki, arıtma çamurundan elde edilen aktif karbonun elementel bileşiminde fazla bir değişiklik olmamıştır.

10.2. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi

Tablo 6, 7 ve 8’de sırasıyla arıtma çamuru, pamuk ve pamuk/poliester atıkları ve bunlardan elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri gösterilmektedir. Aritma çamurunun ham ve aktif kömür halinde iken pürüzlü ve gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Pamuk esaslı aktif kömüre ait SEM görüntüleri incelendiğinde, kimyasal aktivasyon ile aktif karbon üretimi sonucunda lifli yapının bozulduğu ve yüzeyde gözeneklerin oluştuğu açıkça görülmektedir. Benzer durum pamuk/poliester esaslı aktif karbonlar için de geçerlidir.

Tablo 7. Pamuk Esaslı Maddelerin SEM Görüntüleri

	Pamuk ham	Pamuk aktif karbon
1000X	 <p>JEOL JSM-IT100 SEM 10.0kV X1000 5.0um S14549 500um SE Standard 3.00um 8.8mm ETD SE</p>	 <p>JEOL JSM-IT100 SEM 10.0kV X1000 5.0um S14549 500um SE Standard 3.00um 8.8mm ETD SE</p>
50000X	 <p>JEOL JSM-IT100 SEM 10.0kV X50000 2.0um S14549 500um SE Standard 3.00um 8.8mm ETD SE</p>	 <p>JEOL JSM-IT100 SEM 10.0kV X50000 2.0um S14549 500um SE Standard 3.00um 8.8mm ETD SE</p>

Tablo 9. "Biochar"lara ait BET analiz sonuçları

	Toplam Gözenek (cc/g)	Ortalama Gözenek Genişliği (nm)	Yüzey Alanı (m²/g)
Aritma Çamuru "Biochar"	0,0041	24,35	0,67
Pamuk "Biochar"	0,0075	15,28	1,96
Pamuk/Poliester "Biochar"	0,0104	105,26	0,39

Tablo 10'de üretilen aktif karbonların yüzey alanları, gözeneklilik miktarları ve gözenek yapıları gösterilmiştir. İki ayrı test merkezinde gerçekleştirilen analiz sonuçları da yan yana verilerek karşılaştırılmıştır.

Tablo 10. Aktif Karbonlara ait BET Analizi Sonuçları

	Toplam Gözenek (cc/g)	Ortalama Gözenek Yarıçapı (nm)	Yüzey Alanı (m²/g)	Mikrogözenek (cc/g)
MERLAB				
Aritma Çamuru Aktif Karbon	0,4946	1,68	587,91	0,1190
Pamuk Aktif Karbon	0,8044	1,17	1378,94	0,4360
Pamuk/Poliester Aktif Karbon	0,5251	1,29	809,18	0,2870
İYTE MAM				
Aritma Çamuru Aktif Karbon	0,4510	2,99	604,26	
Pamuk Aktif Karbon	0,7486	2,23	1343,93	
Pamuk/Poliester Aktif Karbon	0,5360	2,51	855,91	

Aktif karbon üretim prosesinden sonra yüzey alanının yüksek oranda arttığı görülmüştür. Elde edilen tüm aktif karbonlar mikro gözenekli yapıdadır. Aktif karbonlar arasında en yüksek yüzey alanı pamuk esaslı aktif karbonlarda gözlenmiştir. Bunu sırasıyla pamuk/poliester ve arıtma çamuru esaslı aktif karbonlar izlemektedir.

Yu vd., (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada atık poliester liflerinden kimyasal aktivasyon metoduna göre $ZnCl_2$ kullanılarak $500\text{ }^\circ\text{C}$ 'de üretilen aktif karbonların yüzey alanı $467.60\text{ m}^2/\text{g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu tez kapsamında elde edilen pamuk/poliester esaslı aktif karbonların yüzey alanlarının pamuk esaslı aktif karbonlara göre düşük olmasının nedeni bahsedilen çalışma dikkate alınarak poliester içeriğinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır.

10.4. X-Işını Floresansı (XRF) Analizi

Pamuk ve pamuk/poliester esaslı kumaşların inorganik bileşik içeriği ihmal edilebilir seviyelerde olduğundan, XRF analizi yalnızca arıtma çamuru ve bundan elde edilen “biochar” ve aktif karbonlara uygulanmıştır. XRF analiz sonuçları Tablo 11’de verilmektedir. İnorganik içerik olarak en çok silisyum, sodyum ve kalsiyum varlığı tespit edilmiştir. Aktif karbon üretim aşamasında $ZnCl_2$ kullanılmıştır. Aktivasyon işlemi tamamlandıktan sonra tekrarlı yıkamalar gerçekleştirilmesine rağmen yapının içerisinde %3,99 oranda Cl ve %3,28 oranda Zn kaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler, Sonai vd. (2016) tarafından tekstil arıtma çamurlarından aktif karbon üretilen çalışmaya kıyasla daha düşük bulunmuştur.

Tablo 11. Arıtma çamurunun inorganik içeriği, % ağırlıkça

	İşlemsiz	“Biochar”	Aktif Karbon
Mg	0,276	0,106	-
Si	3,88	1,32	2,6
Al	0,838	0,23	0,391
Cl	0,342	0,225	3,99
Zr	0,156	0,0721	0,141
Na	1,53	1,09	1,77
K	0,23	0,119	0,0371
Ca	1,96	0,813	0,113
Ti	0,39	0,205	0,363
Cr	0,0053	0,0023	0,0068
Fe	0,866	0,423	0,107
Cu	0,149	0,0758	0,159
Zn	0,0985	0,0479	3,28
P	0,229	0,12	-

10.5. Boehm Titrasyon Metoduna Göre Uç Grup Tayini

Aktif karbonların yapısında yer alan yüzey oksijenli grupların (asidik ve bazik) miktarları Tablo 12’de gösterilmektedir. Arıtma çamuru esaslı aktif karbonlarda asidik yüzey oksitlerin miktarı diğer aktif karbonlara oranla daha yüksektir ve bazik gruba rastlanmamıştır. Pamuk esaslı aktif karbonda yüksek oranda bazik yüzey oksitlere rastlansa da asidik yüzey oksitlerin miktarı daha yüksektir. Pamuk/poliester esaslı aktif karbonda ise eser miktarda bazik yüzey oksitler bulursa da asidik yüzey oksitlerin miktarı daha yüksek bulunmuştur.

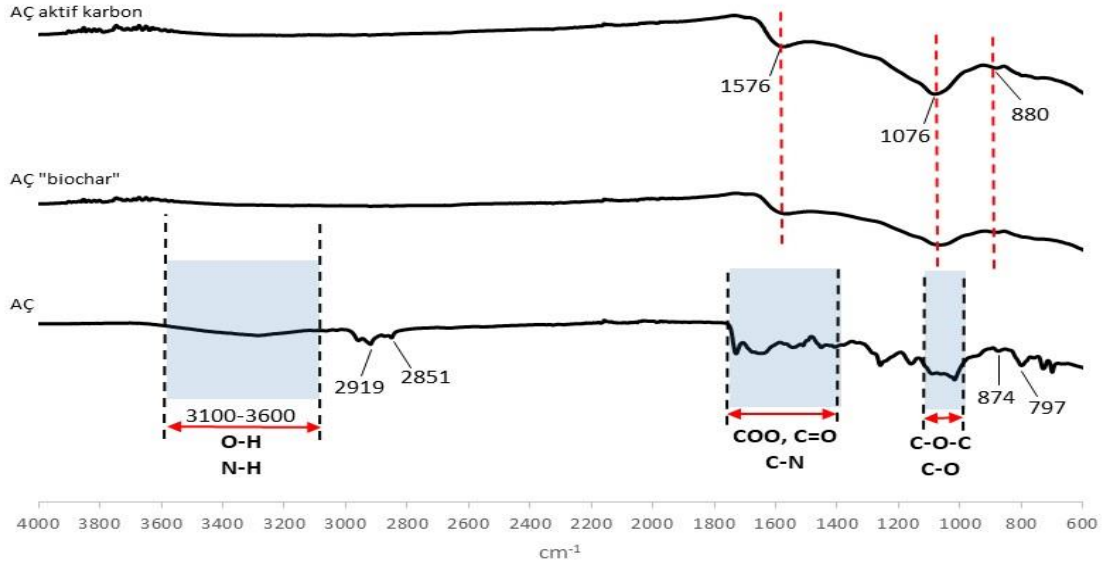
Tablo 12. Aktif Karbonların Asidik-Bazik Yüzey Oksit Gruplarının Miktarları

	Asidik gruplar, mmol/g	Bazik gruplar, mmol/g
Arıtma çamuru aktif karbon	3,228	-
Pamuk aktif karbon	1,302	0,932
Pamuk/poliester aktif karbon	1,516	0,086

Silva vd., (2018) ve Carraro vd., (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda selülozik ve poliester lifler içeren denim kumaş atıklarından aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirdikleri çalışmada, bu tez kapsamındaki tekstil atıklarından üretilen aktif karbonlar ile benzer şekilde asidik yüzey oksitlerin miktarı daha yüksek bulunmuştur. Palm vd., (2006) tarafından jüt ve hindistan cevizinden aktif karbon üretilen çalışmada da asidik yüzey oksitlerin miktarı daha yüksek bulunmuştur.

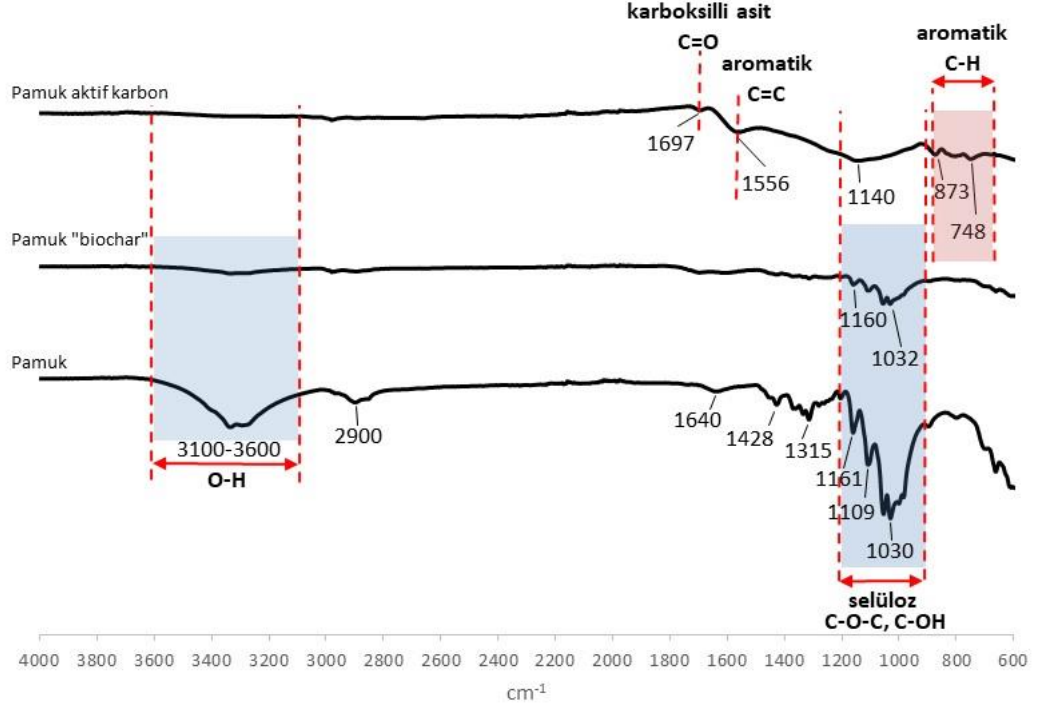
10.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi

Şekil 4’de tekstil boyahane atık suyu arıtma çamuru ve bu atıktan elde edilen “biochar” ve aktif karbona ait FT-IR spektrumları verilmektedir.



Şekil 4. Tekstil atık suyu arıtma çamuru ve bundan üretilen “biochar” ve aktif karbona ait FT-IR spektrumları

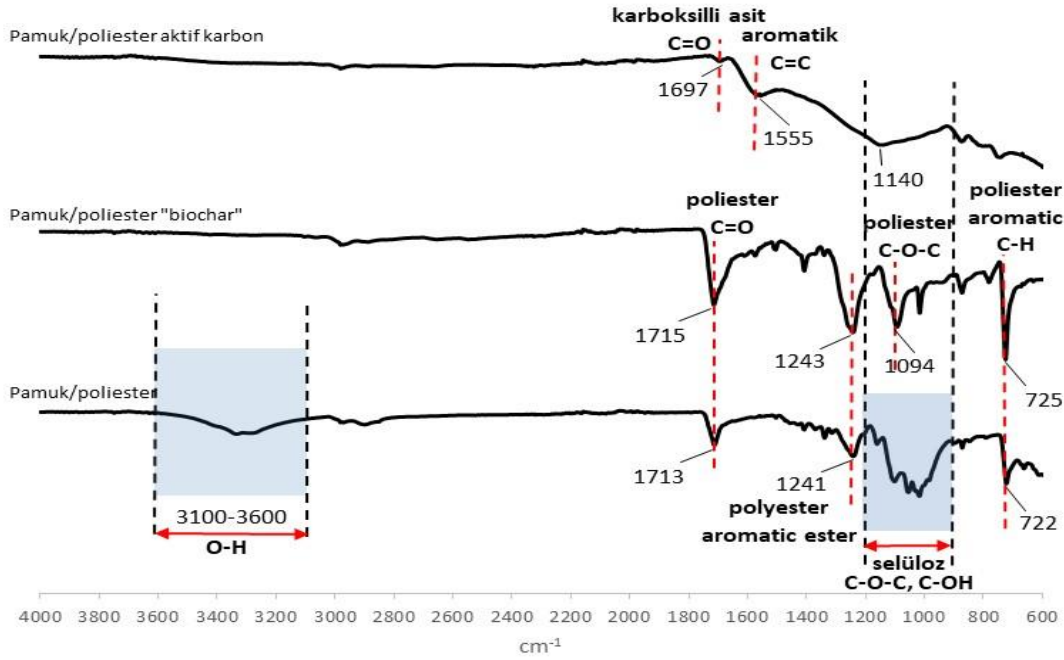
Arıtma çamurunun FT-IR spektrumu incelendiğinde birçok fonksiyonel grubun varlığı görülmektedir. 3100-3600 cm^{-1} aralığındaki geniş pik yapıdaki su, alkoller ve karboksilli asitlerle ilişkili O-H gerilme bandına (Wang et al., 2019) ve organik bileşiklerle ilişkili olan N-H gerilmesine (Peng et al., 2015) karşılık gelmektedir. Piroliz ve aktivasyon sonrasında bu pikin ortadan kalktığı görülmüştür. 2919 cm^{-1} ve 2851 cm^{-1} 'de bulunan pikler alkil gruplarındaki asimetrik ve simetrik C-H gerilmesini göstermektedir. Piroliz ve aktivasyon sonrasında bu piklerin büyük oranda ortadan kalktığı görülmüştür. Bu durum, alifatik C-H zincirlerinin karbondioksit, metan veya diğer gazlara parçalandığını veya aromatik yapılara dönüştüğünü işaret etmektedir (Wang et al., 2019). 1400-1750 cm^{-1} aralığındaki pikler COO, C=O ve C-N gerilmelerini, yaklaşık 1000-1050 cm^{-1} aralığındaki pikler ise muhtemelen yapıdaki karbonhidratlardan kaynaklı C-O-C ve C-O gerilmelerini belirtmektedir (Gulnaz et al., 2006; Kacan, 2016; Yang et al., 2015). 874 cm^{-1} 'deki pik ise aromatik halkaları (Wang et al., 2019) işaret etmektedir. Piroliz ve aktivasyon sonrasında bu piklerin büyük oranda ortadan kalkarken aromatik yapının oluştuğu (1576 cm^{-1} 'de aromatik C=C gerilmesi ve 880 cm^{-1} aromatik C-H gerilmesi) görülmüştür.



Şekil 5. Pamuklu tekstil atığı ve bundan üretilen “biochar” ve aktif karbona ait FT-IR spektrumları

Şekil 5’de pamuklu tekstil atıkları ve bu atıklardan elde edilen “biochar” ve aktif karbona ait FT-IR spektrumları verilmektedir. Pamuğa ait spektrumda 3100-3600 cm^{-1} bandı intramoleküler hidrojen bağlarının O-H gerilmesine karşılık gelmektedir. Pamuk esaslı “biochar” da bu pik yoğunluğunun iyice azaldığı, aktif karbonda ise kaybolduğu görülmüştür. Ayrıca, pamuk spektrumunda 2900 cm^{-1} ’deki pik alifatik C-H gerilmesini göstermektedir ve bu pikin “biochar” ve aktif karbonda ortadan kalktığı görülmüştür. Bu durum yapının aromatikleştiğinin bir göstergesidir. Pamuk lifinin spektrumunda 900-1200 cm^{-1} aralığında karbonhidratlara (özellikle selüloz ve hemiselüloz) ait başlıca pikler bulunmaktadır. 1161 cm^{-1} , piranoz halkasındaki simetrik C-O-C gerilmesi (Dave vd., 2014), 1109 cm^{-1} ve 1030 cm^{-1} ise selüloz ve hemiselüloz için C-O ve C-OH gerilmeleri (Chung vd., 2004; Fan vd., 2012, Carillo vd., 2004) ile ilişkilidir. Aktif karbonda karbonhidrat bantlarının pik yoğunluğu önemli ölçüde azalmıştır, bu da pamuk lifinin dehidrasyon ve depolimerizasyona uğradığını işaret etmektedir. Piroliz ve aktivasyon sonrasında, pamuktaki karbonhidrat bantları azalırken, aromatik fonksiyonelliği gösteren 700-900 cm^{-1} (aromatik C-H deformasyon bantları) ve 1556 cm^{-1} ’de (aromatik halkadaki C=C gerilmesi) pikler ortaya çıkmıştır (Pütün vd., 2005; Wu vd., 2012; He vd., 2016; Krishna vd., 2016; Sych vd., 2012). Pamuk spektrumunda 1640 cm^{-1} ’deki pik adsorplanan suya ait O-H

deformasyonunu göstermektedir ve aktif karbonda bu pik yoğunluğu önemli ölçüde düşmüştür. Aktif karbondaki 1697 cm^{-1} 'deki pik ise karboksilli asit gruplarını karakterize etmektedir. 1140 cm^{-1} 'deki pik ise alkol, fenol, eter veya ester gruplarındaki C-O gerilmesi ile ilişkilidir (Saka, 2012). Sonuç olarak, pamuk esaslı aktif karbonda yapının aromatikleştiği ve yapıda asidik uç grupların ortaya çıktığı söylenebilmektedir.



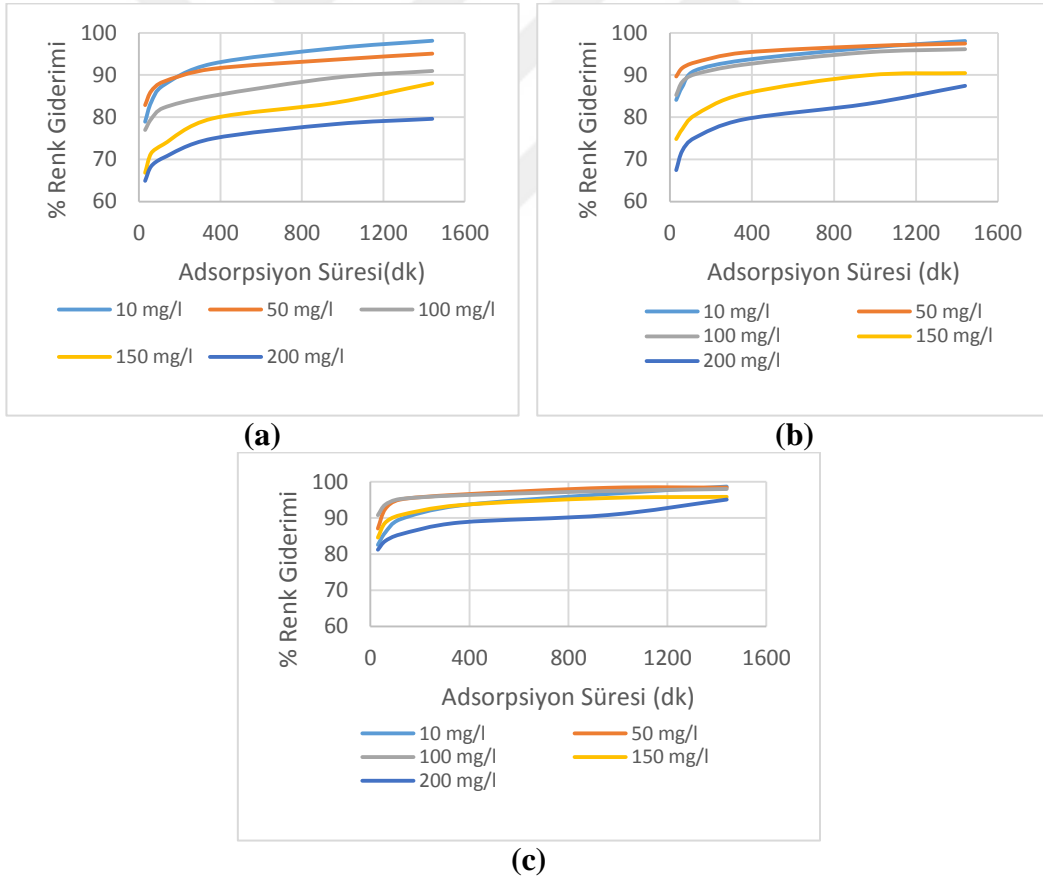
Şekil 6. Pamuk/poliester tekstil atığı ve bundan üretilen "biochar" ve aktif karbonda ait FT-IR spektrumları

Şekil 6'da pamuk/poliester karışımı esaslı tekstil atıkları ve bu atıklardan elde edilen "biochar" ve aktif karbonda ait FT-IR spektrumları verilmektedir. Pamuklu atıklarda olduğu gibi, pamuk/poliesterde de $3100-3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında O-H gerilme bandı görülmektedir. Piroliz sonucunda bu pik ortadan kalkmıştır. Poliester lifinin karakteristik pikleri 1713 cm^{-1} 'de karbonil (C=O) gerilmesi, 1241 cm^{-1} 'de aromatik ester asimetrik gerilmesi, 1094 cm^{-1} 'de C-O-C gerilmesi ve 722 cm^{-1} 'de aromatik C-H düzlem dışı titreşimi olarak sayılabilir (Palaskar vd., 2011; Natarajan ve Moses, 2012; Peets vd., 2017; Yuan et al, 2018). Görüldüğü gibi "biochar"a ait spektrumda poliesteri karakterize eden bantlarda herhangi bir değişim olmamıştır. Bu durum, "biochar" üretim süreci sonucunda poliesterin parçalanmadan yapıda kaldığını göstermektedir. "Biochar" kütleli veriminin yüksek olması da bu sonucu desteklemektedir. Diğer yandan, pamuğu karakterize eden $900-1200\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki piklerin yoğunluğu piroliz ile azalırken, yeni aromatik bantların ortaya çıktığı görülmektedir (1573 cm^{-1} , aromatik C=C

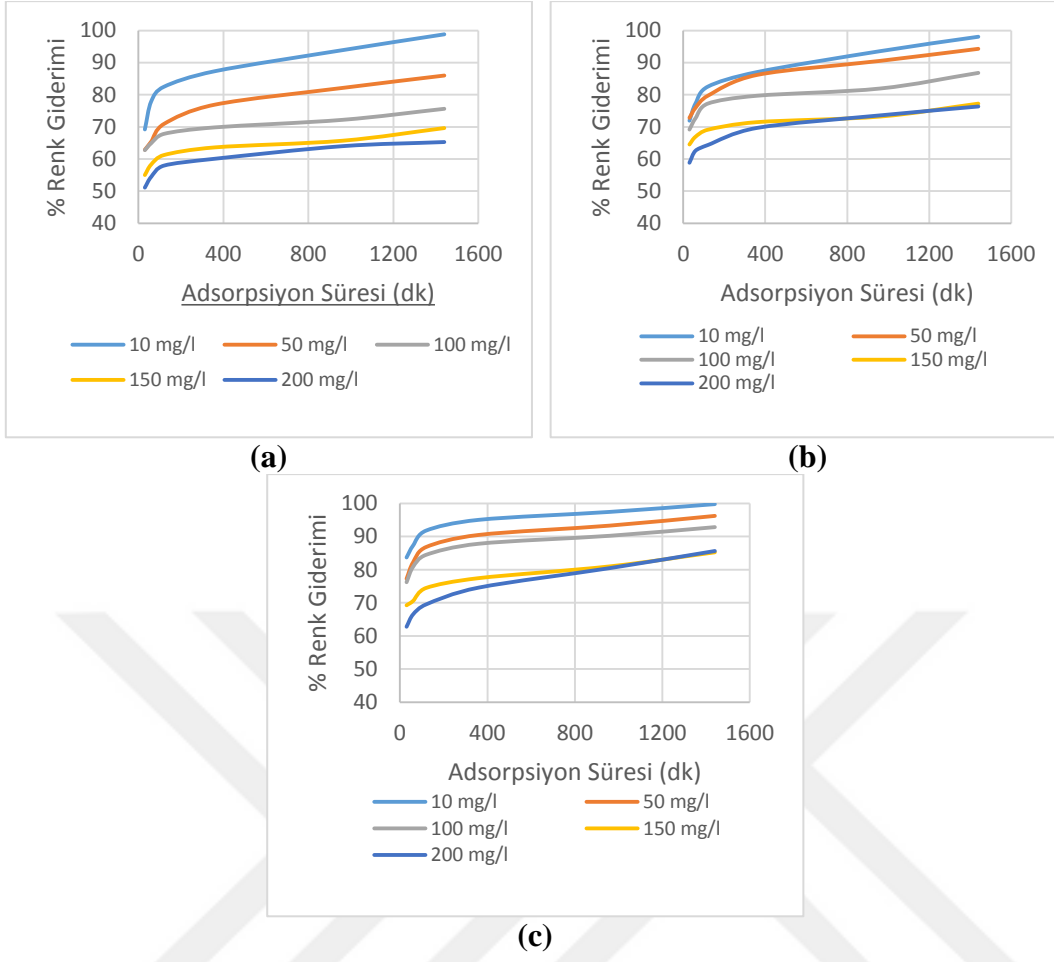
gerilmeleri). Öte yandan, aktivasyon işlemi sonrasında poliesteri karakterize eden pikler ortadan kalkmıştır ve poliester kısmının da karbonize olduğunu göstermektedir. Pamuk/poliester esaslı aktif karbonun FT-IR spektrumu, pamuk esaslı aktif karbon ile aynı piklere sahiptir.

10.7. Aktif Karbonların Renk Giderim Performansı

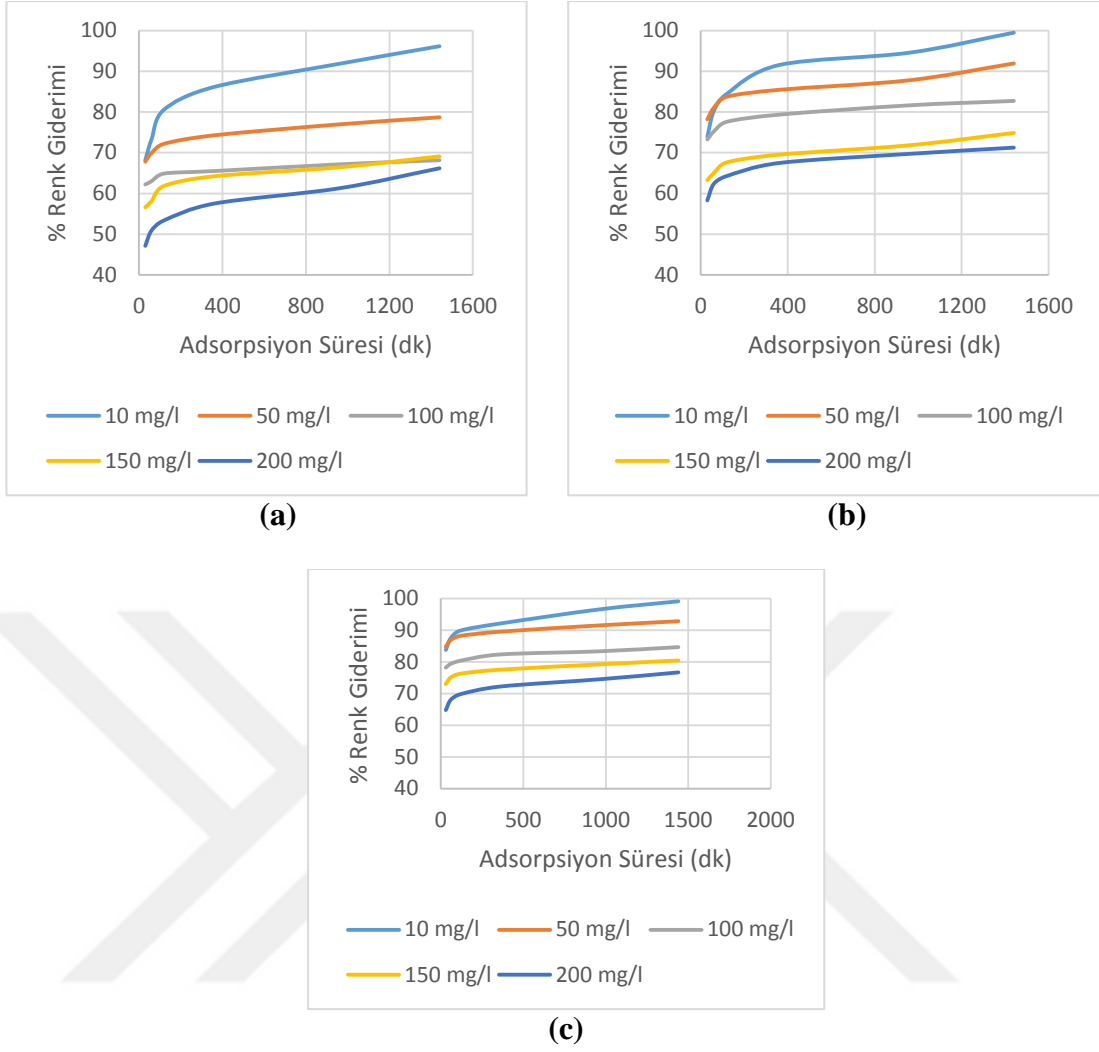
Adsorpsiyon denemeleri kapsamında üç adet aktif karbon (Aritma çamuru, pamuk, pamuk/poliester esaslı), 5 adet boyar madde konsantrasyonu (10, 50, 100, 150, 200 mg/l) ve 6 adet adsorpsiyon süresi (0,5, 1, 2, 6, 16, 24 saat) değişken olarak belirlenmiştir. Denemeler kapsamında tekstil atık suyu referans olarak alındığından tüm denemeler pH 9'da gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme minimum iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Belirli adsorban kullanım miktarlarının süreye bağlı olarak adsorpsiyon çözeltilerinden renk giderim performansları Şekil 7, 8 ve 9'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Aritma çamuru aktif karbonunun % renk giderim performansı. Adsorban miktarı: (a) 0,5 g/l, (b) 1 g/l, (c) 1,5 g/l



Şekil 8. Pamuk aktif karbonunun % renk giderim performansı. Adsorban miktarı: (a) 0,5 g/l, (b) 1 g/l, (c) 1,5 g/l



Şekil 9. Pamuk/poliester aktif karbonunun % renk giderim performansı. Adsorban miktarı: (a) 0,5 g/l, (b) 1 g/l, (c) 1,5 g/l

Şekiller incelendiğinde kullanılan adsorban miktarı arttıkça adsorplanan renk miktarının da arttığı görülmektedir. 0,5 g/l adsorban kullanımında minimum % renk giderimi %40'ın üzerindeyken 1 g/l adsorban kullanımında %50'nin üzerinde gerçekleşmiştir. 1,5 g/l adsorban kullanımında ise minimum % renk giderimi % 60'ın üzerinde bulunmuştur. Ayrıca boyarmadde konsantrasyonu arttıkça, adsorpsiyon sonunda çözelti içerisindeki renkliliğin azalsa da tamamen giderilemediği görülmüştür. Yani boyarmadde konsantrasyonu arttıkça % renk giderim miktarlarında düşüş görülmüştür.

Tüm adsorbanların 10 ml/l gibi düşük boyarmadde konsantrasyonu içeren çözeltilerde %90'ın üzerinde renk giderimi sağladığı gözlemlenmiştir. Fakat

adsorpsiyon değerleri genel olarak incelendiğinde arıtma çamuru esaslı aktif karbonların en yüksek adsorplama kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamurundan elde edilen aktif karbonların yüzey alanı en düşük olsa da, yapıda bulunan inorganik içerik nedeniyle adsorplama kapasitesinin yüksek olduğu düşünülmektedir. En düşük adsorplama kapasitesine sahip aktif karbon türünün ise pamuk/poliester esaslı aktif karbonlar olduğu grlmştir.

Aynı zamanda adsorbanın zelti içerisindeki kalış süresine bağlı olarak renk giderim miktarının yüksek oranda değiştiği gözlemlenmiştir. Temas süresi arttıa giderilen renk miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen denemeler kapsamında denge durumunun 24 saat süre sonunda sağlandığı tespit edilmiştir.

10.8. İzoterm alışmaları

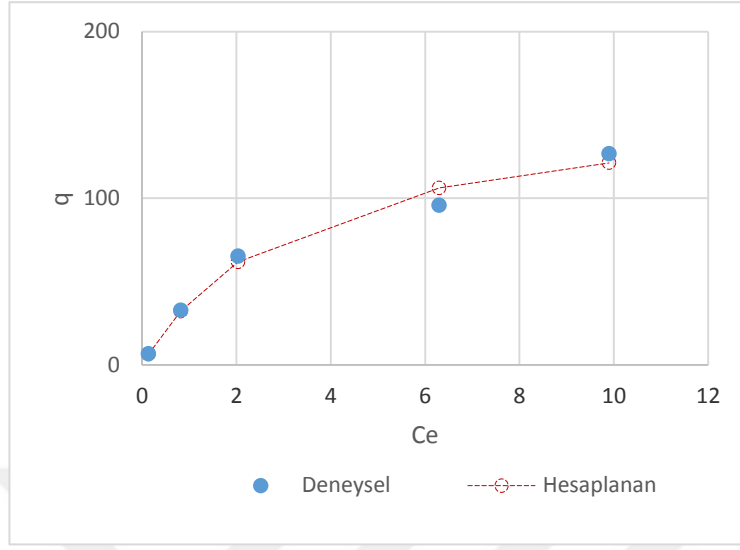
İzoterm alışmaları farklı adsorban konsantrasyonlarındaki arıtma çamuru, pamuk ve pamuk/poliester esaslı aktif karbonların adsorpsiyon sonrasındaki denge durumları tarif edilmek için kullanılmıştır. İzoterm çalışmalarında, denge halinin gözlemlendiği 24 saatlik adsorpsiyon süresi ve 1,5 g/l adsorban miktarı ile yapılan adsorpsiyon deney verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda tüm deney sonuçları Langmuir ve Freundlich izotermi ile irdelenmiştir.

10.8.1. Langmuir İzotermi

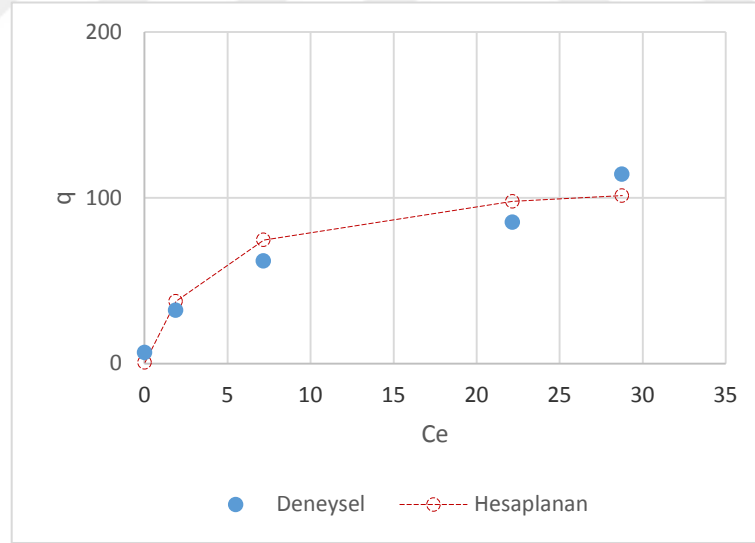
Langmuir adsorpsiyon denklemi sonucunda elde edilen veriler Tablo 13’de gösterilmiştir. Arıtma çamurundan, pamuktan ve pamuk/poliesterden elde edilen aktif karbonlar sırasıyla, A-AK, CO-AK ve CO/PES-AK simgeleriyle gösterilmiştir. Ayrıca izoterm grafiklerinden arıtma çamuru aktif karbona ait olanlar Şekil 10’da, pamuk aktif karbona ait olanlar Şekil 11’de, pamuk/poliester aktif karbona ait olanlar ise Şekil 12’de gösterilmiştir.

Tablo 13. Langmuir İzotermi parametreleri

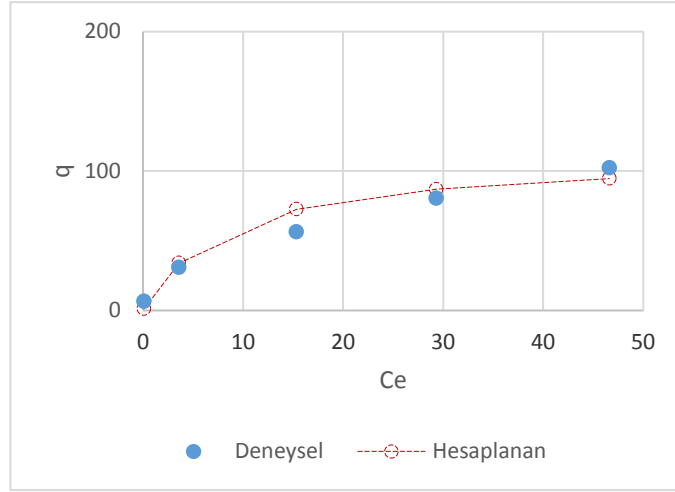
	Q_{max} (mg/g)	KL (L/mg)	RL	R₂	ΔQ (x100)
A-AK	161,29	0,31	0,0161	0,98	0,62
CO-AK	114,94	0,26	0,0191	0,93	9,78
CO/PES-AK	111,11	0,12	0,0391	0,93	8,43



Şekil 10. Langmuir izoterminde arıtma çamuru aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi



Şekil 11. Langmuir izoterminde pamuk aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi



Şekil 12. Langmuir izotermine pamuk/poliester aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi

R^2 değerleri her üç aktif karbon ile yapılan adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeline uygun olduğunu göstermektedir. R_L değerlerinin sıfır değerine yaklaşması, tamamen ideal tersinmez durumu göstermektedir. Adsorpsiyon sisteminin tavsiye edilebilirliği, o sisteminin tersinmez olması ile ilişkilidir. En yüksek adsorpsiyon kapasitesini arıtma çamurundan elde edilen aktif karbon göstermiştir.

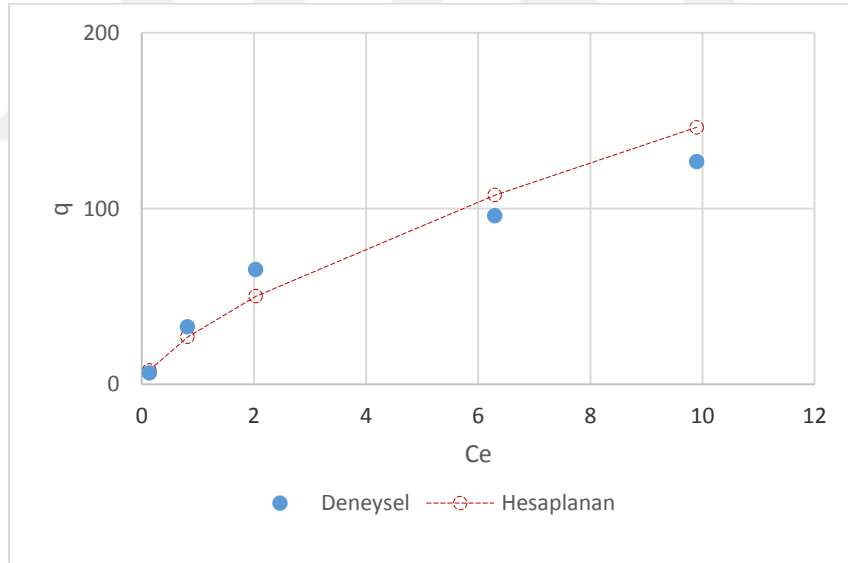
10.8.2. Freundlich İzotermi

Gerçekleştirilen adsorpsiyon işlemlerinin modellenmesi için kullanılan diğer yöntem Freundlich adsorpsiyon izotermidir. Bu izoterm modeli uygulanarak elde edilen değerler Tablo 14’de gösterilmiştir. Arıtma çamurundan, pamuktan ve pamuk/poliesterden elde edilen aktif karbonlar sırasıyla, AÇ-AK, CO-AK ve CO/PES-AK simgeleriyle gösterilmiştir. Ayrıca izoterm grafiklerinden arıtma çamuru aktif karbona ait olanlar Şekil 13’de, pamuk aktif karbona ait olanlar Şekil 14’de, pamuk/poliester aktif karbona ait olanlar ise Şekil 15’ de gösterilmiştir.

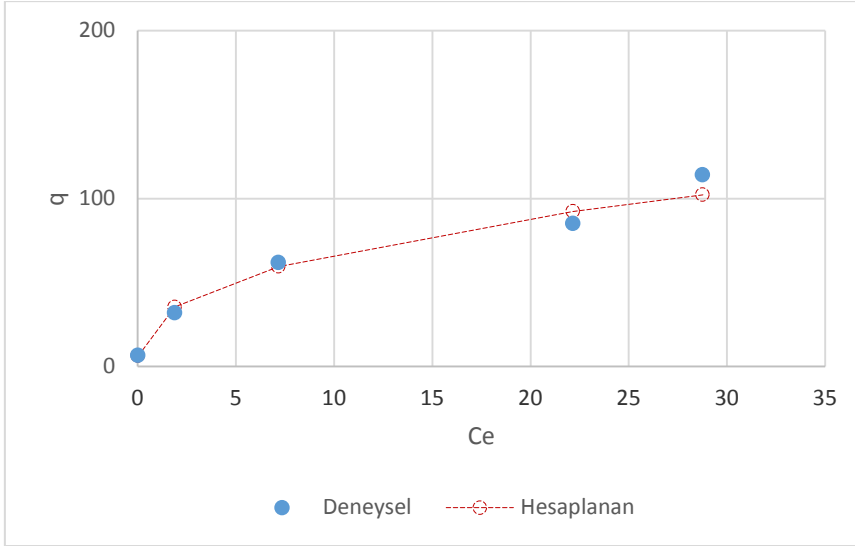
Tablo 14. Freundlich İzotermi Parametreleri

	$1/n$	K_F (mg/g)	R^2	ΔQ ($\times 10^2$)
AÇ-AK	0,68	30,98	0,97	1,76
CO-AK	0,39	27,72	0,99	0,32
CO/PES-AK	0,43	18,30	0,99	0,07

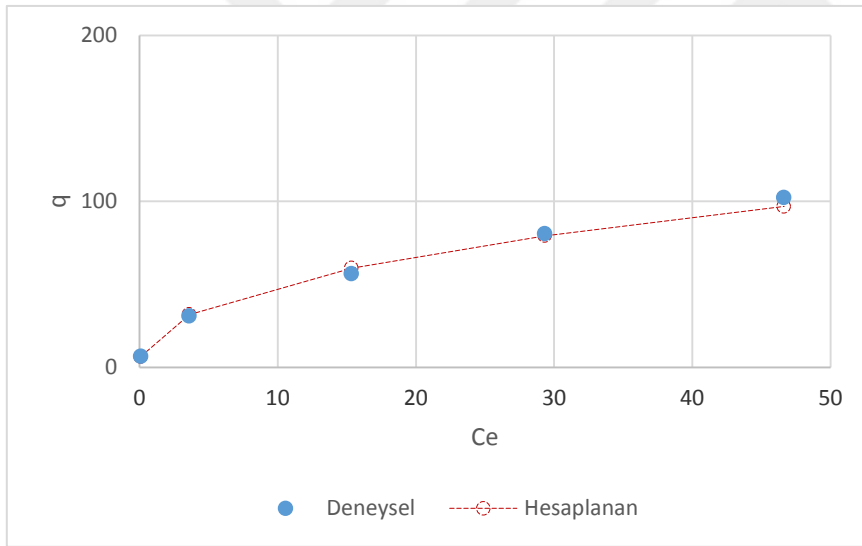
R^2 değerleri her üç aktif karbon ile yapılan adsorpsiyonun Freundlich izoterm modeline uygun olduğunu göstermektedir. $1/n$ değerinin <1 olması, adsorpsiyonun uygun bir şekilde gelişim gösterdiğini ve adsorpsiyonun kimyasal olduğunu gösterir. Bu modele göre de en yüksek adsorpsiyon kapasitesini arıtma çamurundan elde edilen aktif karbon göstermiştir.



Şekil 13. Freundlich izotermine arıtma çamuru aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi



Şekil 14. Freundlich izoterminde pamuk aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi



Şekil 15. Freundlich izoterminde pamuk/poliester aktif karbon üzerine boya adsorpsiyonunun derişimle değişimi

Adsorpsiyon izotermelerinden elde edilen adsorpsiyon kapasiteleri (her üç aktif karbon için de) , Remazol Brilliant Blue R reaktif boyarmadde ile değişik adsorbentler kullanılarak yapılan çalışmalardakinden daha fazla bulunmuştur. Silva vd., (2016) tarafından gerçekteştirilen çalışmada evsel atıksu arıtma çamurundan fiziksel aktivasyon metoduna ile elde edilen aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesini (Q_{max}) 33,47 mg/g olarak bulmuştur. Ergene vd.

(Desalination, 249 (2009), pp. 1308-1314) alginat bazlı biyosorbent kullanımında 68 mg/g ve Mafra vd (Adsorption of Remazol Brilliant Blue on an orange peel adsorbent) portakal kabuğu kullanarak 11,62 mg/g adsorpsiyon kapasiteleri elde etmişlerdir.

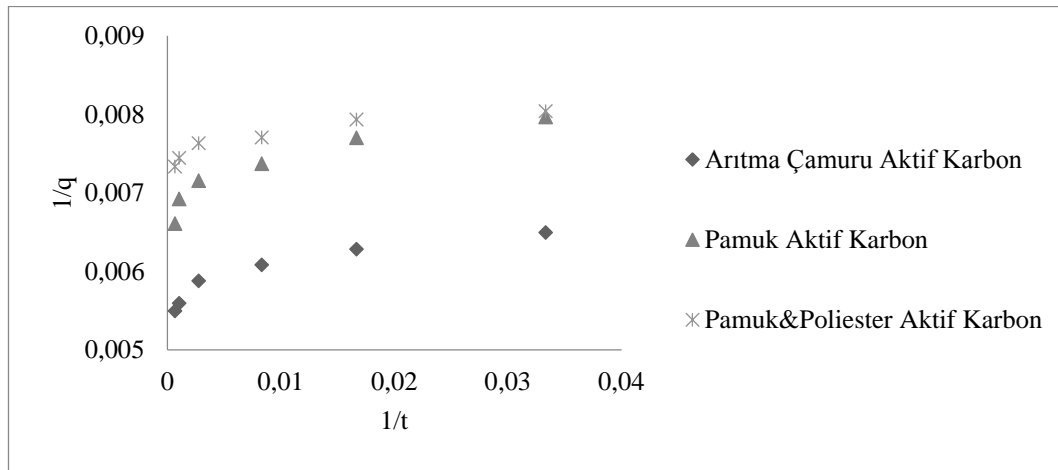
Adsorpsiyon denemeleri yüksek pH değerinde yapıldığından adsorbent yüzeyinin negatif yüklü olması beklenir. Bu da boya molekülünün elektrostatik çekimle değil aktif karbon ile boya molekülü arasındaki π - π dispersiyon etkileşimleri ile adsorplanmış olabileceğini gösterir.

10.9. Adsorpsiyon Kinetikleri

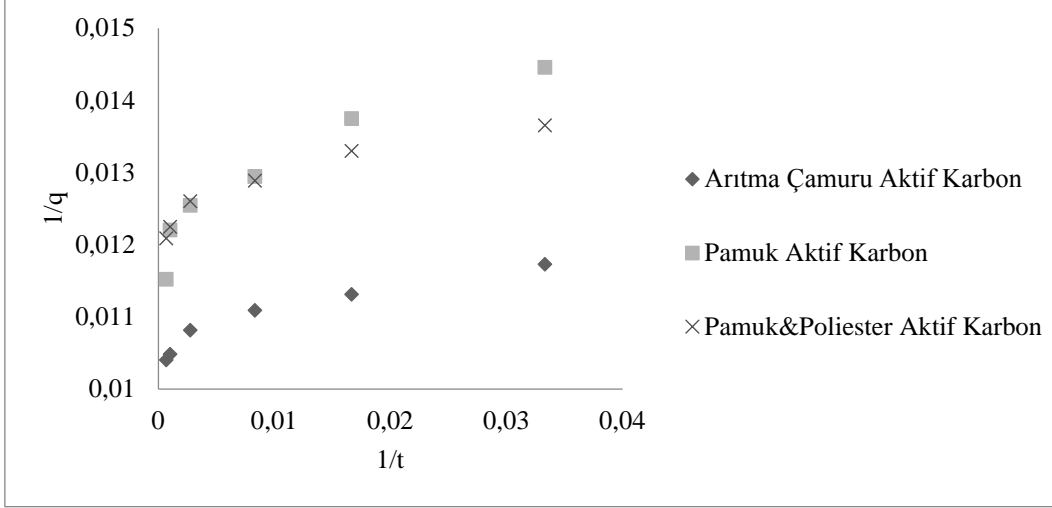
Adsorpsiyon kinetiklerinin belirlenmesi için 100 mg/l boya konsantrasyonunda çözeltiler kullanılmıştır. Sabit boya konsantrasyonunda adsorban türü ve miktarı incelenmiştir. Adsorpsiyon işlemlerinin yalancı birinci dereceden kinetik model ve yalancı ikinci dereceden kinetik model üzerine uyumlulukları araştırılmıştır.

10.9.1. Yalancı birinci dereceden kinetik model

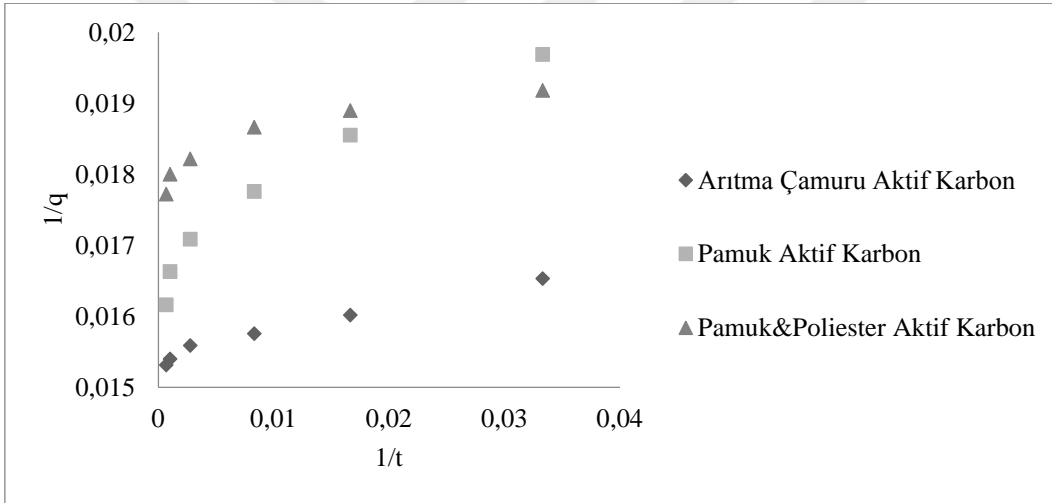
3 farklı adsorban türünün 0,5-1-1,5 g/l kullanımında 100 mg/l boya çözeltisindeki adsorplama davranışının süreye bağlı değişimleri incelenmiştir. Şekil 16'da 0,5 g/l, Şekil 17'de 1 g/l, Şekil 18'de ise 1,5 g/l adsorban kullanımında farklı aktif karbon türlerinin yalancı birinci dereceden kinetikleri yer almaktadır.



Şekil 16. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (0,5 g/l adsorban varlığında)



Şekil 17. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (1 g/l adsorban varlığında)



Şekil 18. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (1,5 g/l adsorban varlığında)

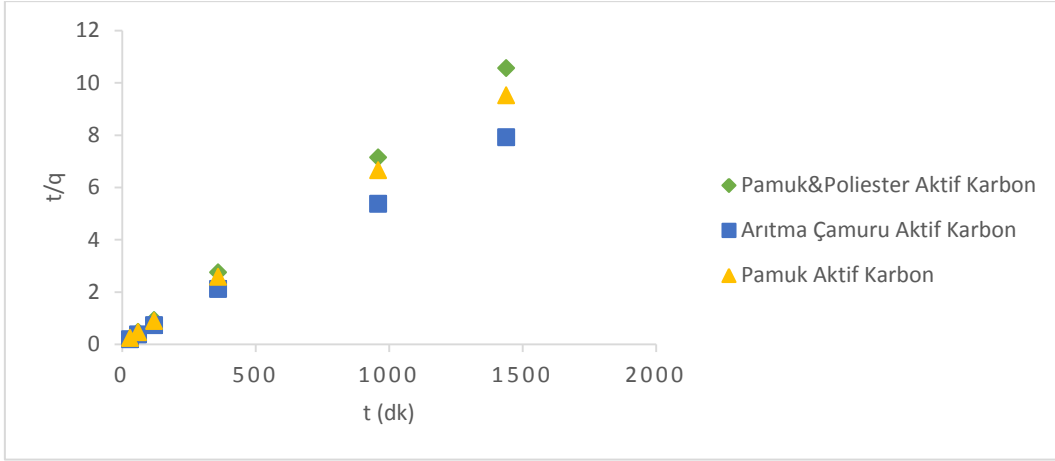
Tablo 15. RR 141 adsorpsiyonunun grafiklerden hesaplanan yalancı birinci dereceden kinetik değerleri

Adsorban Miktarı (g/l)	Adsorban Türü	q_m	$k_1(s^{-1})$	R^2
0,5	Aritma Çamuru Aktif Karbon	227,3	19,1591	0,2051
	Pamuk Aktif Karbon	188,7	19,7169	0,2108
	Pamuk/Poliester Aktif Karbon	175,4	16,4386	0,1556
1	Aritma Çamuru Aktif Karbon	123,5	17,6419	0,1765
	Pamuk Aktif Karbon	107,5	21,3441	0,24
	Pamuk/Poliester Aktif Karbon	105,3	17,5895	0,1774
1,5	Aritma Çamuru Aktif Karbon	84,7	15,9407	0,1492
	Pamuk Aktif Karbon	78,7	20,8189	0,2294
	Pamuk/Poliester Aktif Karbon	72,5	15,8696	0,1477

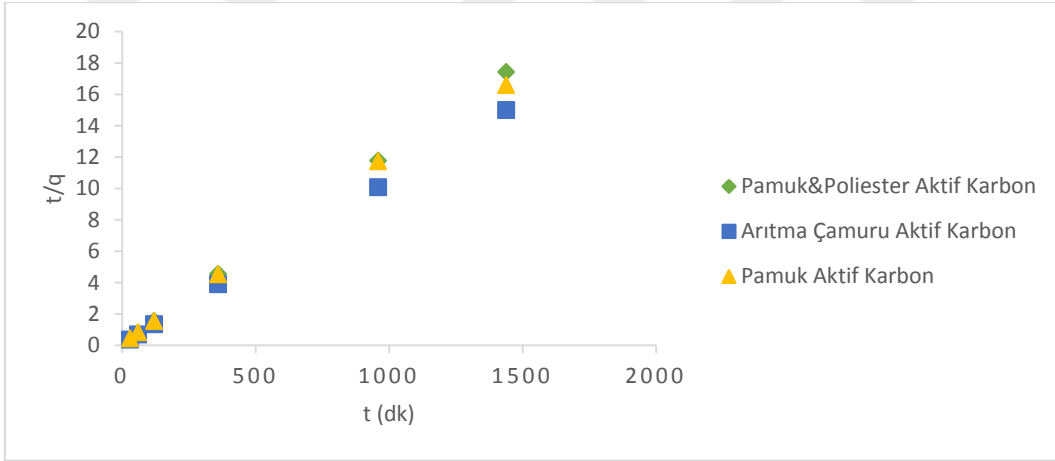
Yukarıda yer alan şekiller incelendiğinde aynı kullanım miktarlarında adsorban türlerinin süreye bağlı olarak benzer adsorpsiyon davranışı sergilediği görülebilse de Tablo 15’de yer alan ve grafiklerden elde edilen korelasyon katsayısını ifade eden R^2 değerleri incelendiğinde tüm değerlerin 1’e göre çok düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle adsorpsiyon sürecinin yalancı birinci dereceden kinetik ile uyumlu olmadığı görülmüştür.

10.9.2. Yalancı İkinci Dereceden Kinetik

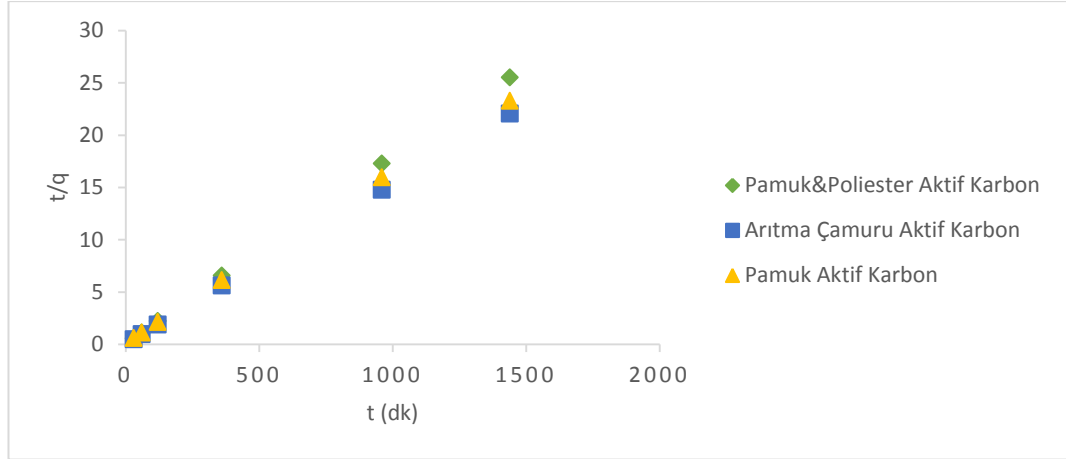
Yalancı ikinci dereceden kinetik modellemelerinde de yalancı birinci dereceden kinetik modellemesinde olduğu gibi kullanım miktarları aynı tutulan farklı adsorbanların süreye göre davranışları incelenmiştir. 0,5 g/l aktif karbon kullanımındaki yalancı ikinci dereceden kinetik model Şekil 19’da gösterilmiştir. Şekil 20’de 1 g/l, Şekil 21’de ise 1,5 g/l aktif karbon kullanımına ait kinetik modellemeler yer almaktadır.



Şekil 19. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (0,5 g/l adsorban varlığında)



Şekil 20. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (1 g/l adsorban varlığında)



Şekil 21. Farklı adsorban türlerine RR 141'in yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiği (1,5 g/l adsorban varlığında)

Tablo 16. RR 141 adsorpsiyonunun grafiklerden hesaplanan yalancı ikinci dereceden kinetik değerleri

Adsorban Miktarı (g/l)	Adsorban Türü	q_m (mg.g ⁻¹)	k_2 (dm ³ mol ⁻¹ s ⁻¹)	R^2
0,5	Arıtma Çamuru Aktif Karbon	153,9	0,0004	0,9998
	Pamuk Aktif Karbon	125,5	0,0004	0,9991
	Pamuk/Poliester Aktif Karbon	124,4	0,0009	0,9999
1	Arıtma Çamuru Aktif Karbon	85,2	0,0013	0,9999
	Pamuk Aktif Karbon	69,2	0,0006	0,9987
	Pamuk/Poliester Aktif Karbon	73,2	0,0014	0,9999
1,5	Arıtma Çamuru Aktif Karbon	60,5	0,0038	1
	Pamuk Aktif Karbon	83,7	0,0003	0,9982
	Pamuk/Poliester Aktif Karbon	52,1	0,0028	0,9999

Yalancı ikinci dereceden kinetik model uygulandığında elde edilen değerler Tablo 16'da gösterilmiştir. Yüksek R^2 korelasyon değeri adsorpsiyon denemelerinin yalancı ikinci dereceden kinetik model ile yüksek oranda uyumlu olduğunu göstermiştir.

11. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında pamuklu ve pamuk/poliester kumaş atıkları ile tekstil atık suyu arıtma çamurundan aktif karbonlar üretilmiş, elde edilen aktif karbonların karakterizasyonu yapılmış ve reaktif boya adsorplama performansları araştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle tekstil atıkları düşük sıcaklık piroliz yöntemine göre biyokömür haline getirilmiştir. Ardından elde edilen biyokömler kullanılarak kimyasal aktivasyon yöntemine göre ($ZnCl_2$ ile) aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan hammadde, biyokömür ve aktif karbonların karakterizasyonu için SEM, BET, FT-IR, XRF, elementel, kül ve uç grup analizleri yapılmıştır. İşlenmemiş hammaddelere yapılan kül, elementel ve FT-IR analizleri yüksek C içeriğinden dolayı aktif karbon üretiminde kullanım potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur. Biyokömür üretim prosesinin hammaddelerin karbon içeriğini artırdığı ancak gözeneklilik ve yüzey alanı yeterince yüksek olmadığından adsorban olma kriterlerini yeterince yerine getirmediği tespit edilmiştir.

Biyokömlerin kimyasal aktivasyonla aktifleştirilmesi ile yüzey alanları, yüksek oranda artmıştır. En yüksek yüzey alanı yaklaşık $1350 \text{ m}^2/\text{g}$ ile pamuk esaslı aktif karbonlarda belirlenirken, arıtma çamuru ve pamuk/poliester esaslı aktif karbonların yüzey alanları sırasıyla yaklaşık 600 ve $800 \text{ m}^2/\text{g}$ bulunmuştur. Elde edilen tüm aktif karbonlar mikro gözenekli yapıdadır. Aktif karbonların daha çok asidik uç gruplara sahip olduğu tespit edilmiştir.

Adsorpsiyon denemelerinde renk giderim performansları yüksekten düşüğe sırasıyla arıtma çamuru, pamuk ve pamuk/poliester esaslı aktif karbonlar şeklinde belirlenmiştir. Boyar madde adsorpsiyonu her üç aktif karbon için de gerek Langmuir gerekse Freundlich izotermi ile uyumlu bulunmuştur. Adsorpsiyon kinetikleri incelendiğinde ise yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu bulunmuştur.

Atık suyun renklilik oranına göre adsorban cinsi, miktarı ve adsorpsiyon süresi optimize edilmesiyle tekstil atıklarından üretilen aktif karbonların tekstil atıksularında renk gideriminde adsorban olarak başarılı bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

12. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aishwariya, S.,** 2018, Waste Management Technologies in Textile Industry. *Innov Ener Res*, 7(211), 2576-1463
- Akçakal, Ö.,** 2017, Badem Kabuğu İle Kayısı Ve Şeftali Çekirdeğinden Hazırlanan Ligno-Selülozik Karışımdan Kimyasal Aktivasyonla Aktif Karbon Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Anderson, N., Jones, J.G., Page-Dumroese, D., McCollum, D., Baker, S., Loeffler, D., Chung, W.,** 2013, A comparison of producer gas, biochar, and activated carbon from two distributed scale thermochemical conversion systems used to process forest biomass, *Energies*, 6(1), 164-183.
- Belaid, K. D., Kacha, S., Kameche, M., Derriche, Z.,** 2013, Adsorption kinetics of some textile dyes onto granular activated carbon, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(3), 496-503.
- Bhatnagar, A., Sillanpää, M.,** 2010, Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—a review. *Chemical engineering journal*, 157(2-3), 277-296.
- Björquist, S., Aronsson, J., Henriksson, G., Persson, A.,** 2018, Textile qualities of regenerated cellulose fibers from cotton waste pulp, *Textile Research Journal*, 88(21), 2485-2492.
- Budinova, T., Ekinci, E., Yardim, F., Grimm, A., Björnbom, E., Minkova, V., Goranova, M.,** 2006, Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation, *Fuel processing technology*, 87(10), 899-905.
- Carillo, F., Colom, X., Sunol, J.J., Saurina, J.,** 2004, Structural FTIR analysis and thermal characterisation of lyocell and viscose-type fibres, *European Polymer Journal*, 40, 2229-2234.
- Carraro, P.S., Spessato, L., Crespo, L.H., Yokoyama, J.T., Fonseca, J.M., Bedin, K.C., Almeida, V.C.,** 2019, Activated carbon fibers prepared from cellulose and polyester-derived residues and their application on removal of Pb²⁺ ions from aqueous solution, *Journal of Molecular Liquids*, 111150.
- Chavan, R.B.,** 2014., Environmental sustainability through textile recycling, *J Textile Sci Eng S*, 2, 2.
- Chen, W., Zhang, Y., Zhang, S., Lu, W., Xu, H.,** 2019, Pyrolysis Behavior and Pore-Forming Mechanism During Reuse of Textile Waste Flax by Activation, *Waste and Biomass Valorization*, 1-10.
- Chen, W., Liu, X., He, R.L., Lin, T., Zeng, Q.F., Wang, X.G.,** 2013, Activated carbon powders from wool fibers, *Powder technology*, 234, 76-83.
- Chiu, K. L., & Ng, D. H.,** 2012 Synthesis and characterization of cotton-made activated carbon fiber and its adsorption of methylene blue in water treatment, *Biomass and bioenergy*, 46, 102-110.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Chung, H.K., Kim, W.H., Park, J., Cho, J., Jeong, T.Y., Park, P.K.**, 2015, Application of Langmuir and Freundlich isotherms to predict adsorbate removal efficiency or required amount of adsorbent, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 28, 241-246.
- Chiang, H.L., Huang, C.P., Chiang, P.C.**, 2002, The surface characteristics of activated carbon as affected by ozone and alkaline treatment, *Chemosphere*, 47(3), 257-265.
- Chung, C., Lee, M., Choe, E.K.**, 2004, Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy, *Carbohydrate Polymers*, 58, 417-420.
- Corcho-Corral, B., Olivares-Marín, M., Fernández-González, C., Gómez-Serrano, V., Macías-García, A.**, 2006, Preparation and textural characterisation of activated carbon from vine shoots (*Vitis vinifera*) by H₃PO₄—chemical activation, *Applied Surface Science*, 252(17), 5961-5966.
- Correia, J., Mendonça, A. R. V., Ulson, S. M. D. A. G., Valle, J. A. B.**, 2018, Adsorbents made from textile scraps: preparation, characterization and application for removal of reactive dye, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(4), 839-853.
- Dasgupta, J., Sikder, J., Chakraborty, S., Curcio, S., Drioli, E.**, 2015, Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: a state of the art review, *Journal of environmental management*, 147, 55-72.
- Dave, H., Ledwani, L., Chandwani, N., Chauhan, N., Nema, S.K.** 2014, The removal of impurities from gray cotton fabric by atmospheric pressure plasma treatment and its characterization using ATR-FTIR spectroscopy, *The Journal of the Textile Institute*, 105(6), 586-596.
- Demiral, H., Demiral, İ., Karabacakoğlu, B., Tümsek, F.**, 2011, Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation, *Chemical Engineering Research and Design*, 89(2), 206-213.
- Demiral, İ., Şamdan, C. A.**, 2016, Preparation and characterisation of activated carbon from pumpkin seed shell using H₃PO₄. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 17(1), 125-138.
- Dizbay-Onat, M., Vaidya, U. K., Lungu, C. T.**, 2017, Preparation of industrial sisal fiber waste derived activated carbon by chemical activation and effects of carbonization parameters on surface characteristics, *Industrial crops and products*, 95, 583-590.
- Dolphen, R., Sakkayawong, N., Thiravetyan, P., Nakbanpote, W.**, 2007, Adsorption of Reactive Red 141 from wastewater onto modified chitin, *Journal of Hazardous Materials*, 145(1-2), 250-255.
- Döşemen, Y.**, 2009, Kestane Kabuğundan Aktif Karbon Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Dönmez, E. T., Türker, E.,** 2017, Tekstil Atıkları İçeren Yüzeylerin Sahip Olduğu Elektromanyetik Kalkanlama, Ses Ve Isı İzolasyonu Özellikleriyle İlgili Literatür İncelemesi, *Journal of Textiles & Engineers/Tekstil ve Mühendis*, (106).
- Elemen, S.,** 2011, Nanokilin Reaktif Boyaları Adsorplama Özelliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- El-Hendawy, A. N. A., Samra, S. E., Girgis, B. S.,**2001, Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 180(3), 209-221.
- El-Sayed, Y., Badosz, T.J.,** 2004, Adsorption of valeric acid from aqueous solution onto activated carbons: role of surface basic sites, *Journal of colloid and interface science*, 273(1), 64-72.
- Environmental impact of the textile and clothing industry**, EPRS | European Parliamentary Research Service, [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI\(2019\)633143_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI(2019)633143_EN.pdf)
- Eser, B., Çelik, P., Çay, A., Akgümüş, D.,** 2016, Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları, *Tekstil ve Mühendis*, 23: 101, 43-60.
- Fan, M., Dai, D., Huang, B.,** 2012, Fourier transform infrared spectroscopy for natural fibres, 45-68. *Fourier Transform - Materials Analysis*. Editör: Salih S.M. InTech, ISBN 978-953-51-0594-7.
- Faria, P.C.C., Orfao, J.J.M., Pereira, M.F.R.,** 2004, Adsorption of anionic and cationic dyes on activated carbons with different surface chemistries, *Water Research*, 38(8), 2043-2052.
- Gądek, W., Mlonka-Mędrala, M., Prestipino, M., Evangelopoulos, P., Kalisz, S., Yang, W.,** 2016, Gasification and pyrolysis of different biomasses in lab scale system: A comparative study. In E3S Web of Conferences, Vol. 10, p. 00024, EDP Sciences.
- Georgin, J., Dotto, G. L., Mazutti, M. A., & Foletto, E. L.,** 2016, Preparation of activated carbon from peanut shell by conventional pyrolysis and microwave irradiation-pyrolysis to remove organic dyes from aqueous solutions, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 266-275.
- Giannakoudakis, D.A., Kyzas, G.Z., Avranas, A., Lazaridis, N.K.,** 2016, Multi-parametric adsorption effects of the reactive dye removal with commercial activated carbons, *Journal of Molecular Liquids*, 213, 381-389.
- Gogate, P., R., Pandit, A.,B.,** 2004, A review of imperative technologies for wastewater treatment 11: hybrid methods, *Advances in Environmental Research*, 8:553-597 .

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Goyal, S., Siddique, R., Jha, S., Sharma, D.,** 2019, Utilization of textile sludge in cement mortar and paste, *Construction and Building Materials*, 214, 169-177.
- Gratuito, M. K. B., Panyathanmaporn, T., Chumnanklang, R. A., Sirinuntawittaya, N. B., Dutta, A.,** 2008, Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology, *Bioresource Technology*, 99(11), 4887-4895.
- Gulnaz et al.,** 2006, The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye, *Journal of Hazardous Materials*.
- Hameed, B.H., Din, A.M., Ahmad, A.L.,** 2007, Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: kinetics and equilibrium studies, *Journal of hazardous materials*, 141(3), 819-825.
- Hanoğlu, A., Çay, A., Yanık, J.,** 2019, Production of biochars from textile fibres through torrefaction and their characterisation, *Energy*, 166, 664-673.
- Hayashi, J. I., Kazehaya, A., Muroyama, K., Watkinson, A. P.,** 2000, Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation, *Carbon*, 38(13), 1873-1878.
- Haule, L. V., Carr, C. M., Rigout, M.,** 2016, Preparation and physical properties of regenerated cellulose fibres from cotton waste garments, *Journal of cleaner production*, 112, 4445-4451.
- He, Z., Uchimiya, S.M., Guo, M.,** 2016, Production and characterization of biochar from agricultural by-products: Overview and use of cotton biomass residues, 63-86. *Agricultural and environmental applications of biochar: Advances and barriers*. Editörler: Guo, M., He, Z., Uchimiya, S.M. Madison, USA: SSSA Special Publication.
- Hussain, T., Wahab, A.,** 2018, A critical review of the current water conservation practices in textile wet processing, *Journal of Cleaner Production*, 198, 806-819.
- Isah, U., Abdulraheem, G., Bala, S., Muhammad, S., Abdullahi, M.,** 2015, Kinetics, equilibrium and thermodynamics studies of CI Reactive Blue 19 dye adsorption on coconut shell based activated carbon, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 265-273.
- Ioannidou, O., Zabaniotou, A.,** 2007, Agricultural residues as precursors for activated carbon production—a review, *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(9), 1966-2005.
- Kacan, E.,** 2016, Optimum BET surface areas for activated carbon produced from textile sewage sludges and its application as dye removal, *Journal of environmental management*, 166, 116-123.
- Karacan, F., Karacan, S.,** 2014, KOH ve ZnCl₂ Aktivasyonu ile Çanakkale-Çan Linyitinden Aktif Karbon Üretimi ve Karakterizasyonu, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 1-8.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Kertmen, N., Morsümbül, S., Yapar, S., Akçakoca Kumbasar, E., P.,** 2019, Kinetic Studying of Reactive Dye Adsorption by Different Organoclays, AUTEK2019 –19th World Textile Conference on Textiles at the Crossroads, 11-15 June 2019, Ghent, Belgium
- Kılıç, A.,** 2018, Kayısı Çekirdeği Ve Badem Kabuğu Karışımından Aktif Karbon Üretimi Ve Sulu Ortamlardan Boyar Madde Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.
- Kılıç, M., Apaydın-Varol, E., Pütün, A. E.,** 2012, Preparation and surface characterization of activated carbons from *Euphorbia rigida* by chemical activation with ZnCl₂, K₂CO₃, NaOH and H₃PO₄, *Applied surface science*, 261, 247-254.
- Krishna, B.B., Biswas, B., Kumar, J., Singh, R., Bhaskar, T.,** 2016, Role of reaction temperature on pyrolysis of cotton residue, *Waste and Biomass Valorization*, 7, 71-78.
- Kumar, A., Jones, D.D., Hanna, M.A.,** 2009, Thermochemical biomass gasification: a review of the current status of the technology, *Energies*, 2(3), 556-581.
- Kumar Djamel Belaid, Smar'il Kacha, Mostefa Kameche, Zoubir Derriche,** Adsorption kinetics of some textile dyes onto granular activated carbon, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1 (2013) 496–503
- Kumaş, C.,** 2015, Fındık Kabuğundan Aktif Karbon Elde Edilmesinde Fosforik Asit ve Bor Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Küçükgül, E.,Y.,** 2004, Ticari Aktif Karbon Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6:3,41-56.
- Kütahyalı, C.,** 2002, Mangal Kömüründen Üretilen Aktif Karbon Kullanılarak Uranyum'un Selektif Adsorpsiyonunun ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lee, K.E.,** 2017, Environmental sustainability in the textile industry, *In Sustainability in the Textile Industry*, 17-55, Springer, Singapore.
- Liu, L., Luo, X. B., Ding, L., Luo, S. L.,** 2019, Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water. *In Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*, 83-147, Elsevier.
- Liu, W., Liu, S., Liu, T., Liu, T., Zhang, J., Liu, H.,** 2019, Eco-friendly post-consumer cotton waste recycling for regenerated cellulose fibers, *Carbohydrate polymers*, 206, 141-148.
- Mahmoodi, N. M., Salehi, R., Arami, M.** (2011). Binary system dye removal from colored textile wastewater using activated carbon: Kinetic and isotherm studies, *Desalination*, 272(1-3), 187-195.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Mansour, H.B., Mosrati, R., Ghedira, K., Chekir-Ghedira, L.,** 2011, Decolorization of textile wastewater by *Pseudomonas putida*: toxicity assessment, *Environ. Eng. Sci.*, 28, 489–495.
- Mathew, M.L., Gopalakrishnan, A., Aravindakumar, C.T., Aravind, U.K.,** 2019, Low-cost multilayered green fiber for the treatment of textile industry waste water, *Journal of hazardous materials*, 365, 297-305.
- Natarajan, S., Moses J.J.,** 2012, Surface modification of polyester fabric using polyvinyl alcohol in alkaline medium, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 37, 287-291.
- Ozmaç, M.,** 2010, Biyokütle Atıklardan Aktif Karbon Üretimi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Órfão, J.J.M., Silva, A.I.M., Pereira, J.C.V., Barata, S.A., Fonseca, I.M., Faria, P.C.C., Pereira, M.F.R.,** 2006, Adsorption of a reactive dye on chemically modified activated carbons—influence of pH, *Journal of Colloid and Interface Science*, 296(2), 480-489.
- Örkün, Y.,** 2011, Fındık kabuğundan fiziksel ve kimyasal aktivasyonla aktif karbon üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü.
- Palaskar, S., Kale, K.H., Nadiger, G.S., Desai, A.N.,** 2011, Dielectric barrier discharge plasma induced surface modification of polyester/cotton blended fabrics to impart water repellency using HMDSO, *Journal of Applied Polymer Science*, 122, 1092-1100.
- Palm, D., Elander, M., Watson, D., Kiørboe, N., Lyng, K. A., Gíslason, S.,** 2014, Towards a new Nordic textile commitment: Collection, sorting, reuse and recycling, *Nordic Council of Ministers*.
- Patel, H., Vashi, R.T.,** 2010, Treatment of Textile Wastewater by Adsorption and Coagulation, *Journal of Chemistry*, 7(4), 1468-1476.
- Peets, P., Leito, I., Pelt, J., Vahur, S.,** 2017, Identification and classification of textile fibres using ATR-FT-IR spectroscopy with chemometric methods, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 173, 175-181.
- Peng, X., Ma, X., Lin, Y., Guo, Z., Hu, S., Ning, X., Zhang, Y.,** 2015, Copyrolysis between microalgae and textile dyeing sludge by TG-FTIR: kinetics and products, *Energy Conversion and Management*, 100, 391-402.
- Phan, N. H., Rio, S., Faur, C., Le Coq, L., Le Cloirec, P., Nguyen, T. H.,** 2006, Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications, *Carbon*, 44(12), 2569-2577.
- Pütün, A.E., Özbay, N., Önal, E.P., Pütün, E.,** 2005, Fixed-bed pyrolysis of cotton stalk for liquid and solid products, *Fuel Processing Technology*, 86, 1207-1219.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Ran, C., Liu, Y., Siddiqui, A. R., Siyal, A. A., Mao, X., Kang, Q., Dai, J.,** 2019, Pyrolysis of textile dyeing sludge in fluidized bed: Analysis of products, and migration and distribution of heavy metals, *Journal of Cleaner Production*, 241, 118308.
- Saka, C.,** 2012, BET, TG–DTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl₂, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 95, 21-24.
- Salame, I. I., Bandosz, T. J.** 2001, Surface chemistry of activated carbons: combining the results of temperature-programmed desorption, Boehm, and potentiometric titrations, *Journal of Colloid and Interface Science*, 240(1), 252-258.
- Sandin, G., Peters, G.M.,** 2018, Environmental impact of textile reuse and recycling—A review, *Journal of Cleaner Production*, 184, 353-365.
- Santhi, T., Manonmani, S., Smitha, T.,** 2010, Kinetics and isotherm studies on cationic dyes adsorption onto annona squamosa seed activated carbon, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(3), 287-295.
- Sathishkumar, P., Arulkumar, M., Palvannan, T.,** 2012, Utilization of agro-industrial waste Jatropha curcas pods as an activated carbon for the adsorption of reactive dye Remazol Brilliant Blue R (RBBR), *Journal of Cleaner Production*, 22(1), 67-75.
- Senthilkumaar, S., Kalaamani, P., Porkodi, K., Varadarajan, P.R., Subburaam, C. V.,** 2006, Adsorption of dissolved reactive red dye from aqueous phase onto activated carbon prepared from agricultural waste, *Bioresource Technology*, 97(14), 1618-1625.
- Silva, T.L., Cazetta, A.L., Souza, P.S., Zhang, T., Asefa, T., Almeida, V.C.,** 2018, Mesoporous activated carbon fibers synthesized from denim fabric waste: efficient adsorbents for removal of textile dye from aqueous solutions, *Journal of cleaner production*, 171, 482-490.
- Silva, T. L., Ronix, A., Pezoti, O., Souza, L. S., Leandro, P. K., Bedin, K. C., Almeida, V. C.** (2016). Mesoporous activated carbon from industrial laundry sewage sludge: Adsorption studies of reactive dye Remazol Brilliant Blue R, *Chemical Engineering Journal*, 303, 467-476.
- Sonai, G. G., de Souza, S.M.G.U., de Oliveira, D., de Souza, A.A.U.,** 2016, The application of textile sludge adsorbents for the removal of Reactive Red 2 dye, *Journal of environmental management*, 168, 149-156.
- Subramani, S. E., & Thinakaran, N.,** 2017, Isotherm, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behaviour of textile dyes onto chitosan, *Process Safety and Environmental Protection*, 106, 1-10.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Sych, N. V., Trofymenko, S. I., Poddubnaya, O. I., Tsyba, M. M., Sapsay, V. I., Klymchuk, D. O., Puziy, A. M.,** 2012, Porous structure and surface chemistry of phosphoric acid activated carbon from corncob, *Applied Surface Science*, 261, 75-82.
- Şahan, A.,** 2007, Farmosetik Maddelerin Aktif Çamur Arıtma Prosesinde Abiyotik Gideriminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Samdan, C. A.,** 2013, Kabak çekirdeği kabuğundan kimyasal aktivasyonla aktif karbon üretimi boya ve ağır metal gideriminde değerlendirilmesi, Doktora Tezi, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Umar Isah, A., Abdulraheem, G., Bala, S., Muhammad, S., Abdullahi, M.,** 2015, Kinetics, equilibrium and thermodynamics studies of CI Reactive Blue 19 dye adsorption on coconut shell based activated carbon, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 265-273.
- Ute, T. B., Celik, P., Uzumcu, M.B,** 2019, Utilization of Cotton Spinning Mill Wastes in Yarn Production. *In Textile Industry and Environment*.
- Üçgül, İ., Elibüyük, U.,** 2014, Tekstil Atıklarının Piroliz ile Değerlendirilmesi, *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 4(2), 40-46.
- Vadicherla, T., Saravanan, D.,** 2014, Textiles and apparel development using recycled and reclaimed fibers, *Sustainable textiles and clothing*, 139-160, Springer, Singapore.
- Vandevivere, P.C., Bianchi, R., Verstraete, W.,** 1998, Treatment and reuse of wastewater from the textile wet- processing industry: Review of emerging Technologies, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental AND Clean Technology*, 72(4), 289-302.
- Vargas, A. M., Cazetta, A. L., Garcia, C. A., Moraes, J. C., Nogami, E. M., Lenzi, E., ... & Almeida, V. C.,** 2011, Preparation and characterization of activated carbon from a new raw lignocellulosic material: Flamboyant (*Delonix regia*) pods, *Journal of environmental management*, 92(1), 178-184.
- Verma, A.K., Dash, R.R., Bhunia, P.,** 2012, A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, *J. Environ. Manage.* 93, 154-168.
- Voncina, B.,** 2016, Recycling of textile materials, *MDT Recycl*, 1, 1-37.
- Wang, X., Li, C., Li, Z., Yu, G., Wang, Y.,** 2019, Effect of pyrolysis temperature on characteristics, chemical speciation and risk evaluation of heavy metals in biochar derived from textile dyeing sludge, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168, 45-52.
- Wang, L.K., Hung, Y.T., Shammas, N.K.,** 2009, Handbook of advanced industrial and hazardous wastes treatment, *CRC Press*.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Wang, M., Mao, M., Zhang, M., Wen, G., Yang, Q., Su, B., Ren, Q.,** 2019, Highly efficient treatment of textile dyeing sludge by CO₂ thermal plasma gasification, *Waste Management*, 90, 29-36.
- Williams, P. T., Reed, A. R.,** 2004, High grade activated carbon matting derived from the chemical activation and pyrolysis of natural fibre textile waste, *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 71(2), 971-986.
- Wong, S., Yac'cob, N. A. N., Ngadi, N., Hassan, O., Inuwa, I. M.,** 2018, From pollutant to solution of wastewater pollution: Synthesis of activated carbon from textile sludge for dye adsorption, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 26(4), 870-878.
- Wu, W., Yang, M., Feng, Q., McGrouther, K., Wang, H., Lu, H., Chen, Y.,** 2012, Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment, *Biomass and Bioenergy*, 47, 268-276.
- Xu, Z., Tian, D., Sun, Z., Zhang, D., Zhou, Y., Chen, W., Deng, H.,** 2019, Highly porous activated carbon synthesized by pyrolysis of polyester fabric wastes with different iron salts: Pore development and adsorption behavior, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 565, 180-187.
- Xu, Z., Yuan, Z., Zhang, D., Chen, W., Huang, Y., Zhang, T., Sun, Z.,** 2018, Highly mesoporous activated carbon synthesized by pyrolysis of waste polyester textiles and MgCl₂: Physicochemical characteristics and pore-forming mechanism. *Journal of Cleaner Production*, 192, 453-461.
- Yalcin-Enis, I., Kucukali-Ozturk, M., Sezgin, H.,** 2019, Risks and Management of Textile Waste, *Nanoscience and Biotechnology for Environmental Applications*, 29-53, Springer, Cham.
- Yang, J., Qiu, K.,** 2010, Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal, *Chemical Engineering Journal*, 165(1), 209-217.
- Yang, L., Han, D. H., Lee, B. M., Hur, J.,** 2015, Characterizing treated wastewaters of different industries using clustered fluorescence EEM-PARAFAC and FT-IR spectroscopy: implications for downstream impact and source identification, *Chemosphere*, 127, 222-228.
- Yıldız, A.,** 2008, Reaktif Azo Boyanın Kitosan İle Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, N., Alagöz, O.,** 2019, Nar Kabuklarından Kimyasal Aktivasyon ile Hazırlanan Aktif Karbon Üzerinde Metilen Mavisinin Adsorpsiyonu, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(3), 817-829.
- Yorgun, S., Yıldız, D.,** 2015, Preparation and characterization of activated carbons from Paulownia wood by chemical activation with H₃PO₄, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 53, 122-131.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Yu, X., Wang, S., Gao, Y., Bao, Z.,** 2018, Orthogonal design-guided preparation of multi-level porous-activated carbon by pyrolysis of waste polyester textiles, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(30), 30567-30574
- Yu, X., Wang, S., Zhang, J.,** 2018, Preparation of high adsorption performance activated carbon by pyrolysis of waste polyester fabric, *Journal of materials science*, 53(7), 5458-5466.
- Yuan et al.,** 2018, Box-Behnken design approach towards optimization of activated carbon synthesized by co-pyrolysis of waste polyester textiles and MgCl₂, *Applied Surface Science*.
- Zamani, B.,** 2014, Towards understanding sustainable textile waste management: Environmental impacts and social indicators, Master Thesis, Chalmers University Of Technology, Department of Chemical and Biological Engineering.
- Zamani, B., Svanström, M., Peters, G., Rydberg, T.,** 2015, A carbon footprint of textile recycling: A case study in Sweden, *Journal of industrial ecology*, 19(4), 676-687.
- Zhang, H., Gao, Z., Ao, W., Li, J., Liu, G., Fu, J., Dai, J.,**2017, Microwave-assisted pyrolysis of textile dyeing sludge using different additives, *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 127, 140-149.
- Zheng, J., Zhao, Q., Ye, Z.,** 2014, Preparation and characterization of activated carbon fiber (ACF) from cotton woven waste. *Applied Surface Science*, 299, 86-91.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin her aşamasında desteklerini, fikir ve önerilerini esirgmeden benimle paylaşan değerli danışmanlarım Doç. Dr. Ahmet ÇAY ve Prof. Dr. Jale YANIK'a, çalışmalarım kapsamındaki üretim ve laboratuvar deneyleri boyunca yardımlarından dolayı Dr. Gözde DUMAN, Dr. Ar. Gör. Seniha MORSÜMBÜL, Yüksek Kimyager Alper HANOĞLU, Kimyager Ömer ERTABAK'a ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen analizler için maddi destek sağlayan Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (Proje No: FYL-2019-20618) teşekkür ederim. Tüm hayatım boyunca her koşulda yanımda olduklarını için sevgili aileme ve eşime varlıkları için teşekkürü borç bilirim.

İZMİR

27/07/2020

Emire Ülkü PARMAKOĞLU