

**ATIK SELÜLOZİK İPLİKLERDEN ÜRETİLEN KARBONLU
MALZEMELERİN VİSKON KUMAŞIN KONFOR ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Çağla GÖKBULUT

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Esin VAROL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Eylül 2022

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Çağla GÖKBULUT'un ATIK SELÜLOZİK İPLİKLERDEN ÜRETİLEN KARBONLU MALZEMELERİN VİSKON KUMAŞIN KONFOR ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ başlıklı çalışması 05/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Kimya Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. Esin APAYDIN VAROL

Üye

: Prof. Dr. İlknur DEMİRAL

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Evren ARIÖZ

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ęrencisi aęla GÖKBULUT, ATIK SELÜLOZİK İPLİKLERDEN ÜRETİLEN KARBONLU MALZEMELERİN VİSKON KUMAşIN KONFOR ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Daniřmanı

Prof. Dr. Esin VAROL

ÖZET

ATIK SELÜLOZİK İPLİKLERDEN ÜRETİLEN KARBONLU MALZEMELERİN VİSKON KUMAŞIN KONFOR ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Çağla GÖKBULUT

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eylül 2022

Danışman: Prof. Dr. Esin VAROL

Döngüsel ekonomi kavramında atıklar, yeni süreçler için hammadde kaynağı olarak kabul edilmektedir. Tekstil sektöründe üretim sırasında ortaya çıkan selülozik tekstil atıklarının termal dönüşüm yöntemlerinden olan karbonizasyonu sonucunda biyokarbon ve aktif karbon gibi katma değerli ürünler elde edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında viskon iplik atıklarına 600°C sıcaklıkta karbonizasyon işlemi ile biyokarbon ve yine 600°C sıcaklıkta kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma amacıyla ticari aktif karbon da kullanılmıştır. Tüm karbonlu malzemelerin nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon miktarları belirlenmiş, karakterizasyonları için enstrümantal teknikler kullanılmıştır. Parçacık boyutu 25 µm altında olan karbonlu malzemelerin kumaşa uygulanmasında daldır-kurut yöntemi kullanılmıştır. Farklı derişimlerde hazırlanan daldırma çözeltileri kullanılarak kaplanan kumaşların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Karbon kaplamanın kumaşların konfor özelliklerine etkisinin incelenmesi için kumaşlara ısı iletkenlik katsayısı, suya batma ve su damlası testleri uygulanmıştır. Termal açıdan incelendiğinde biyokarbon ve aktif karbonun viskon kumaşın bağlayıcı kimyasal ile beraber ısı iletkenlik katsayısını azalttığı, ticari aktif karbonun ise arttırdığı saptanmıştır. Su testleri sonucunda viskon kumaşa göre karbon kaplanan kumaşların daha hidrofobik özellikte olduğu, en iyi sonucun aktif karbon kaplanan viskon kumaş ile sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Biyokarbon, Aktif karbon, Karbonizasyon, Viskon iplik, Viskon kumaş

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CARBON MATERIALS PRODUCED FROM WASTE CELLULOSIC YARNS ON THE COMFORT PROPERTIES OF VISCOSE FABRIC

Çağla GÖKBULUT

Department of Chemical Engineering

Programme in Basic Operation and Thermodynamics

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, September 2022

Supervisor: Prof. Dr. Esin VAROL

In the circular economy concept, wastes are considered raw material sources for new processes. Value-added products such as biocarbon and activated carbon are obtained from cellulosic textile wastes generated during production in textile industry as a result of carbonization, which is one of the thermal conversion methods.

Within the scope of this study, biocarbon was produced by the carbonization process applied to viscose yarn wastes at 600°C and activated carbon was produced by the chemical activation method at 600°C. In addition to the produced carbonaceous materials, commercial activated carbon was also used for comparison purposes. Moisture, ash, volatile matter and fixed carbon contents of all carbonaceous materials were determined and instrumental techniques were used for their characterization. Carbonaceous materials with particle size less than 25 µm were applied to the fabric by dip and dry method. The characterization of the coated fabrics using dipping solutions prepared at different concentrations was performed.

In order to examine the effect of carbon coating on the comfort properties of fabrics, thermal conductivity coefficient, immersion, and water drop tests were applied to the fabrics. When examined from a thermal point of view, it was determined that biocarbon and activated carbon decreased the thermal conductivity coefficient of viscose fabric together with the binding chemical, while commercial activated carbon increased it. As a result of the water tests, it was seen that carbon-coated fabrics were more hydrophobic than viscose fabric, and the best result was obtained with activated carbon-coated viscose fabric.

Keywords: Biocarbon, Activated carbon, Carbonization, Viscose yarn, Viscose fabric.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarım süresinde bana danışmanlık ederek, bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan, beni yönlendiren ve desteğini hiç esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Esin APAYDIN VAROL’a,

Çalışma hayatımda olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca bana örnek olan, deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen, tüm olanakları bana sağlayan Elyaf Tekstil Ar-Ge Müdürü Hülya KICIK’a,

Hayatımın her aşamasında bana güvenen, her zaman yanımda olan, en büyük destekçilerim annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Çağla GÖKBULUT

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Çağla GÖKBULUT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
GÖRSELLER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XV
1. GİRİŞ	1
2. TEKSTİL SEKTÖRÜ	3
2.1. Tekstil Sektörünün Mevcut Durumu	3
2. 2. Tekstil Sektörünün Çevresel Etkisi	4
2.2.1. Tekstil atıklarının değerlendirilme yöntemleri	5
2.2.1.1. <i>Tekstil atıkların mekanik geri dönüşümü</i>	7
2.2.1.2. <i>Tekstil atıklarının kimyasal geri dönüşümü</i>	8
2.2.1.3. <i>Tekstil atıklarının termokimyasal geri dönüşümü</i>	8
3. KARBON MALZEMELER.....	10
3.1. Karbon Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	10
3.2. Aktif Karbon Üretim Yöntemleri	10
3.3. Karbon Malzemelerin Özellikleri.....	11
4. TEKSTİLDE TERMAL KONFOR	13

5. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	15
6. DENEYSEL YÖNTEMLER.....	17
6.1. Hammaddenin Karakterizasyonu	19
6.1.1. Kül miktar tayini	19
6.1.2. Uçucu madde tayini.....	19
6.1.3. Termogravimetrik analiz (TGA)	19
6.1.4. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)	20
6.2. Hammaddenin Termokimyasal Dönüşümü.....	20
6.2.1. Karbonizasyon	20
6.2.2. Aktif karbon üretimi	21
6.3. Karbonlu Malzemelerin Karakterizasyonu.....	21
6.3.1. Nem miktarı tayini	21
6.3.2. Kül tayini.....	22
6.3.3. Uçucu madde tayini.....	22
6.3.4. Yığın yoğunluk tayini.....	22
6.3.5. Gerçek yoğunluk tayini.....	22
6.3.6. Dinamik ışık saçılımı (DLS) analizi	23
6.3.7. Termogravimetrik analizi (TGA)	23
6.3.8. Fonksiyonel grup analizi (FT-IR)	23
6.3.9. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)	23
6.4. Karbonlu Malzemelerin Kumaşa Uygulanması.....	24
6.5. Kumaş Karakterizasyonu.....	24
6.5.1. Termogravimetrik analiz (TGA)	24
6.5.2. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)	25
6.5.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)	25
6.6. Karbonlu Malzeme Kaplı Kumaşlara Uygulanan Fiziksel Testler	25
6.6.1. Su testleri.....	25
6.6.1.1. Suya batırma metodu.....	25
6.6.1.2. Su damlası metodu.....	26
6.6.2. Isı iletkenlik katsayısı belirlenmesi	26
6.6.3. Kumaşlara uygulanan haslık testleri.....	28
6.6.3.1. Yıkama haslığı testi.....	28

6.6.3.2. Ter haslığı testi.....	28
7. DENEYSEL BULGULAR	29
7.1. Hammadde ve Karbonlu Malzemelerin Karakterizasyonu.....	29
7.1.1. Karbonlu malzemelerin nem tayini	29
7.1.2. Hammadde ve karbonlu malzemelerin kül miktar tayini	29
7.1.3. Hammadde ve karbonlu malzemelerin uçucu madde tayini.....	29
7.1.4. Hammadde ve karbonlu malzemelerin yanma davranışı.....	30
7.1.5. Hammadde ve karbonlu malzemelerin fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR).....	33
7.1.6. Karbonlu malzemelerin yığın ve gerçek yoğunluğunun belirlenmesi	36
7.1.8. Karbonlu malzemelerin dinamik ışık saçılımı (DLS) analizi	36
7.1.9. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)	37
7.2. Viskon Kumaşların Karbonlu Malzeme İle Kaplanması	40
7.3. Kumaş Karakterizasyonu.....	43
7.3.1. Karbonlu malzeme ile kaplanan kumaşların yanma davranışı	43
7.3.2. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)	47
7.3.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)	52
7.4. Karbon Kaplı Kumaşlara Uygulanan Fiziksel Testler	55
7.4.1. Su testleri.....	55
7.4.1.1. Suyu batma testi	55
7.4.1.2. Su damlası testi	56
7.4.2. Isı iletkenlik katsayısı analizi.....	56
7.4.3. Kumaşlara uygulanan haslık testleri.....	57
7.4.3.1. Yıkama haslığı testi.....	57
7.4.3.2. Ter haslığı testi.....	58
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	60
KAYNAKÇA.....	64
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Tekstil atıklarının yeniden değerlendirilmesi konusunda yapılan örnek çalışmalar	7
Tablo 2.2. Piroliz sıcaklığının ürün verimine etkisi	9
Tablo 3.1. Bambu atığından farklı aktivasyon kimyasalları ile üretilen aktif karbonların özellikleri	12
Tablo 3.2. Bambu atığından farklı aktivasyon sıcaklıklarında üretilen aktif karbonların özellikleri	12
Tablo 4.1. Tekstil sektöründe termal konfor sağlayan farklı teknolojiler	13
Tablo 6.1. Daldırma çözeltilerinin içerikleri	18
Tablo 7.1. Karbonlu malzemelerin nem miktarları	29
Tablo 7.2. Kullanılan malzemelerin kül miktarları	29
Tablo 7.3. Kullanılan malzemelerin uçucu madde miktarı	30
Tablo 7.4. Hammadde ve karbonlu malzemelerin TGA sonuçları	33
Tablo 7.5. Hammadde ve karbonlu malzemelerin FT-IR analizi sonuçları	36
Tablo 7.6. Karbon malzemelerin yığın ve gerçek yoğunlukları	36
Tablo 7.7. Kumaşların yanma davranışları	47
Tablo 7.8. Kumaşlara uygulanan suya batma testi sonuçları	55
Tablo 7.9. Kumaşlara uygulanan su damlama testi sonuçları	56
Tablo 7.10. Kumaşlara uygulanan ısı iletkenlik katsayısı analiz sonuçları	57
Tablo 7.11. Kumaşlara uygulanan yıkama haslığı test sonuçları	57
Tablo 7.12. Kumaşların su haslığı sonuçları	58
Tablo 7.13. Kumaşların asidik ter haslığı sonuçları	58
Tablo 7.14. Kumaşların alkali ter haslığı sonuçları	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tekstil geri dönüşüm yöntemleri.....	7
Şekil 6.1. Deneysel yöntem akış diyagramı	17
Şekil 6.2. Kullanılan reaktör [67]	21
Şekil 6.3. Lineer Isı Aktarımı Deney Düzeneği	27
Şekil 7.1. Viskon iplik yanma davranışı.....	31
Şekil 7.2. Biyokarbon malzeme yanma davranışı	31
Şekil 7.3. Aktif karbon malzeme yanma davranışı.....	32
Şekil 7.4. Ticari aktif karbon malzeme yanma davranışı	32
Şekil 7.5. Viskon iplik FT-IR spektrumu	34
Şekil 7.6. Biyokarbon malzeme FT-IR spektrumu.....	34
Şekil 7.7. Aktif karbon malzeme FT-IR spektrumu	35
Şekil 7.8. Ticari aktif karbon malzeme FT-IR spektrumu.....	35
Şekil 7.9. Tüm karbon malzemelerin DLS analizleri	37
Şekil 7.10. Biyokarbon SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x	38
Şekil 7.11. Aktif karbon SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x.....	39
Şekil 7.12. Ticari aktif karbon SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x	40
Şekil 7.13. Kaplama sonrası kumaşa uygulanan karbon miktarı.....	41
Şekil 7.14. Ham viskon kumaş yanma davranışı.....	43
Şekil 7.15. Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş yanma davranışı	44
Şekil 7.16. 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş yanma davranışı	45
Şekil 7.17. 20 g/L aktif karbon uygulanan viskon kumaş yanma davranışı.....	46
Şekil 7.18. 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan viskon kumaş yanma davranışı.....	46
Şekil 7.19. Viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x	48
Şekil 7.20. Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b(250x c)500c d)1000x	49
Şekil 7.21. 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x.....	50
Şekil 7.22. 20 g/L aktif karbon uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x.....	51
Şekil 7.23. 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x.....	52

Şekil 7.24. Viskon kumaş FT-IR spektrumu	53
Şekil 7.25. Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş FT-IR spektrumu.....	53
Şekil 7.26. 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş FT-IR spektrumu.....	54
Şekil 7.27. 20 g/L aktif karbon uygulanan viskon kumaş FT-IR spektrumu	54
Şekil 7.28. 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan viskon kumaş FT-IR spektrumu	55



GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Tekstil sanayi ve hazır giyim üretim süreci [19]	3
Görsel 2.2. Küresel pazarda giyim hacmi (2018-2025 yılları) [2]	3
Görsel 2.3. Tekstil atıklarının pirolizi [11].	9
Görsel 6.1. Kumaşlara uygulanan suya batırma metodu.....	26
Görsel 7.1. Biyokarbon ile kaplanan viskon kumaşlar a)5g/L b)10 g/L c)20 g/L çözelti.....	42
Görsel 7.2. Aktif karbon ile kaplanan viskon kumaşlar a)5g/L b)10 g/L c)20 g/L çözelti.....	42
Görsel 7.3. Ticari aktif karbon ile kaplanan viskon kumaşlar a)5g/L b)10 g/L c)20 g/L çözelti	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ΔT	: Sıcak ve soğuk yüzey arasındaki sıcaklık farkı
Δx	: Kumaşın kalınlığı (m)
A	: Kumaşın alanı (m ²)
AC	: Ticari aktif karbon
AK	: Atık viskon iplikten üretilen aktif karbon
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BK	: Atık viskon iplikten üretilen biyokarbon
DLS	: Dinamik ışık saçılımı
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
EDS	: Enerji Dispersiv Spektrum
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
HTC	: Hidrotermal karbonizasyon
I	: Elektrik akımı (A)
Q	: Elektriksel güç (W)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termal Gravimetrik Analiz
TS	: Türk Standartları
V	: Potansiyel fark (V)
XRD	: X Işını Kristalografisi

1. GİRİŞ

Tekstil endüstrisi küresel ekonomiye katkıda bulunan büyük endüstrilerden biridir [1]. Tekstil sektörü, artan küresel nüfusun artan talebi nedeniyle hızlı bir şekilde büyümektedir. Bu büyüme beraberinde giysi atıklarında hızlı bir artışa neden olmaktadır [2, 3]. Özellikle hızlı moda (fast fashion) akımının etkisiyle tekstil sektöründe yüksek miktarda atık oluşmaktadır [4]. Bu aşırı tekstil tüketimi sonucunda her yıl milyonlarca ton atık üretilmekte ve çoğu bertaraf edilmektedir [1].

Tekstil sektörü, en yoğun kaynak kullanımının olduğu kirlетici endüstriler arasında yer almaktadır. Son on yılda tekstil üretiminin çevresel yükü her geçen gün artmaktadır. Bu yükün azaltılması için tekstil sektörünün dөngüsel ekonominin bir parçası haline getirilmesi gerekmektedir [5, 6]. Buna rağmen tekstilde geri dönüşüm oranları nispeten düşüktür. Örneğin Avrupa’da tekstil ürünlerinin yalnızca %25’inin geri dönüştürüldüğü bilinmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nde geri dönüşüm oranı %16,2’dir. Tekstillerin geri dönüştürülmemesi, dünyanın dört bir yanındaki çöplüklere atılan milyonlarca ton tekstil ürünüyle sonuçlanmaktadır. Bu düşük geri dönüşüm oranı, geri dönüşüm sürecini engelleyen lifli atık ve yapı (renk, tip, bileşim ve özellikler) çeşitliliği ile ilişkilendirilebilir [7, 8].

Modada “hızlı değişim” kavramı ile sürdürülebilirliğin uygulanması oldukça zordur. Çevre Koruma Ajansı’na göre Amerika’da kişi başına yılda yaklaşık 31 kg giysi ve tekstil çöpe atılmaktadır. Sonuçlar İngiltere için de benzerdir. Ortalama bir Birleşik Krallık vatandaşı her yıl 30 kg giysi ve tekstil atığını çöpe atmaktadır [9, 10]. Dünya çapında böyle yüksek miktarlarda üretilen tüketici öncesi ve tüketici sonrası tekstil atığı ciddi çevresel sorun oluşturmaktadır ve bu atıkların yeniden kullanımı ya da geri dönüşümü çok önemlidir [11].

Tekstil atıkları için en çok kullanılan geri dönüşüm yöntemi mekanik geri dönüşüm yöntemidir. Uygulaması kolay olmasına rağmen malzemenin yeniden işlenmesi sırasında bozulmalar meydana gelebilir ve bu nedenle ürün özellikleri ve geri dönüşüm verimliliği sınırlanabilir. Bu nedenle tekstil atıklarının farklı yöntemler ile değerlendirilmesi hakkındaki araştırmalar önem kazanmaktadır [12].

Tekstil sektöründe kullanılan pamuk, viskon, polyester ürünlerin termokimyasal yöntemlerle biyokömür eldesinde kullanılma potansiyeli vardır [11]. Termokimyasal geri dönüşüm yöntemlerinden olan karbonizasyon yöntemi ile tekstil atıklarının karbon malzeme üretiminde kullanılması sürdürülebilir bir yöntemdir [13]. Atıkları

termokimyasal işlemlerle enerjiye dönüştürmek ve aynı zamanda sera gazlarını azaltmak, döngüsel ekonomi için önemli bir geri dönüşüm yöntemidir [14]. Son yıllarda tekstil atıklarının karbonizasyon-aktivasyon yöntemleri ile karbon malzeme üretiminde kullanılmasına yönelik çalışmalar öne çıkmaktadır [15-17].

Karbon malzemeler özellikle yüksek yüzey alanı ve gözenekli yapısı ile oldukça önemli malzemeler arasındadır [18]. Biyokarbon ve aktif karbonun kumaşa uygulanması tekstile fonksiyonel özellik kazandırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu uygulamalar tekstil atıklarının değerlendirilmesi konusunda yeni bir yol olmuştur. Son yıllarda da artan tekstil atıklarının aktif karbon gibi katma değeri yüksek olan malzemeye dönüştürülmesi konusunda yapılan çalışmalar artmaktadır [4].

Tekstil atıklarının işlenmesinin atık hiyerarşi ile uyumlu olarak daha da yukarı taşıyacak olan tekstilin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü amacıyla bu çalışma kapsamında viskon kumaş üretimi sırasında ortaya çıkan viskon iplik atıklarından karbonizasyon yöntemi ile biyokarbon ve kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. İplik atıklarından üretilen bu karbon malzemelerin kumaşa uygulanması sağlanarak tekrar üretim döngüsüne kazandırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda karbon malzemenin özelliklerine bağlı olarak kumaşa sağladığı avantajların tespit edilmesi amacıyla karbon kaplanan kumaşlara ısı iletkenlik katsayısı, suya batırma ve su damlası testleri uygulanmıştır. Bunun yanında karbon kaplı kumaşların haslık değerlerinin incelenmesi için yıkama haslığı, asidik ter haslığı, alkali ter haslığı ve su haslığı testleri yapılarak karbon katkısının kumaş özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır.

2. TEKSTİL SEKTÖRÜ

2.1. Tekstil Sektörünün Mevcut Durumu

Tekstil sektörü, geniş kapsamlı bir üretim sürecine sahiptir. Elyaf, iplik, örme veya dokuma kumaş, dokusuz yüzeyler, ev tekstili ürünleri, bunlardan farklı olarak ip, ağ, tekstil kabloları, brandalar, koruyucu bezler, filtreler gibi teknik kullanıma yönelik teknik tekstiller tekstil sektöründe yer almaktadır. Bu geniş kapsamlı üretim süreci Görsel 2.1’de görüldüğü şekildedir [19].



Görsel 2.1. Tekstil sanayi ve hazır giyim üretim süreci [19]

Dünya nüfusunun artışı, yaşam standartlarının günden güne iyileşmesi ve moda sektöründeki değişimler ile paralel olarak geçtiğimiz birkaç on yıldan bu yana küresel elyaf tüketimini istikrarlı bir artışı ile sonuçlanmaktadır (Görsel 2.2) [20].



Görsel 2.2. Küresel pazarda giyim hacmi (2018-2025 yılları) [2]

Türkiye AB’nin üçüncü büyük tekstil tedarikçisidir [21] ve tekstil ve konfeksiyon sektörü ülkemiz ihracatının %30’unu oluşturmaktadır [22].

Günümüzde toplam tekstil tüketimi 62 milyon tondur ve bu değerin 2030 yılına kadar 102 milyon tona yükselmesi beklenmektedir. Bu verilerde atık üretiminin yüksek olduğunu ve artmaya devam edeceğini göstermektedir [23]. Türkiye’deki bu yüksek tekstil üretimi katı atık oluşumuna neden olmaktadır [21].

2. 2. Tekstil Sektörünün Çevresel Etkisi

Aşırı tekstil tüketimi sonucunda her yıl milyonlarca ton atık üretilmektedir [1]. Tekstil sektörün en önemli konularından biri atık sorunudur. Ülkemizde yılda toplam 28,4 milyon ton civarında atık oluştuğu bilinmektedir. Bu atıkların %4,8'inin tekstil atığı olduğu saptanmıştır [22]. Tekstil endüstrisi atıklarının, tehlikeli veya zararsız atık oluşturulmadan %90'dan fazlasının farklı ürünlere geri dönüştürülebileceği tahmin edilmektedir [7].

Tekstil atıkları, lif, tekstil ve hazır giyim üretim süreçleri, tüketiciler gibi çok sayıda süreçten kaynaklanan atıklardır. Tekstil Geri Dönüşüm Kurumu'na göre de tekstil atıkları tüketici öncesi ve tüketici sonrası olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Tüketici öncesi tekstil atıklarına bakıldığında bunlar; lif, iplik, tekstil, dokusuz yüzey, hazır giyim üretimi sırasında çıkan atıklardan oluşmaktadır. Tüketici sonrası atıklar ise hizmet süresini tamamlamış, kullanıcının kullanımının ardından kalan atıklardır [24].

Tekstil atıklarının çoğu bertaraf edilmektedir. Bertaraf edilen miktarın dışında az miktarda atık ise farklı ürünlere dönüştürülür. Fakat dönüştürüldükleri ürünler düşük katma değerli ürünler olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nin 2014 yılı geri dönüşüm oranının yalnızca %16,2 olduğu bilinmektedir. Diğer yandan Avrupa'da tekstil atıklarının yalnızca %15-20'si geri dönüşüm ve tekrar kullanım için toplanmakta, geri kalan %85-80'lik kısmı ise çöpe atılmakta ve yakılmaktadır [1].

Tekstil atıklarının bertarafı tüm dünyada tekstil endüstrisi için çok önemli bir konudur. Her yıl tonlarca tekstil ürünü evsel atıklarla birlikte atmakta ve çöplüklere gitmektedir. Tahminlere göre tekstil atıklarının durumuna bağlı olarak bu giysilerin %95'inin yeniden giyilebileceği, yeniden kullanılabileceği veya geri dönüştürülebileceği düşünülmektedir. Bu atık malzemelerin geri dönüşümü ve yeniden kullanımı, doğal kaynakların kıtlığı ve artan atık bertaraf maliyetleri nedeniyle dünya çapında artmaktadır [20,25]. Avrupa ve Amerika'da yılda yaklaşık 10 milyon ton tekstilin israf edildiği ve bunun 7,5 milyon tonu tüketici öncesi veya endüstriyel atıklara karşılık geldiği tahmin edilmektedir [26]. Bu sebeple tekstil malzemelerinin geri dönüşümü giderek daha önemli hale gelmektedir. Geri dönüşüm, bir ürünün yeni bir ürün elde edilmesinde kullanıldığı, doğal kaynakların kullanımını azaltan aynı zamanda atık miktarını da doğrudan azaltan bir süreçtir [7].

Tekstil geri dönüşümü ileri dönüşüm (upcycling) ve aşağı dönüşüm (downcycling) olarak iki kategoriye ayrılabilir. Geri dönüşüm ile tekstil atıkları yüksek değerli ürünlere

dönüştürülebilirken aynı zamanda düşük değerli hammaddelere (temizlik bezi, paçavra) dönüştürülebilir. Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması ile üretim sürecinde, hammaddeden yeni ürünler üretmek için gereken miktardan daha az enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca atık depolamadan kaynaklanan sera gazı emisyonları da azaltılmaktadır. Bu nedenle geri dönüşüm ile kaynak ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Tekstil atıklarının değerlendirilmesi, katma değerli ürünlere dönüştürülmesi ile atık bertarafına yardımcı olmaktadır [21].

Tekstil geri dönüşümü, şu anda maliyet, zaman ve teknoloji ile ilgili engellerle karşı karşıya olmasına rağmen, tekstil ve hazır giyim endüstrisinde sürdürülebilirlik yaratmanın etkili bir yoludur. Bu nedenle tekstil ve hazır giyim sektörü için geri dönüşüm konusunda girişimler hızla büyümektedir. Hem çevrenin korunması hem de ekonomik verimliliğin sağlanması açısından uygulanabilir geri dönüşümü teşvik edecek strateji ve politikalar farklı bölgelerde formüle edilmiştir [20].

2.2.1. Tekstil atıklarının değerlendirilme yöntemleri

Sürdürülebilirliğin sağlanması için doğal kaynakların verimli şekilde kullanılması oldukça önemli olup, bunun yanında bu doğal kaynakların tüketim hızının da sürdürülebilirliğe uygun şekilde olması gerekmektedir. Tekstil sektöründe de giderek artan çevre sorunlarına karşı sürdürülebilir malzemelerin ve üretim yöntemlerinin kullanılması her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. Bu durumun düzeltilmesi için üreticilerin doğrusal üretim yerine döngüsel üretim yöntemlerine yönelmeleri sağlanmalıdır [24].

Döngüsel üretim yöntemi, kaynakların mümkün olduğunca uzun süre bir döngüde tutulduğu, kullanım sırasında değerlerinin korumaya çalışıldığı ve yeni ürünlerin üretilmesi için yeniden tasarlandığı geleneksel ekonomiye (üretim, kullanım ve elden çıkarma) bir alternatiftir [27]. Döngüsel tekstil ekonomisi veya kapalı döngü sistemi kavramları, tekstil atık yönetiminin geleneksel açık döngü yaklaşımına sürdürülebilir bir alternatiftir [2].

Tüm dünyada her yıl büyük miktarda tekstil atığı çöplüklere atılmaktadır. Bu atıklar, çeşitli faydalı ürünlere dönüştürülebileceğinden, değerli bir kaynaktır [20]. Tekstil atıklarının katma değerli ürünlerin üretiminde hammadde olarak kullanılma potansiyeli yüksektir ve hem ekonomik hem de çevresel anlamda bu atıkların katma değerli ürünlere dönüştürülerek değerlendirilmesi önemlidir [1].

Selüloz, yeryüzünde çok bulunan doğal bir polimerdir. Selüloz, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve fosil kaynaklardan elde edilen polimerlere kıyasla daha düşük çevresel etkisi nedeniyle dünya çapında büyük önem taşımaktadır [26].

Selüloz açısından zengin olan tekstil atıkları değerli bir kaynaktır ve kimyasal işlemler ile katma değerli ürünler haline getirilebilir. Tekstil endüstrisinin neden olduğu çevresel etkinin azaltılması için, atık malzemelerin yeniden kullanımına yönelik çözümlerin araştırılması önemlidir [26-28].

Tekstil atık yönetim stratejilerinden biri 3R (reduce, reuse, recycle yani azalt, tekrar kullan, geri dönüştür) olarak bilinen stratejidir. Bu kapsamda doğaya atılmadan önce elyaf, iplik, kumaş veya ürün halindeki tekstil malzemelerinden maksimum düzeyde fayda sağlamak amacı bulunmaktadır [29].

Tekstilde yeniden kullanım (reuse), hayır kurumlarına veya ikinci el kurumlarına bağışlama, kiralama, ödünç alma gibi yollar ile ürünleri yeni sahiplerine vermek anlamına gelmektedir. Tekstilde geri dönüşüm ise tüketici öncesi ve tüketici sonrası tekstil atıklarının yeni tekstil ve tekstil dışı ürünlerde kullanılmak üzere yeniden işlenmesi anlamına gelmektedir [27].

Geri dönüşüm yöntemleri ürünlerin dönüştürüldüğü malzemeye bağlı olarak sınıflandırılabilir. Geri dönüştürülmüş ürün, orijinal üründen daha düşük değere (veya kaliteye) sahipse buna aşağı dönüşüm (downcycle) denmektedir. Bugün mevcut geri dönüşüm ürünlerinin çoğu aşağı dönüşüm ürünlerdir. Bezler, düşük kaliteli battaniyeler, keçeler, yalıtım malzemeleri bunlara örnek olarak verilebilir. Fakat eğer geri dönüştürülmüş malzeme orijinal üründen daha yüksek değere (veya kaliteye) sahipse buna ileri dönüşüm (upcycle) denir [30].

Üretim süreçlerinde ve tüketim sonrası oluşan atıkların, başka bir üretim sürecinin girdisi olacak şekilde yeniden değerlendirilmesi sayesinde tüm sistemin birbirini destekleyen ve atık çıkarmayacak şekilde planlanmasını öngören döngüsel ekonomi yaklaşımı gerçekleşmiş olacaktır. Döngüsel ekonomi yaklaşımıyla tekstil üretiminde ve sonrasında ortaya çıkan atıklarının tekrar değerlendirilmesi konusunda literatürde karşılaşılan çalışmalar Tablo 2.1’de verilmiştir. Sıcaklığın ve lif türlerinin biyokömür verimine etkisi üzerine yapılan çalışmada pamuk, viskon gibi selülozik liflerin yanında polyester, akrilik gibi sentetik liflerde kullanılmıştır [1]. Ayrıca karbonun adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi amacıyla yine selülozik liflerden pamuk ve lyocell (viskon)

kullanılarak aktif karbon ve karbon mikrotüp elde edilmiş ve iyot, klorür, kükürt dioksit, Cd(II) adsorpsiyonu için kullanılmıştır [31, 32].

Tablo 2.1. *Tekstil atıklarının yeniden değerlendirilmesi konusunda yapılan örnek çalışmalar*

Uygulama	Kullanılan Malzeme	Çalışmanın Sonuçları	Referans
Selüloz lifleri	Pamuk atığı	Ticari olarak üretilen viskondan daha üstün özellikler tespit edilmiş	[33]
Matel matriksli kompozit	Pamuk atığı ve titanyumdan elde edilen karbon mikrotüp (CMT)	Ti/CNT ve saf titanyum ile karşılaştırıldığında Ti/CMT'nin daha yüksek mekanik performansı olduğu görülmüş	[27]
Aktif karbon	Pamuk atığı	İyot, klor ve kükürt dioksit için yüksek adsorpsiyon kabiliyeti Cd(II) adsorpsiyonu:	[32]
Ağır metal adsorbanı	Lyocell (viskon) atığı	adsorpsiyon için kullanılan malzemeden 17 kat daha iyi sonuç elde edilmiş	[31]
Biyokömür	Farklı tekstil malzemeleri (pamuk, viskon, polyester, akrilik) ve karışımları	Sıcaklık ve lif türünün biyokömür verimi ve özellikleri üzerinde etkisi olduğu görülmüş	[1]

Tekstil geri dönüşüm yöntemleri incelendiğinde Şekil 2.1'de gösterildiği gibi mekanik, kimyasal ve termal geri dönüşüm olarak 3 gruba ayrılmaktadır [30].



Şekil 2.1. *Tekstil geri dönüşüm yöntemleri*

2.2.1.1. *Tekstil atıkların mekanik geri dönüşümü*

Tekstil atıkları liflerin ve malzemelerin yeniden kullanılmasının sağlanması için mekanik olarak parçalanmaktadır [34]. Mekanik geri dönüşüm yöntemi sonucunda geri kazanılan ürünün orijinali ile aynı ürün oluşturulur veya orijinalinden farklı bir ürün üretmek için hammadde sağlanabilir [35].

Mekanik yöntemlerle geri dönüşümün uygulanması sonucunda, toplanan iplik, kumaş atıklarının kesme, garnet, şifönöz gibi makinalarla parçalama, taraklama ve diğer mekanik işlemler ile tekrar lif yapısına dönüştürülmesi sağlanabilmektedir. Bu mekanik

yöntemler uygulandığında geri kazanılmış atıklar, iplik, dokuma, örme veya dokusuz yüzeylerin üretiminde kullanılabilirlik lifli bir yapıya getirilmektedir. Mekanik yöntemin dışında termomekanik yöntemde, atıklar sıcaklık uygulanarak eritilip granül haline getirilmektedir. Bu granüller ise plastiklerin ve liflerin üretiminde tekrar kullanılmak üzere hammadde olarak kullanılabilir. Mekanik geri dönüşüm yöntemlerinde uygulanan parçalama metodu sebebiyle geri dönüştürülmüş malzemenin kalitesi azalır. Bu nedenle tekrar kullanımı için genellikle yeni hammaddeden üretilmiş ürün ile karışım olarak uygulanır [11].

2.2.1.2. Tekstil atıklarının kimyasal geri dönüşümü

Kimyasal geri dönüşüm çoğunlukla polimerlerin depolimerize edildiği veya çözündüğü bir yöntemdir. Böylece, ürün moleküler seviyelere ayrıştırılmış olur [30]. Kimyasal dönüşüm yöntemleri incelendiğinde, özellikle sentetik içerikli atıklar, genel itibarıyla kimyasal depolimerizasyon yöntemleri uygulanarak hammadde veya ara ürüne dönüşümleri gerçekleştirilebilir. Bu yolla üretilen geri dönüştürülmüş ürünler çeşitli alanlarda kullanılabilir. Tekstilde kimyasal geri dönüşüm yöntemi genellikle sentetik kumaşlar (polyester, naylon vb.) için uygulanan bir yöntemdir [36].

2.2.1.3. Tekstil atıklarının termokimyasal geri dönüşümü

Sürekli artan atıkların geri dönüştürülmesi her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Bu atıkların arasında selülozik atıkların termokimyasal dönüşüm süreçleri ile katma değerli ürünler yaratmak gelecek vaat eden tekniklerden biri olarak kabul edilir [37].

Yüksek selüloz içerikli tekstil atıklarının termokimyasal geri dönüşüm ile geri kazanılması sürdürülebilir bir yöntemdir [38]. Termokimyasal dönüşüm yöntemleri ile elde edilen ürünler sürece bağlı olarak katı, sıvı veya gaz olmaktadır. Bu ürünler doğrudan kullanılabilir veya kimyasal işlemlere tabi tutularak geliştirilebilir. Yüksek miktardaki atıkların değerlendirilmesi için yakma, gazlaştırma ve piroliz yöntemleri kullanılmaktadır [22].

Tekstil atıklarına genellikle uygulanan düzenli depolama ve yakma yaklaşımları nedeniyle atıkların çevreye daha fazla zarar verdiği tespit edilmiştir. Atıkların bertarafı yerine sürdürülebilirlik kapsamında yeniden kullanılması ile yakmadan dolayı meydana gelen çevresel etki azaltılabilir [39].

Gazlaştırma, karbon bazlı hammaddeyi kontrollü bir şekilde oksijen ve/veya buharla yüksek sıcaklıklarda ($>700^{\circ}\text{C}$) sentez gazı olarak bilinen gaz yakıtı dönüştürme işlemidir [40]. Gazlaştırma büyük miktarda CO_2 açığa çıkardığı ve işlemin genel verimliliğini düşüren katran oluşturduğundan tekstil atıklarının değerlendirilmesi konusunda etkili bir yöntem olarak görülmemektedir [41].

Döngüsel ekonomi sisteminde tekstil ve hızlı moda atıklarının termal dönüşümü arasında özellikle piroliz yöntemi ile biyokarbon üretimine olan eğilim her geçen gün artmaktadır [11]. Piroliz yöntemi büyük moleküllü yapının inert, vakum, indirgen veya yükseltgen ortamlarda katalizör kullanarak veya kullanmayarak, sıcaklık ile parçalanması işlemine denmektedir [22].



Piroliz diğer termokimyasal dönüşüm yöntemleri ile karşılaştırıldığında atıkların geri dönüşümünde hem daha çevreci, hem de atıklara katma değer katması açısından en uygun yöntemlerden biridir. Özellikle tekstil sektörü gibi yüksek üretim oranları nedeniyle tekstil atıkları piroliz işlemi ile geri kazanım yöntemine oldukça uygun atıklardır [37]. Piroliz işleminde en önemli parametrelerden biri piroliz sıcaklığıdır. Piroliz sıcaklığının ürün verimindeki önemi Tablo 2.2’de görüldüğü gibidir. Buradan da anlaşılabileceği gibi, yüksek piroliz sıcaklıklarında sıvı ürün verimi azalmakta, gaz ürün verimi artmaktadır. Katı ürün verimi ise artan piroliz sıcaklığı ile azalmaktadır [42].

Tablo 2.2. Piroliz sıcaklığının ürün verimine etkisi [42]

Sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$	Gaz, ağırlıkça %	Sıvı, ağırlıkça %	Katı, ağırlıkça %
400	9	50	41
500	17	66	17
600	35	54	11
700	43	47	10

3. KARBON MALZEMELER

Tekstil atıklarının etkin bir kullanım yöntemi termokimyasal dönüşüm yoluyla aktif karbon üretimidir. Aktif karbon malzemeler yüksek yüzey alanı ve gözenekli yapısı ile dikkat çekmektedir [18]. Son yıllarda tekstil atıklarının bir piroliz-aktivasyon yöntemleri ile karbon malzeme eldesinde kullanılmasına yönelik çalışmalar öne çıkmaktadır [12]. Tekstil atıklarının piroliz veya aktivasyonu ile aktif karbon üretiminde kullanılması sürdürülebilir bir yöntem olarak görülmektedir [13].

Biyokarbon, biyokütlenin oksijenle sınırlı bir ortamda termokimyasal olarak dönüştürülmesinden elde edilen, karbon kaynağı olarak kullanılan yenilenebilir bir malzemedir. Ayrıca yüksek karbon içeriği ve geniş spesifik yüzey alanına sahiptir [4]. Aktif karbonlar endüstriyel gaz veya sıvı emisyon kontrolü, solvent geri kazanımı, yeraltı suyu arıtma, kataliz ve gaz depolama için kullanılır. Aktif karbonlar çok yüksek iç yüzey alanlarına ve aktif yüzeylere sahiptir ve tipik yüzey alanları $1500 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dır [43].

3.1. Karbon Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Ticari aktif karbonların çoğu fosil yakıtlardan üretilir ve bu çevre dostu olmayan bir üretim şeklidir. Bunun yerine yenilenebilir kaynakların karbon malzemelerin üretiminde hammadde olarak kullanılması önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [44].

Yüksek karbon içeriği ve selülozik yapısı nedeniyle hindistan cevizi kabukları, zeytin çekirdekleri, gibi tarımsal atıkların aktif karbon için hammadde olarak kullanılması üzerine birçok çalışma bulunmaktadır [12]. Bunların yanında atık kahve çekirdekleri, kayısı kabuğu, şeker kamışı küspesi gibi birçok tarımsal atık hammadde kaynağı olarak kullanılmaktadır [44].

Selülozik tekstil atıkları da karbonca zengin atıklar olduğu için aynı amaçla kullanılabilir [12, 45]. Son yıllarda yıllık küresel elyaf üretiminin 40'ını selülozik malzemeler oluşturmaktadır [18]. Tekstil sektöründeki üretimin artması aynı oranda selülozik tekstil atıklarının artmasına neden olmaktadır. Selülozik içeriğinden dolayı tekstil atıkları da karbon üretiminde kullanılan hammaddeler arasındadır.

3.2. Aktif Karbon Üretim Yöntemleri

Aktif karbonun hazırlanması ve üretimi karbonizasyon ve aktivasyon proseslerinden oluşmaktadır. Karbon üretiminde kullanılacak hammaddenin

karbonizasyonu genellikle 400–800°C’ler arasında oksijensiz ortamda gerçekleştirilmektedir [44].

Aktif karbon üretiminde kullanılan aktivasyon yöntemleri fiziksel aktivasyon veya kimyasal aktivasyon şeklinde olabilir. Fiziksel aktivasyon yöntemi, hammaddenin yüksek sıcaklıklarda (600-900°C) inert atmosferde karbonizasyonunu takiben, 600-1200°C arasındaki sıcaklıklarda karbondioksit, buhar, hava gibi uygun oksitleyici gazların veya bunların karışımlarının varlığında oluşan aktivasyonu içerir [18, 46].

Kimyasal aktivasyon yönteminde, karbonizasyon ve aktivasyon adımları, hammaddenin dehidrate edici ajanlar ve oksidanlar olan H_3PO_4 , $ZnCl_2$, $AlCl_3$, KOH , K_2CO_3 , H_3PO_4 gibi kimyasal aktive edici ajanlarla doyurulmasıyla eş zamanlı olarak gerçekleştirilir [47, 48]. Kimyasal aktivasyon sıcaklıkları genellikle 600-900°C arasındadır. Kimyasal aktivasyon yöntemi tek aşamalı bir işlemde gerçekleştirildiği ve daha düşük sıcaklıklar ve daha kısa süreler gerektirdiği için fiziksel aktivasyon yöntemine göre avantajlara sahiptir [49]. Üretim yönteminin avantajı yanında fiziksel ve kimyasal aktivasyon ile üretilmiş aktif karbonlar karşılaştırıldığında kimyasal olarak aktifleştirilmiş karbonun adsorpsiyon yeteneğinin yüksek olduğu ve fiziksel aktivasyon ile üretilmiş aktif karbon gözenek yapısı mezo gözenek iken mikro gözenek yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir [50].

Üretilen aktif karbonun özellikleri aktivasyon yönteminin dışında kullanılan hammaddeye, karbonizasyon süresine ve sıcaklığına, aynı şekilde aktivasyon süresi ve sıcaklığına, emdirilen kimyasalın yapısına ve oranına bağlı olarak değişmektedir [51].

3.3. Karbon Malzemelerin Özellikleri

Aktif karbon birçok farklı proseste iyi bir adsorban olarak kullanılan ve talebi giderek artan bir malzemedir [52].

Aktif karbonlar, geniş gözenek boyutu ve hemen hemen her boyuttaki molekül barındırabilmeleri sayesinde sıklıkla adsorban olarak kullanılabilirler. Üretilen aktif karbonlar ise hava temizleme, atık su arıtma, solvent geri kazanımı, koku kontrolü ve kişisel koruyucu giysiler gibi geniş uygulama alanına sahiptir [51]. Literatürde bambu atığından farklı kimyasal aktivasyon kimyasalı ve farklı sıcaklıklar kullanılarak aktif karbon üretimi gerçekleştirmiştir [53]. Elde edilen aktif karbonların özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Tablo 3.1 incelendiğinde en iyi yüzey alanı ve toplam gözenek hacmi K_2CO_3 kimyasalı kullanılarak elde edilmiştir. Sıcaklığın etkisi incelendiğinde en yüksek

sıcaklık KOH kimyasalı ile kullanıldığı fakat aktif karbon özelliklerinde kullanılan kimyasalın etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1. *Bambu atığından farklı aktivasyon kimyasalları ile üretilen aktif karbonların özellikleri*

Aktivasyon Kimyasalı	T°C	S _{BET} (m ² /g)	V _t (cm ³ /g)
H ₃ PO ₄	600°C	1335	0,625
K ₂ CO ₃	750°C	2237	1,23
KOH	850°C	1896	1,109

Aktif karbon özelliklerini etkileyen bir diğer değişken sıcaklıktır. Literatürde bambu atığından buhar aktivasyon kullanılarak farklı sıcaklıklarda aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiş ve 60 dakika aktivasyon süresi için sonuçlar Tablo 3.2’de verilmiştir [54]. Tablo 3.2 incelendiğinde artan aktivasyon sıcaklığının aktif karbonun yüzey alanını ve toplam gözenek hacmini arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat bunun yanında sıcaklık artırıldığında verimin düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı hammadde kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında aynı sıcaklıklarda gerçekleşen kimyasal aktivasyon yöntemi ile üretilen aktif karbonların daha yüksek gözenek hacmine ve yüzey alanına sahip olduğu bildirilmiştir [54].

Tablo 3.2. *Bambu atığından farklı aktivasyon sıcaklıklarında üretilen aktif karbonların özellikleri [54]*

T°C	S _{BET} (m ² /g)	V _t (cm ³ /g)	Verim (ağırlıkça %)
550°C	459	0,192	89,6
650°C	612	0,256	76,0
750°C	773	0,329	64,7

4. TEKSTİLDE TERMAL KONFOR

Giysilerin, kullanıcı için fizyolojik açıdan hareket rahatlığı vermesi, termal açıdan ortamdaki sıcaklık değişimlerine karşı ısı denge sağlaması ve estetik, görünüm özellikleri ile psikolojik açıdan iyi hissettirmesi “giysi konforu” olarak adlandırılır. Giysilerin konforlu olması için termal konfor en önemli parametre olduğundan, kumaşların termal özelliklerinin incelenmesi ve bu konuda çalışmalar yürütülmesi ilgi çekici bir konudur [55].

Bir giysi kullanıcıyı, farklı hava koşullarından ve sıcaklık değişimlerinden koruyarak termal açıdan konfor sağlamalıdır. Giysilerin ısı ve nem transferini düzenlemesi termal yönetim için önemlidir. Günlük hayatta kullandığımız giysiler tam anlamıyla termal düzenleme sağlamadığı için yeni tekstil ürünlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Giysiler insan vücudu ve çevre arasındaki hidro-termal alışverişi yöneten hareketli sistemlerdir. Tekstil malzemeleri farklı termal özelliklere sahip olduklarından termal davranışları da farklıdır [56].

Tekstil sektöründe farklı markalar termal konfor sağlayan farklı teknolojilerle kumaşlar geliştirmişlerdir. Geliştirilen bazı ürünler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. *Tekstil sektöründe termal konfor sağlayan farklı teknolojiler [55, 57].*

Marka	Teknoloji
Omni-heat (Columbia)	Vücut ısını yansıtan gümüş parçalar içerir
Coolmax (Dupont)	Çabuk kuruma özelliğine sahip, buharlaşmayı kolaylaştıran, nefes alabilen polyester esaslı bir lif
Thermolite (Dupont)	Kutup ayılarının kürkünden esinlenerek üretilmiş, geniş yüzey alanı sayesinde nemi hızlıca deriden kumaş yüzeyine aktararak hızlı buharlaşmayı sağlar
AeroReact (Nike)	İki bileşenli iplik yapısıyla nem buharını algılar ve nefes alabilirlik sağlanması için yapısını açar
HeatGear (Under Armour)	Vücut sıcaklığını sıcak havalarda serin tutar
ColdGear (Under Armour)	Vücut sıcaklığını soğuk havalarda sıcak tutar
Directaplus	Grafen ile güçlendirilmiş maske, kayak ceket ve pantolon

Vücut ve ortam arasındaki ısı akışını etkileyen en önemli özelliklerden biri malzemenin ısı iletkenliğidir. Giysilerin ısı akışı temelde lifli malzemenin termal iletkenliğine bağlı olarak değişmektedir [58].

Kumaşın termal iletkenliğinin yüksek olması sıcak olan insan vücudundan daha soğuk olan dış ortama doğru ısı transferine izin verir. Tekstil ürünlerinin ısı iletkenlikleri genel olarak 0,033 W/mK ile 0,10 W/mK arasında değişmektedir [57].

Grafen termal düzenleme için kullanılan malzemelerden biridir. Kullanıcıların konforunun önemli olduğu spor giyim, iç giyim ve koruyucu ekipmanlarda termoregülasyon sağlanmalıdır. Grafen yüksek termal özellikleri sayesinde termoregülasyon için iyi bir malzemedir [59].

Giysilerde konforun termal konfor ile ilişkili diğer özelliği de kumaşların hidrofilitesidir. Bu, vücutta oluşan terin kısa sürede uzaklaştırılması için önemli bir parametredir. Sıvının kumaş tarafından absorblanabilmesi için liflerin ıslanabilir özellikte olması gerekir. Bunun yanında ipliklerin özellikleri, sıklığı, kalınlığı gibi yapısal özellikleri ve kumaşa uygulanan bitim işlemleri absorpsiyon kapasitesini etkileyen parametreler arasındadır. Kumaşların ıslanma özelliklerinin test edilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. TS 866 numaralı standart ile batma ve damlama testi en çok kullanılan yöntemlerdir.

Bunlar dışında DIN 53923:1978 numaralı standart ile potasyum kromat testi, ASTM 4772:97 numaralı standart ile havlu kumaşların su emicilik özelliklerini belirlemek için uygulanan diğer testlerdir [60].

5. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Tekstil sektörüne olan talebin artması, çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Tekstil sektörünün en önemli çevresel sorunlarından biri katı atıklardır. Sürdürülebilirliğin her geçen gün daha önemli hale gelmesiyle tekstil atıkların değerlendirilmesi konusunda yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bunun yanında döngüsel üretim yöntemlerine olan ilgi büyüktür. Süreç içinde atık olarak çıkan ürünlerin tekrar prosese kazandırılması veya farklı bir prosesin hammaddesi olarak kullanılması önemlidir. Aynı zamanda karbon malzemeler katma değerli ürünlerdir ve birçok sektörde kullanılmaktadır. Hazırlanan tez kapsamında atıkların daha katma değerli bir ürün olan karbon malzemeye dönüştürülmesi ve döngüsel bir yaklaşım ile kumaşların bu karbon malzemeler ile kaplanması konusunda çalışmalar yürütülmüştür. Bu bölümde tüm bu konularla bağlantılı literatürde yer alan çalışmalar paylaşılacaktır.

Bhati ve arkadaşları (2014), farklı konsantrasyonlarda H_3PO_4 emdirilmiş viskon kumaşlardan aktif karbon kumaş üretmiştir. İlk olarak örme viskon kumaş şeritler halinde kesilerek su ile temizlenmiştir. Ardından farklı konsantrasyonlarda hem $30^\circ C$ hem de $70^\circ C$ 'de emdirme yapılmış ardından $85^\circ C$ 'de 2-3 saat kurutulmuştur. Aktivasyon işlemi $5^\circ C/dk$ azot akış hızında $850^\circ C$ 'de yapılmıştır. Sıcaklık $850^\circ C$ 'ye ulaştığında N_2 kapatılmış, CO_2 $200mL/dk$ hızında fırına gönderilmiştir. Ardından elde edilen aktif karbon lifi distile su ile yıkanmış, $110^\circ C$ kurutulmuştur. Aktif karbon lifi yüzey alanı AC-30 ve AC-70 numuneleri için sırasıyla $2372 m^2/g$ ve $2565 m^2/g$ olarak belirlenmiştir. Öte yandan, artan emprenye konsantrasyonu ile numunelerin mikro gözenekliliği (%) azalmıştır. AC-70 numuneleri, AC-30 numunelerine kıyasla yüksek mikro gözeneklilik ve düşük gözenek boyutu dağılım aralığı ile yüksek yüzey alanı göstermiştir. Aktif karbon hazırlamada emprenye sıcaklığının da önemli parametrelerden biri olduğu görülmüştür [51].

Williams ve arkadaşları (2004) tarafından çalışma kapsamında keten kenevir elyafından kimyasal aktivasyon yöntemi kullanılarak aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Emdirme işlemi çinko klorür ve fosforik asit ile yapılmıştır. Sonucunda $2000 m^2/g$ yüzey alanına sahip aktif karbon üretilmiştir. Çinko klorür, fosforik asit aktivasyonuna kıyasla daha yüksek yüzey alanı oluşturmuştur. Kimyasal emdirilen elyaflar $450-550-650^\circ C$ sıcaklıklarında piroliz edilmiştir. Daha yüksek yüzey alanlarının, aktive edici maddenin daha yüksek konsantrasyonları ve piroliz sıcaklığıyla doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir [43].

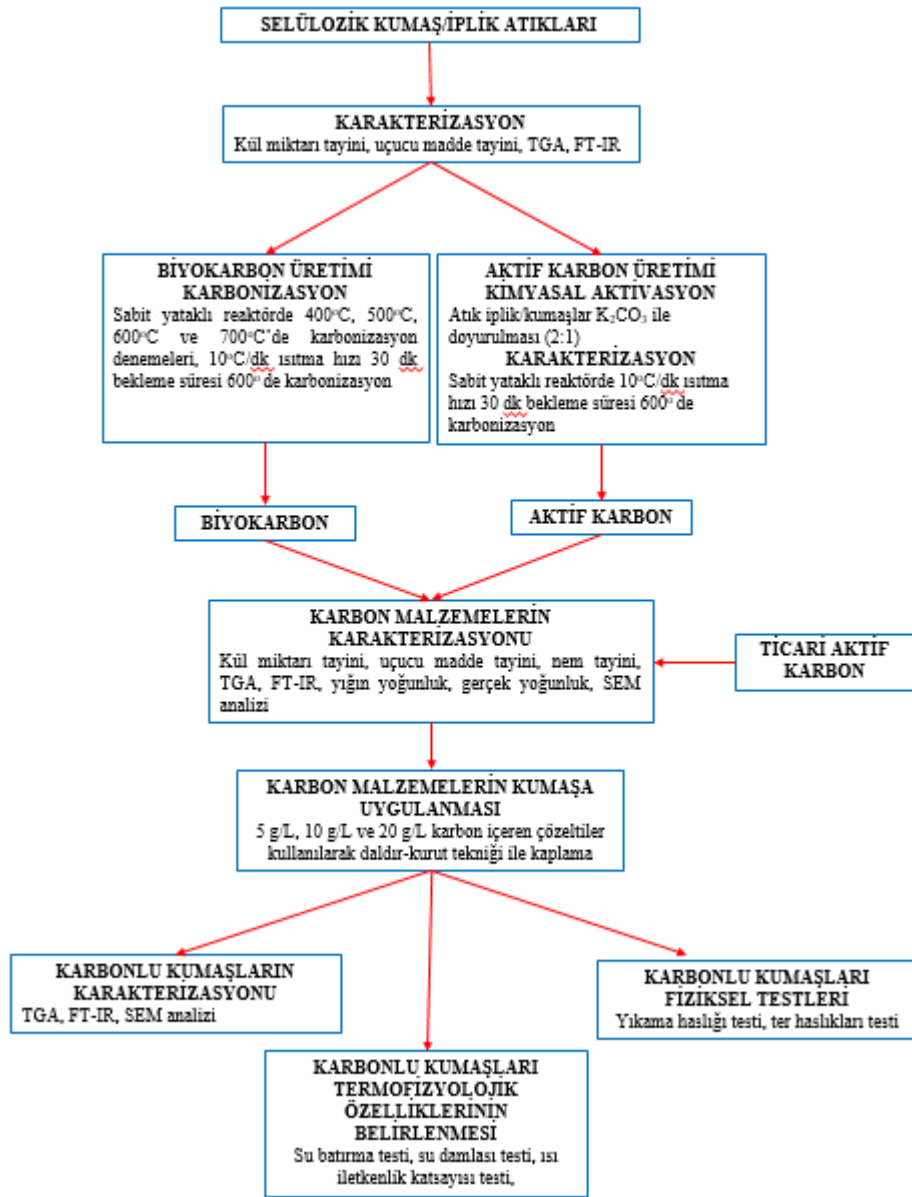
Zhang ve arkadaşları (2020) tarafından atık pamuk liflerinin, viskon liflerinin ve Avicel'in karbon mikro küreleri hazırlamak için hidrotermal karbonizasyonu (HTC) araştırılmıştır. Karbonize ürünler SEM, EDS, XRD, TG ve FTIR ile karakterize edilmiştir. Pamuk liflerinden ve Avicel'den sırasıyla % 60,35 ve % 60,24 yüksek kristallikli karbon mikroküreleri hazırlamak için optimum HTC koşullarının, sırasıyla% 0,15 CuSO₄ içinde 6 saat 330 °C ve % 0.10 CuSO₄ içinde 6 saat 310 °C olduğu raporlanmıştır. Hiçbir katkı maddesi olmaksızın % 34,31 düşük kristallikteki viskon elyaflardan 260 °C'de 8 saat uygulanan HTC ile sentezlenebileceği görülmüştür. Daha düşük kristallığe sahip selülozik malzemelerden , karbon mikro kürelerin hazırlanması için daha düşük HTC koşullarının uygulanması gerektiği saptanmıştır. Sonuç olarak selülozik malzemelerin polimerizasyon derecesi, karbon mikrokürelerin oluşumu üzerinde çok az etkiye sahip olduğu açıklanmıştır [61].

Hina ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada selülozik kapok, viskon, rami, pamuk, bambu, tencel kullanılarak kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon lifler üretilmiştir. Aktif karbon liflerinin karakterizasyonu SEM, FT-IR ve XRD ile yapılmıştır. Altı selülozdan üretilen aktif karbon liflerin neredeyse aynı FT-IR spektrumlarına sahip olduğu ve fiberlerin adsorpsiyon kapasitelerinin azalan sıra ile kapok, bambu, rami, pamuk, viskon ve lyocellden üretilen karbonlara ait olduğu sonucuna varılmıştır [50].

Duman ve arkadaşlarının (2021) yürüttüğü araştırmada pamuk, polyester ve karışımları ile ZnCl₂ ve KOH kimyasal ajanları kullanılarak kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Pamuk bazlı aktif karbonun en yüksek yüzey alanına (1906 m²/g) sahip olduğu görülmüştür [62].

6. DENEYSEL YÖNTEMLER

Yapılan çalışma kapsamında atık viskon iplikler karbon üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır. Gerçekleşen faaliyetler karbon malzemelerin üretimi ve karbon malzemelerin karakterizasyonlarının gerçekleştirilmesi, üretilen karbonların kumaşa uygulanması ve elde edilen karbon kaplı kumaşların karakterizasyonlarının ve fiziksel testlerinin gerçekleştirilmesi şeklinde 2 aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın akış diyagramı Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. DeneySEL yöntem akış diyagramı

Çalışmada ilk olarak viskon iplik atıklarına uygulanacak karbonizasyon yönteminde 400°C, 500°C, 600°C ve 700°C sıcaklıklarda denemeler gerçekleştirilmiştir. Karbonizasyon işlemi 100 cm³/dk N₂ gaz akış hızı altında, 10 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Karbonizasyon ile aynı koşullarda 600°C’de aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Kimyasal aktivasyon ajanı olarak K₂CO₃ kullanılmıştır. Emdirme işlemi 2:1 (viskon iplik/K₂CO₃) oranında gerçekleştirilmiştir. K₂CO₃ emdirilen viskon ipliklere ısıtma işlemi uygulanmıştır. Farklı karbon malzemelerin özelliklerinin incelenmesi düşünüldüğünden biyokarbon ve aktif karbonun ardından SIGMA – ALDRICH marka CAS 7440-44-0; C; FW 12.01 Activated Charcoal çalışmada kullanılmak üzere temin edilmiştir. Bu sayede biyokarbon (BK), aktif karbon (AK) ve ticari aktif karbon (AC) olacak şekilde 3 farklı karbon malzeme elde edilmiştir. Karbon malzemeler öğütülüp, eleme işleminden geçirilerek <25 µm parçacık boyutuna getirilmiştir. Elde edilen karbon malzemelerin karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısımda elde edilen üç karbon malzemenin, kumaşa uygulanması yönünde denemeler yürütülmüştür. Kumaşa uygulamada daldırma yöntemi kullanılmıştır. Daldırmada kullanılacak karbon çözeltisi içine tekstil sektöründe boyarmaddelerin life tutunmasını sağlayan, lif ile bağ yapan malzeme olarak bilinen bağlayıcı kimyasal 100 mL çözeltiye 2 g olacak şekilde eklenmiştir. Karbon malzemenin miktarının etkisinin görülmesi açısından Tablo 6.1.’de verilen 3 farklı çözelti ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan karışımlar kaplama öncesinde 15-20 dk ultrasonik banyoda bekletilerek homojen bir çözelti haline getirilmiştir.

Tablo 6.1. Daldırma çözeltilerinin içerikleri

Çözelti	Karbon Miktarı
Çözelti 1	5 g/L
Çözelti 2	10 g/L
Çözelti 3	20 g/L

Kaplama işlemi sonucunda kumaşlardaki karbon miktarının belirlenmesi için kaplamada kullanılacak tüm kumaşlar öncesinde aseton ile yıkanmış, kurutulmuş ve tartımları alınmıştır. Kaplama sonrası da kurutulmuş kumaşlar tartılmıştır. Her farklı karbon malzeme için hazırlanan çözelti ile 7,5 x 7,5 cm boyutlarında 3 adet kumaş ve 4

x 10 cm boyutlarında 8 adet kumaş kaplanmıştır. Kaplama işleminin ardından karbonlu kumaşların karakterizasyonları ve fiziksel testleri gerçekleştirilmiştir.

6.1. Hammaddenin Karakterizasyonu

6.1.1. Kül miktar tayini

Atık viskon ipliğinin kül miktarının belirlenmesi için ASTM D1762-84 standardı kullanılmıştır. Tayin için sabit tartıma getirilen krozeler içine 1 g 24 saat 105 °C sıcaklıkta kurutulmuş örnekler koyularak 750 °C'deki fırın içine yerleştirilmiştir. Bu işlemde sonra fırından alınan krozeler desikatörde soğutularak tartım alınmıştır. Sabit tartıma gelene kadar ısıtma-soğutma çevrimlerine devam edilmiştir. Kül miktarının belirlenmesi için Eşitlik 6.1'de verilen formül kullanılmıştır.

$$\% \text{Kül miktarı} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right) * 100 \quad (6.1)$$

Burada; M_1 tartılan kuru örnek (g), M_2 750 °C ısıtma işlem sonrası tartılan örnek (g)'dir.

6.1.2. Uçucu madde tayini

Karbon hammaddesi olarak kullanılacak viskon ipliklerin uçucu madde tayini ASTM D1762-84 standardında gerçekleştirilmiştir. 24 saat 105 °C sıcaklıkta kurutulmuş örnekler sabit tartıma getirilmiş krozeler içine 1 g olacak şekilde koyulmuştur. 950 °C'deki fırın içine yerleştirilen kapaklı krozeler 7 dakika fırında tutulmuş ve çıkarılarak desikatörde soğutulmuştur. Tartımlarının alınması ardından Eşitlik 6.2 formülü kullanılarak uçucu madde yüzdesi belirlenmiştir.

$$\% \text{ Uçucu madde} = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) * 100 \quad (6.2)$$

Bu eşitlikte; M_1 tartılan kuru örnek (g), M_2 950 °C ısıtma işlem sonrası tartılan örnek (g)'dir

6.1.3. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA), biyokütlelerin, kömür ve diğer yakıtların termal davranışlarını ve yanma kinetiklerinin değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir [63]. Biyokütle pirolizinin temel kinetik özelliklerini incelemek için yaygın olarak kullanılır. Termogravimetrik analizde bir numune belirlenen ısıtma hızında ısıtılmaya maruz bırakılır ve sıcaklıklardaki ağırlık kayıpları kaydedilir. TGA analizlerinde piroliz deneyleri için gaz olarak nitrojen, yakma deneyleri için gaz olarak hava kullanılmaktadır [64].

Atık viskon ipliğinin ısı davranışının incelenmesi için gerçekleştirilen termogravimetrik analiz (TGA) Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği'ndeki Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. SETARAM-LABSYS Evo cihazı ile gerçekleştirilen analizde hammadde alümina kroze içinde 10 ± 5 mg tartılmıştır. Hammaddenin 20 mL/dk N_2 gaz akışı altında ve ayrıca 20 mL/dk hava akışı altında TGA analizi yapılmıştır. Hava akışı altında sıcaklık $20^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında oda sıcaklığından 800°C 'ye, azot akışı altında sıcaklık 1000°C 'ye getirilmiştir. Analiz sayesinde kütle kaybı (TG) ve kütle kaybının türevi (dTG) eğrileri ile viskon ipliğin termal davranışları belirlenmiştir.

6.1.4. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

FT-IR, çeşitli biyokütle ve karbon malzemelerin kimyasal bileşiminin analizinde kullanılan bir yöntemdir [65].

Karbon üretiminde kullanılacak viskon ipliklerin fonksiyonel gruplarının öğrenilmesi için Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda Thermo Fisher Scientific-Nicolet TM İS TM 10 cihazı kullanılmıştır. Analiz için %99 oranında KBr (nemi uzaklaştırılmış), %1 oranında ölçüm yapılacak malzeme homojen olacak şekilde karıştırılıp, toz haline getirilmiştir. Hazırlanan ince toz karışım basınç altında pellet haline getirilerek cihazın örnek bölümüne koyularak $4000-400\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında spektrum alınmıştır.

6.2. Hammaddenin Termokimyasal Dönüşümü

6.2.1. Karbonizasyon

Karbonizasyon işlemi yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz bir ortamda gerçekleştirilen bir termokimyasal dönüşüm yöntemidir. Malzemenin mekanik özelliklerini belirli dereceye kadar bozulmasına yol açsa da, farklı özellikler ile avantaj sağlamaktadır [66]. Biyokarbon üretimi için hammadde olarak kullanılacak atık viskon ipliklerinin karbonizasyon işlemi Eskişehir Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan sabit yataklı kesikli reaktörde gerçekleştirilmiştir. $100\text{ cm}^3/\text{dk}$ azot gazı akış hızı altında $10^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında 600°C sıcaklıkta karbonizasyon yapılmıştır. Kullanılan reaktörün şeması Şekil 6.2'de verilmiştir.

1: Azot tüpü

2: Akış ölçer

3: Isı ölçer

4: Reaktör

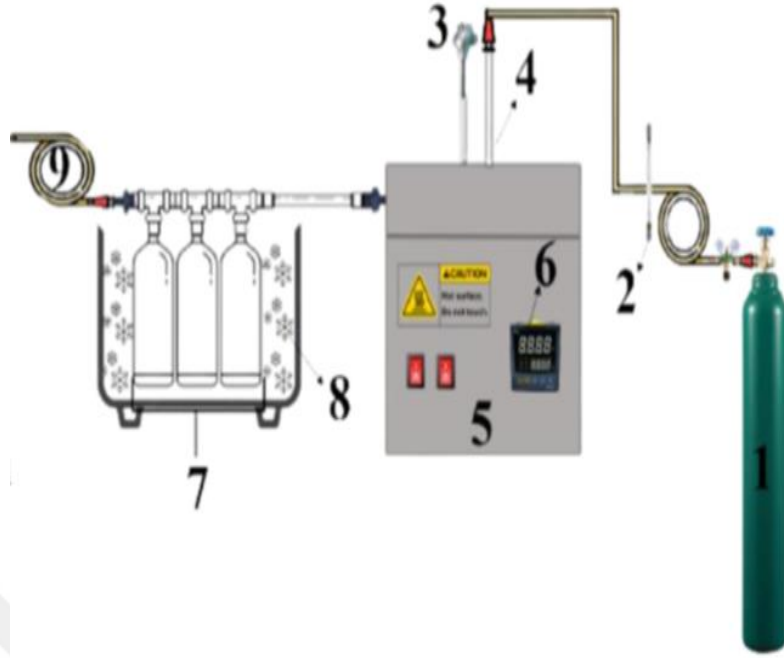
5: Fırın

6: Fırın kontrol ünitesi

7: Sıvı toplama kapları

8: Buz

9: Gaz çıkışı



Şekil 6.2. Kullanılan reaktör [67]

6.2.2. Aktif karbon üretimi

Aktif karbon üretimi kimyasal aktivasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aktivasyon ajanı olarak belirlenen K_2CO_3 kimyasalı ile viskon ipliklere emdirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Saf su içerisinde 2:1 (viskon iplik/ K_2CO_3) oranında karıştırılan iplikler karbonizasyon işlemi için kurutulmuştur. Eskişehir Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan sabit yataklı reaktörde gerçekleştirilen karbonizasyon işlemi ardından elde edilen aktif karbonun sıcak su ile pH:7 olacak şekilde yıkamaları yapılmıştır. Yıkanan aktif karbonlar etüvde kurutulmuştur.

6.3. Karbonlu Malzemelerin Karakterizasyonu

6.3.1. Nem miktarı tayini

Maddelerin nem içeriği, verimliliği, yanma sırasında kül oluşumunu etkileyen en önemli parametredir [68].

BK (biyokarbon), AK (aktif karbon) ve AC'nin (ticari aktif karbon) nem miktarı tayini Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda Precisa XM60 cihazında gerçekleştirilmiştir. Nem miktarlarının tespit edilmesi için gerçekleştirilen test 105 °C sıcaklıkta yapılmıştır.

6.3.2. Kül tayini

Çalışmada kullanılan BK, AK ve AC malzemelerinin kül miktarı ASTM D1762-84 standardı ile belirlenmiştir. Bu standart kapsamında sabit tartıma getirilen krozeler içine 1 g 24 saat 105 °C sıcaklıkta kurutulmuş örnekler koyularak 750 °C'deki fırın içine yerleştirilmiştir. Bu işlemden sonra fırından alınan krozeler desikatörde soğutularak tartım alınmıştır. Kül miktarının belirlenmesi için Eşitlik 6.3'de verilen formül kullanılmıştır.

$$\%K\ddot{u}l\ miktarı = \left(\frac{M_2}{M_1} * 100 \right) \quad (6.3)$$

Burada; M_1 tartılan kuru örnek (g), M_2 750 °C ısıtıl işlem sonrası tartılan örnek (g)'dir.

6.3.3. Uçucu madde tayini

Kullanılan karbon malzemelerin uçucu madde tayini ASTM D1762-84 standardı kapsamında gerçekleştirilmiştir. 24 saat 105 °C sıcaklıkta kurutulmuş karbon örnekler sabit tartıma getirilmiş krozeler içine 1 g olacak şekilde koyulmuştur. 950 °C'deki fırın içine yerleştirilen krozeler 7 dakika fırında tutulmuş ve çıkarılarak desikatörde soğutulmuştur. Tartımlarının alınması ardından Eşitlik 6.4 formülü kullanılarak uçucu madde yüzdesi belirlenmiştir.

$$\%U\breve{c}ucu\ madde = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) * 100 \quad (6.4)$$

Bu eşitlikte; M_1 tartılan kuru örnek (g), M_2 950 °C ısıtıl işlem sonrası tartılan örnek (g)'dir

6.3.4. Yığın yoğunluk tayini

Çalışmada kullanılan karbon malzemelerin yığın yoğunluklarının belirlenmesi için hacmi bilinen bir kap içinde karbon malzemelerin tartımları alınmıştır. Yığın yoğunluk Eşitlik 6.5 ile hesaplanmıştır.

$$Yığın\ yoğunluk\ (g/cm^3) = \frac{g_2 - g_1}{V} \quad (6.5)$$

Burada; g_1 boş kap ağırlığı (g), g_2 karbon malzeme ve kabın toplam ağırlığı (g), V kabın hacmi (cm^3)'dir.

6.3.5. Gerçek yoğunluk tayini

Karbon malzemelerin gerçek yoğunlukların belirlenmesi için Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda

bulunan Quantachrome marka UltraFoam 1200e model Helyum piknometresi kullanılmıştır.

6.3.6. Dinamik ışık saçılımı (DLS) analizi

Dinamik Işık Saçılımı (DLS) analizi, parçacıkların boyut ölçümü için kullanılan bir yöntemdir. Bu analizde bir çözeltideki parçacıklardan saçılan ışığın dalgalanmaları saptanır ve ilişkilendirilir.

Karbon malzemelerin parçacık boyut dağılımı lazer kırınım yöntemi kullanılarak yapılan DLS analizi Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Malvern Nano-Sizer ZS cihazı ile ölçülmüştür.

6.3.7. Termogravimetrik analizi (TGA)

Çalışma kapsamında kullanılan karbon malzemelerin ısı davranışının incelenmesi için gerçekleştirilen termogravimetrik analiz (TGA) Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği'ndeki Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. SETARAM-LABSYS Evo cihazı ile gerçekleştirilen analizde karbon malzeme alümina kroze içinde 10 ± 5 mg tartılmıştır. Hammaddeye 20 mL/dk N_2 gaz akışı altında hem de 20 mL/dk hava altında TGA ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sırasında sıcaklık $20^\circ C/dk$ ısıtma hızında oda sıcaklığından $800^\circ C$ 'ye kadar getirilmiştir. Analiz sayesinde kütle kaybı (TG) ve kütle kaybının türevi (dTG) eğrileri ile karbon malzemelerin termal davranışları belirlenmiştir.

6.3.8. Fonksiyonel grup analizi (FT-IR)

Viskon iplikten üretilen BK, AK ve bunun yanında ticari AC'nun fonksiyonel gruplarının belirlenmesi için Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Thermo Fisher Scientific-Nicolet TM İS TM 10 cihazı kullanılmıştır. Analiz için %99 oranında KBr (nemi uzaklaştırılmış), %1 oranında ölçüm yapılacak karbon homojen olacak şekilde karıştırılıp, toz haline getirilmiştir. Hazırlanan ince toz karışım basınç altında pellet haline getirilerek cihazın örnek bölümüne koyularak $4000-400\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında spektrum alınmıştır.

6.3.9. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)

Karbon malzemelerin yüzey yapısının incelenmesi için gerçekleştirilen taramalı elektron mikroskobu analizi BUTEKOM test laboratuvarında bulunan HITACHI marka

TM3030Plus Tabletop Microscope marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sırasında örnekler bant tutucular üzerine yerleştirilmiş, cihaza koyulduklarında vakum altında çekimler gerçekleştirilmiştir.

6.4. Karbonlu Malzemelerin Kumaşa Uygulanması

Elde edilen karbonlu malzemeler $< 25 \mu\text{m}$ parçacık boyutuna gelecek şekilde havanda öğütülmüş ve Retsch-Vibra AS 200 basic ASTM elek setinde elenerek istenilen parçacık boyutunda ürünler elde edilmiştir.

Kaplama işlemi, dokuma, örme veya dokusuz yüzey olmak üzere tüm tekstil yüzeylerinin kimyasal madde ile kaplanmasıdır. Kaplama, kumaşların estetik veya fiziksel özelliklerini geliştirmek, değiştirmek için sık kullanılan bir yöntemdir. Kaplama, kumaşa terbiye (son işlem) ile kazandırılmayan özelliklerin uygulandığı özel bir işlemdir. Kaplama özellikle teknik tekstil alanında kumaşlara istenilen özelliklerin verilmesinde sıklıkla başvurulan bir uygulamadır [69].

Çalışmanın ilk bölümündeki atık viskon ipliklerinden karbon üretimi gerçekleştirilmesinin ardından ikinci bölümde elde edilen karbonların kumaşlara applike edilmesi vardır. Karbon malzemelerin kumaşlara uygulanması için en uygun yöntemin kaplama yöntemi olduğu düşünüldüğünden hazırlanan çözeltiler ile kumaşların kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.5. Kumaş Karakterizasyonu

6.5.1. Termogravimetrik analiz (TGA)

Çalışma kapsamında kumaşlara kaplanan karbonun kumaşın ısı davranışına etkisinin görülmesi için termogravimetrik analiz (TGA) gerçekleştirilmiştir. Analiz Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği'ndeki Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. SETARAM-LABSYS Evo cihazı ile gerçekleştirilen analizde kumaşlar ufak parçalara kesilerek alümina kroze içinde $10 \pm 5 \text{ mg}$ tartılmıştır. 20 mL/dk hava altında TGA ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sırasında sıcaklık $20^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında oda sıcaklığından 800°C 'ye kadar getirilmiştir. Analiz sayesinde kütle kaybı (TG) ve kütle kaybının türevi (dTG) eğrileri ile örneklerin yanma davranışları belirlenmiştir.

6.5.2. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)

Karbon kaplanan kumaşların yüzey yapısının incelenmesi için standart kumaş, sadece bağlayıcı kimyasal uygulanan kumaş ve karbon kaplanan kumaşlara taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM) yapılmıştır. SEM BUTEKOM test laboratuvarında bulunan HITACHI marka TM3030Plus Tabletop Microscope marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sırasında kumaşlar kesilerek bant tutucular üzerine yerleştirilmiş, cihaza koyulduklarında vakum altında çekimler gerçekleştirilmiştir.

6.5.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

BK, AK ve bunun yanında ticari AC'nun kumaşlara kaplanmasının ardından karbon kaplı kumaşların fonksiyonel gruplarının öğrenilmesi için Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda Thermo Fisher Scientific-Nicolet TM İS TM 10 cihazı kullanılmıştır. Kumaş örnekleri cihazın ATR (zayıflatılmış toplam yansıma) ünitesine yerleştirilmiştir. 4000-400 cm^{-1} dalga boyu aralığında spektrum alınmıştır.

6.6. Karbonlu Malzeme Kaplı Kumaşlara Uygulanan Fiziksel Testler

6.6.1. Su testleri

6.6.1.1. Suya batırma metodu

TS866 standardı kapsamında hem standart viskon kumaşa hem de karbon kaplanan kumaşlara Suya Batırma Metodu uygulanmıştır. Bu metot için 7,5 x 7,5 cm boyutlarında hazırlanan kumaşlar, damıtılmış su ile doldurulan 5 L beher içine Görsel 6.1'de görüldüğü gibi yalnızca bir yüzeyi suya değecek şekilde bırakılmıştır. Suya değdiği anda kronometre çalıştırılmıştır. Deney numunesi suyu tamamen emerek batmaya başladığı anda kronometre durdurulmuş ve batma süresi not edilmiştir. Deney her örnek için 10 kez tekrar edilmiştir.



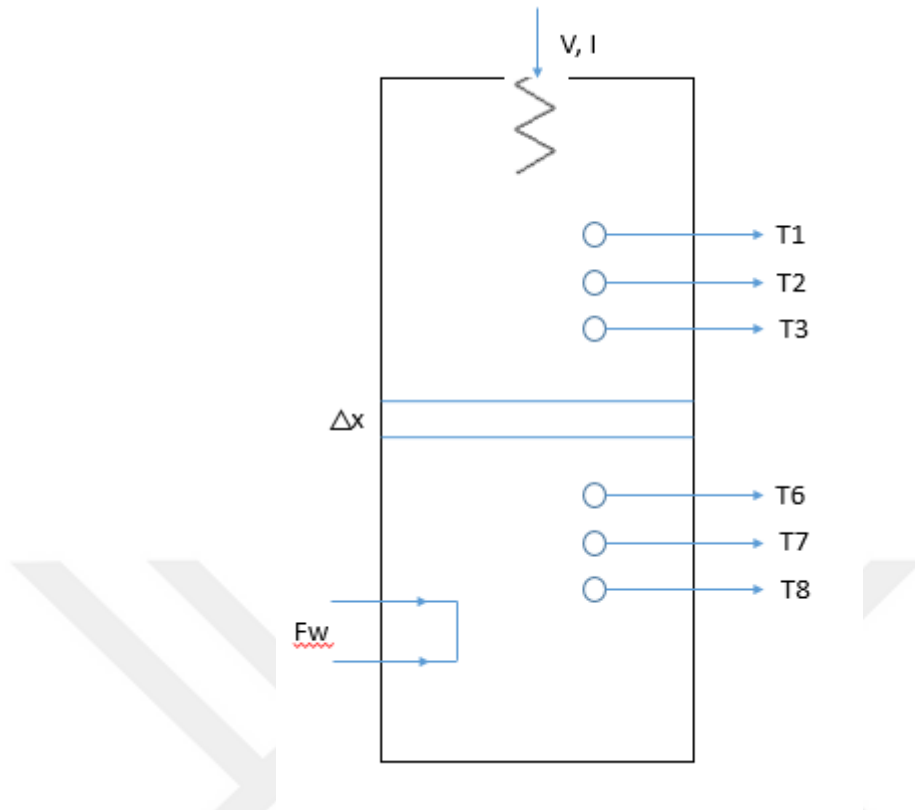
Görsel 6.1. Kumaşlara uygulanan suya batırma metodu

6.6.1.2. Su damlası metodu

TS866 standardı kapsamında kumaşlara Su Damlası Metodu uygulanmıştır. Bu metot, üzerine damlatılan su damlasının tekstil malzemesi tarafından emilme süresinin ölçülmesine dayanmaktadır. Bir damla su kumaşa damlatılarak kronometre çalıştırılmıştır. Damladan yansıyan ışığın görüleceği şekilde damlaya bakılmış ve damla yavaş yavaş emilip ıslak bir nokta bıraktığında kronometre kapatılmıştır. Süre not edilmiştir ve deney her örnek için 5 kez tekrarlanmıştır.

6.6.2. Isı iletkenlik katsayısı belirlenmesi

Çalışma kapsamında kumaşların ısı iletkenlik katsayıları Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Lineer Isı Aktarımı Deney Düzenegi ile ölçülmüştür. Deney düzeneyinde ısıtıcı voltajı 13,6 V olarak ayarlanmıştır. Sisteme kumaş yerleştirilmiştir. Dakikada bir T1, T2, T3, T6, T7, T8, V ve I kaydedilmiştir. 20 dakika sonunda sıcaklık ölçümleri sabitlendiğinde deneyler bitirilmiştir. Tüm kumaş numuneleri için test 3 kere tekrarlanmıştır. Deney düzenegi Şekil 6.3'te verilmiştir. Şekil 6.3'te verilen Fw soğutma suyunun akışdır ve deneyde 1,5 L/dk olarak ayarlanmıştır. Δx ısı iletkenlik katsayısı ölçümü yapılacak malzemenin kalınlığı olarak tanımlanmıştır. Kumaşların ısı iletkenlik katsayısı Eşitlik 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10 kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 6.3. *Linear Isı Aktarımı Deney Düzeneği*

$$k = \frac{Q \times \Delta x}{\Delta T \times A} \quad (6.6)$$

Burada; k, ısı iletkenlik katsayısı (W/m°C), Q elektriksel güç (W)'tür. Δx kumaş kalınlığıdır ve değeri 0,00021 m, A kumaş alanı ve değeri 0,00159 m²'dir, ΔT (°C) sıcaklık farkıdır.

$$Q = V \times I \quad (6.7)$$

Şekil 6.3'te verilen T₁, T₂, T₃, T₆, T₇, T₈ sıcaklık değerleri farklı noktalardan okunun sıcaklık değerleri (°C)'dir.

$$T_{(sıcak)} = T_3 - \frac{T_2 - T_3}{2} \quad (6.8)$$

$$T_{(soğuk)} = T_7 + \frac{T_6 - T_7}{2} \quad (6.9)$$

$$\Delta T = T_{(sıcak)} - T_{(soğuk)} \quad (6.10)$$

6.6.3. Kumaşlara uygulanan haslık testleri

Kumaşlara uygulanan haslık testleri Elyaf Tekstil San. Ve Tic. A.Ş Fizik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kumaşlar 4 x 10 cm boyutlarında kesilerek kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.6.3.1. Yıkama haslığı testi

Kumaşlara uygulanacak yıkama haslığı testi ISO 105-C06:2012 A2@40°C standardına göre gerçekleştirilmiştir.

6.6.3.2. Ter haslığı testi

Kumaşlara uygulanacak su haslığı, asidik ter haslığı ve alkali ter haslığı testi sırasıyla ISO 105-E01:2013, ISO 105-E04:2013 ve ISO 105-E04:2013 standartları kapsamında gerçekleştirilmiştir.

7. DENEYSEL BULGULAR

7.1. Hammadde ve Karbonlu Malzemelerin Karakterizasyonu

7.1.1. Karbonlu malzemelerin nem tayini

Çalışmada kullanılan 3 farklı karbonlu malzemenin nem miktarı Tablo 7.1’de verilmiştir. Atık viskon iplikten üretilen biyokarbon ve aktif karbonun nem miktarının yaklaşık %5 olduğu görülmüştür.

Tablo 7.1. Karbonlu malzemelerin nem miktarları

Malzeme	Nem (ağırlıkça %)
Biyokarbon	5,60
Aktif Karbon	5,05
Ticari Aktif Karbon	3,2

7.1.2. Hammadde ve karbonlu malzemelerin kül miktar tayini

Kül içeriği veya toplam kül miktarı biyokütlenin kalitesinin belirlenmesinde önemli bir parametredir ve biyoküttelede bulunan toplam mineral miktarını temsil etmektedir [70]. Kül, hava varlığında ısıtılarak su ve organik maddelerin uzaklaştırılmasından sonra kalan inorganik kalıntıdır [71]. Böylece kül içeriği ne kadar düşükse o kadar iyi bir biyokütle kaynağı olduğu söylenebilir.

Hem karbon üretiminde kullanılan atık viskon ipliklerin hem de karbon malzemelerin kül miktarları Tablo 7.2’de verilmiştir. Viskon iplik yandığında kül neredeyse kalmamaktadır. Bu da viskon ipliğin iyi bir biyokütle kaynağı olduğunu göstermektedir.

Tablo 7.2. Kullanılan malzemelerin kül miktarları

Malzeme	kül miktarı (ağırlıkça %)
Viskon iplik	0,016
Biyokarbon	0,907
Aktif karbon	7,153
Ticari aktif karbon	2,546

7.1.3. Hammadde ve karbonlu malzemelerin uçucu madde tayini

Uçucu madde, hava olmayan ortamda yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında açığa çıkan, nem hariç, yakıt oranıdır. Uçucu madde termal bozunmayı etkiler ve yanma sürecini

zenginleştirir. C, H, O biyokütlenin en önemli bileşenleridir ve Yüksek H/C oranı yüksek uçucu madde içeriği, yüksek O/C oranı ise düşük uçucu madde içeriği anlamına gelmektedir [72].

Termal bozunmayı etkileyen uçucu maddelerin miktarının tespit edilmesi için gerçekleştirilen bu deney sonucunda viskon ipliğin uçucu madde miktarının %95,5 olduğu tespit edilmiştir. Bu da içeriğinde yüksek H/C oranı olduğu anlamına gelmektedir. Bun karşın karbon malzemelerin uçucu madde miktarı oldukça düşüktür (<%10). Viskon iplik ve karbon malzemelerin uçucu madde miktarları Tablo 7.3'te verilmiştir. Bu da karbonizasyon ve aktivasyon ile uçucuların uzaklaştığını göstermektedir.

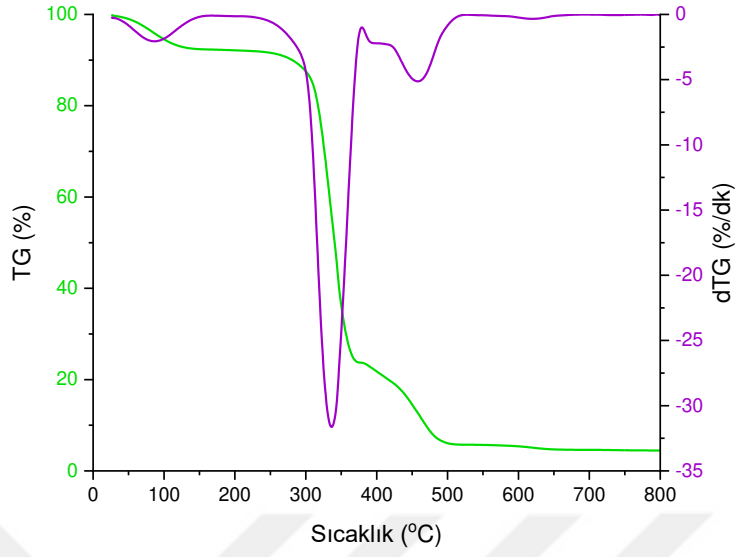
Tablo 7.3. Kullanılan malzemelerin uçucu madde miktarı

Malzeme	uçucu madde (ağırlıkça %)
Viskon iplik	95,503
Biyokarbon	9,241
Aktif Karbon	10,453
Ticari Aktif Karbon	6,785

7.1.4. Hammadde ve karbonlu malzemelerin yanma davranışı

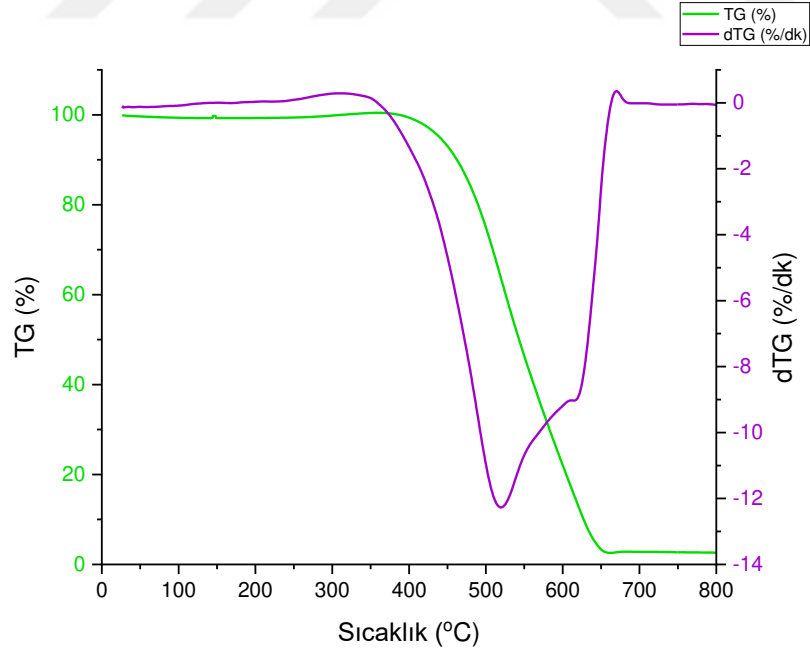
Selülozik bazlı atık viskon ipliğin ısı davranışını incelemek için termogravimetrik analiz gerçekleştirilmiştir. Viskon ipliğin TGA analizi sonucunda elde edilen kütle kaybı TG ile kütle kaybının türevi dTG eğrileri ile Şekil 7.1'de gösterilmiştir.

Viskon iplik için elde edilen TGA eğrileri incelendiğinde yanmanın 280 °C'de başladığı ve 360 °C'de bittiği görülmektedir. Literatür incelendiğinde farklı kesit şekillerine sahip viskon elyafların TGA analizlerinde kütle kaybının büyük bir kısmının 250 °C ila 350°C arasındaki sıcaklık aralığında meydana geldiği görülmüştür [73].



Şekil 7.1. Viskon iplik yanma davranışı

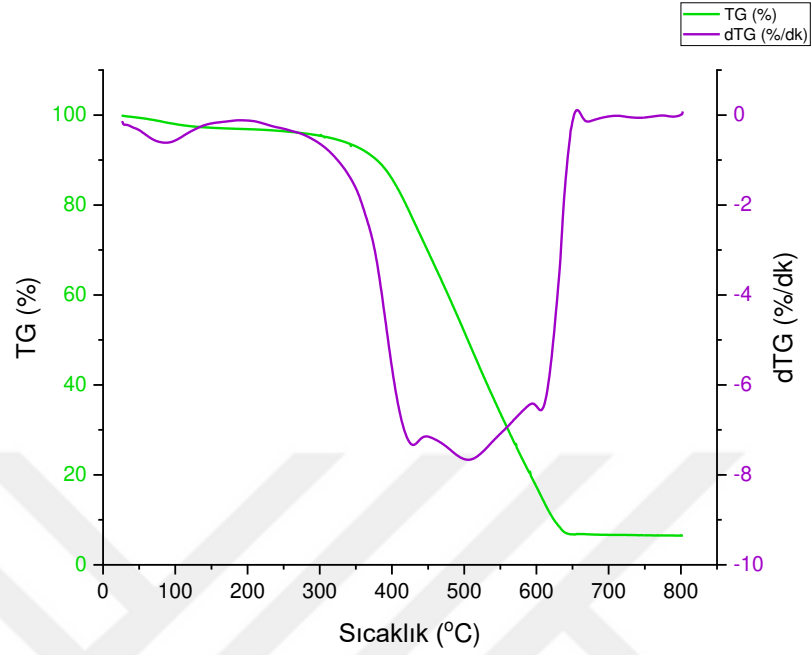
Çalışma kapsamında karbonizasyon yoluyla 600 °C üretilen biyokarbonun yanma davranışlarının incelenmesi için gerçekleştirilen TGA analizinin eğrileri Şekil 7.2’de görüldüğü gibidir. Viskon ipliklere uygulanan karbonizasyon sonucunda biyokarbon malzemenin en yüksek bozunma hızının olduğu sıcaklık 514 °C olarak belirlenmiştir.



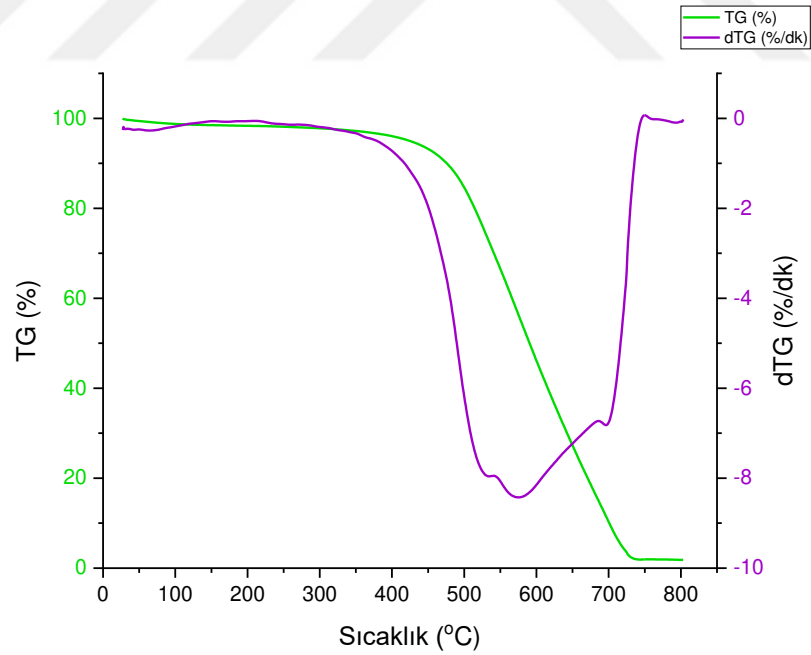
Şekil 7.2. Biyokarbon malzeme yanma davranışı

Şekil 7.3’te verilen aktif karbon malzemelerin yanma davranışları incelendiğinde yanmanın 340 – 650 °C’ler arasında gerçekleştiği görülmektedir.

Şekil 7.4'te görülen ticari aktif karbonun yanma tepkimelerinden 450 °C'lerde başladığı ve 750 °C'lere kadar devam ettiğı görülmektedir.



Şekil 7.3. Aktif karbon malzeme yanma davranışı



Şekil 7.4. Ticari aktif karbon malzeme yanma davranışı

Tüm karbonlu malzemelerin yanma tepkimelerinin başlama sıcaklığı viskon iplikten daha yüksektir. Bunun nedeni karbonizasyon ve aktivasyon ile uzaklaşan uçucu

bileşenlerden geriye karbon içeriği yüksek katı ürünlerin kalmış olmasıdır. Tablo 6.4'te hammadde ve karbon malzemelerin TGA sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.4. *Hammadde ve karbonlu malzemelerin TGA sonuçları*

Örnek	Yanma sıcaklığı (Başlama-Bitiş)	En yüksek bozunma hızı	Toplam kütle kaybı
Viskon İplik	280 – 360 °C	335 °C	%94,2
Biyokarbon	360 – 650 °C	514 °C	%97,3
Aktif Karbon	340 – 650 °C	510 °C	%93,3
Ticari Aktif Karbon	450 – 750 °C	580 °C	%98,1

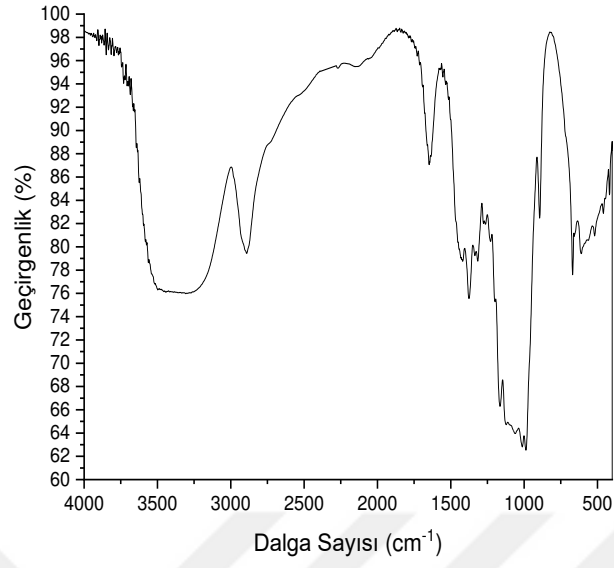
7.1.5. Hammadde ve karbonlu malzemelerin fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

Viskon iplik, viskon iplikten üretilmiş biyokarbon (BK), viskon ipliğe K_2CO_3 emdirilerek kimyasal aktivasyon ile üretilmiş aktif karbon (AK) ve ticari aktif karbon (AC) örneklerinin fonksiyonel gruplarının belirlenmesi amacıyla FT-IR analizleri gerçekleştirilmiştir. FT-IR spektrumları sırasıyla Şekil 7.5-7.8'de verilmiştir. Tüm FT-IR analiz sonuçları Tablo 7.5'te verilmiştir.

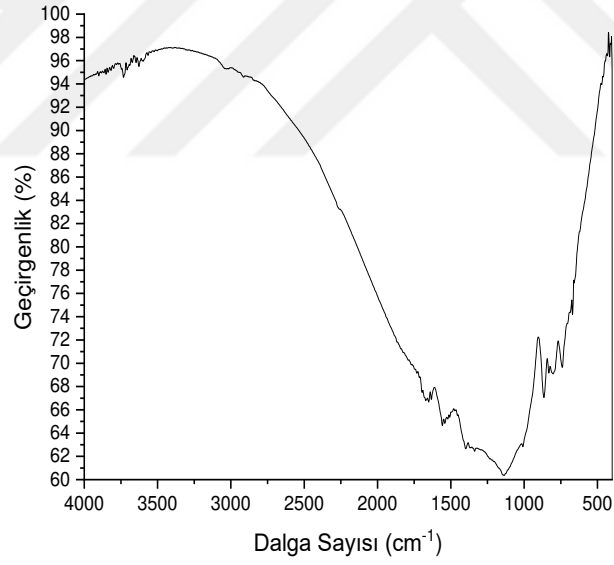
İlk olarak viskon ipliğin FT-IR spektrumu incelendiğinde (Şekil 7.5) ve literatür ile karşılaştırıldığında $3500-3000\text{ cm}^{-1}$ arasındaki geniş bandın yapıdaki fenol, alkol ya da nemden kaynaklanan O-H gerilme titreşimine ait olduğu belirlenmiştir. $2950 - 2850\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen titreşimler alifatik C-H gerilim titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. $1700 - 1600\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pik C=O gerilim titreşimi olarak yorumlanabilir [74]. $1500 - 1250\text{ cm}^{-1}$ arasında alkan ve alkenlerin C-H eğilme titreşimi ve O-H eğilme titreşimlerinde kaynaklanan bantlar yer almaktadır. $1200 - 1000\text{ cm}^{-1}$ arasında C-O gerilmesine karşılık geldiği gözlemlenmiştir [75].

Viskon ipliğin ardından biyokarbonun fonksiyonel grupları incelendiğinde (Şekil 7.6) $1700 - 1600\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pik C=O gerilim aromatik titreşimi, $1600 - 1500\text{ cm}^{-1}$ C=C gerilme, $1200 - 1000\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pik ise C-O gerilme olduğu belirlenmiştir [74]. Aktif karbon FT-IR spektrumunda $1750 - 1650\text{ cm}^{-1}$ arasında C=O gerilim titreşimi, $1650-1500\text{ cm}^{-1}$ civarında C=C gerilme ve $1500 - 900\text{ cm}^{-1}$ arasında da C-O gerilme piki görülmüştür (Şekil 7.7).

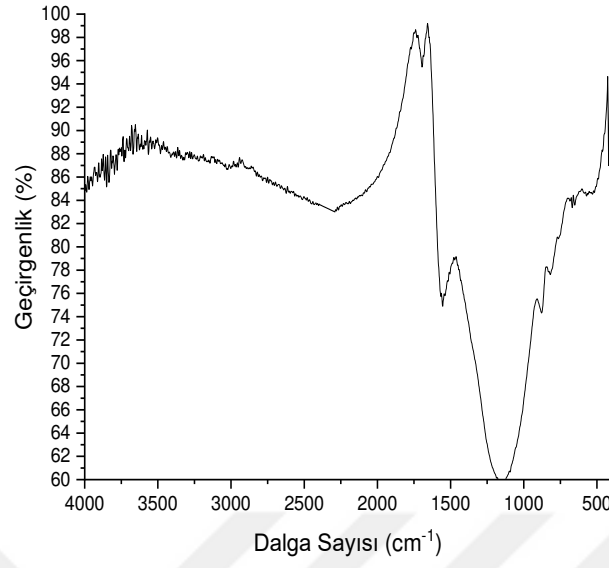
Şekil 7.8'de ise en belirgin pik $1250\text{ ila }1000\text{ cm}^{-1}$ C-O gerilme pikidir. Bunun dışında $1650-1350\text{ cm}^{-1}$ arasındaki 2 pik ise C=C gerilme titreşimlerine aittir.



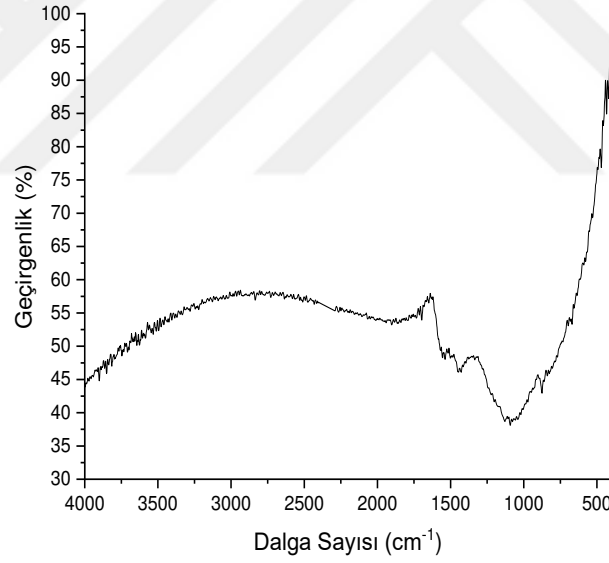
Şekil 7.5. Viskon iplik FT-IR spektrumu



Şekil 7.6. Biyokarbon malzeme FT-IR spektrumu



Şekil 7.7. *Aktif karbon malzeme FT-IR spektrumu*



Şekil 7.8. *Ticari aktif karbon malzeme FT-IR spektrumu*

Tablo 7.5. *Hammadde ve karbonlu malzemelerin FT-IR analizi sonuçları*

Dalga sayısı	Fonksiyonel grup	Yapı ve gruplar	Viskon iplik	Biyokarbon	Aktif Karbon	Ticari Aktif Karbon
3600 – 3100	O-H gerilme titreşimleri	Alkoller ve fenoller	+	-	-	-
2950 – 2850	C-H gerilme titreşimleri	Alkanlar	+	-	-	-
1700 – 1600	C=O gerilme titreşimleri	Esterler Anhidritler Karboksilik asitler	+	+	+	-
1600 - 1500	C=C gerilme titreşimleri	Aromatik	-	+	+	+
1200 – 1000	C-O gerilme titreşimleri	Birincil alkol	+	+	+	+

Karbonizasyon ve aktivasyon süreçlerinde viskon iplik yapısında bulunan hidrojen ve oksijen gruplar uzaklaştırılmıştır. Biyokarbon ve aktif karbondaki C-H gerilme titreşimlerinin (2900-2800 cm⁻¹) görülmemesi bu sonucu kanıtlamaktadır.

7.1.6. Karbonlu malzemelerin yığın ve gerçek yoğunluğunun belirlenmesi

Çalışma kapsamında tüm örnekler için gerçekleştirilen yığın yoğunluk tayinleri 5 kez tekrarlanmış ve ortalama sonuçlar Tablo 7.6’da gösterilmiştir. Karbonlu malzemelerin gerçek yoğunlukları Helyum piknometresi kullanarak ölçülmüş olup, sonuçlar Tablo 7.6’da verilmiştir.

Tablo 7.6. *Karbon malzemelerin yığın ve gerçek yoğunlukları*

Örnek	Yığın yoğunluk (g/cm ³)	Gerçek yoğunluk (g/cm ³)
Biyokarbon	0,0924 ± 0,0215	1,5326 ± 0,0014
Aktif Karbon	0,2180 ± 0,0085	1,8320 ± 0,0028
Ticari Aktif Karbon	0,1361 ± 0,0134	1,8863 ± 0,0003

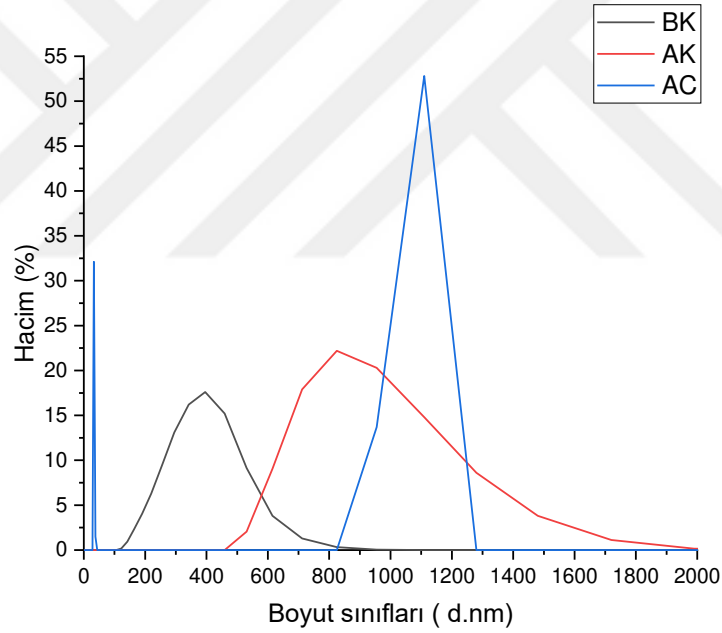
Karbonlu malzemelerin yığın yoğunlukları incelendiğinde, en yüksek yoğunluğa sahip karbon malzeme aktif karbon iken, gerçek yoğunluklar incelendiğinde aktif karbon ve ticari aktif karbon arasında çok yoğunluk farkının olmadığı, biyokarbonun yoğunluğunun daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

7.1.8. Karbonlu malzemelerin dinamik ışık saçılımı (DLS) analizi

Parçacık boyutu malzemelerin molekül büyüklüğü ve suda çözünübilirliği ile ilgili önemli bir fiziksel özelliğidir. Çalışma kapsamında üretilen karbon malzemeler kumaş

kaplamada kullanılacağından parçacık boyutları oldukça önemlidir. Karbonların parçacık boyut dağılım profillerinin incelenmesi için dinamik ışık saçılma analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.9’da karbon malzemelerin DLS analiz sonuçları yer almaktadır.

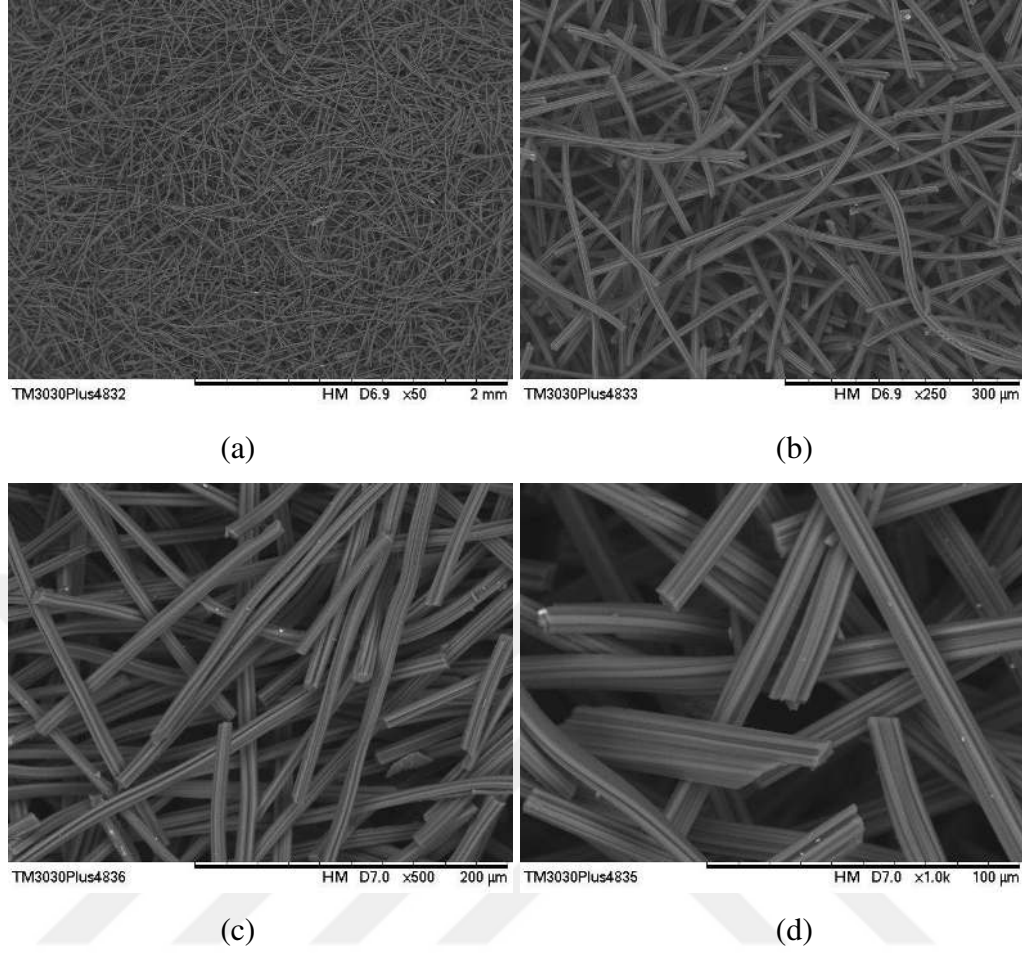
Şekil 7.9 incelendiğinde viskon iplikten karbonizasyon yoluyla üretilen biyokarbonun, yine viskon iplikten fakat kimyasal aktivasyon yöntemiyle üretilen aktif karbon malzemedan daha küçük parçacık boyutlarında olduğu görülmektedir. Hacimsel olarak bakıldığında ticari aktif karbon boyut dağılımının çok olmadığı, parçacık boyutlarının yarısından fazlasının 1100 nm’lerde olduğu ve kalan kısmında 800nm ile 1300 nm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında karbon malzemelerden oluşturulacak kaplama çözeltileri içinden aktif karbon ile hazırlanan çözeltilerin parçacık boyutundan dolayı homojen bir çözelti oluşturması beklenmektedir.



Şekil 7.9. Tüm karbon malzemelerin DLS analizleri

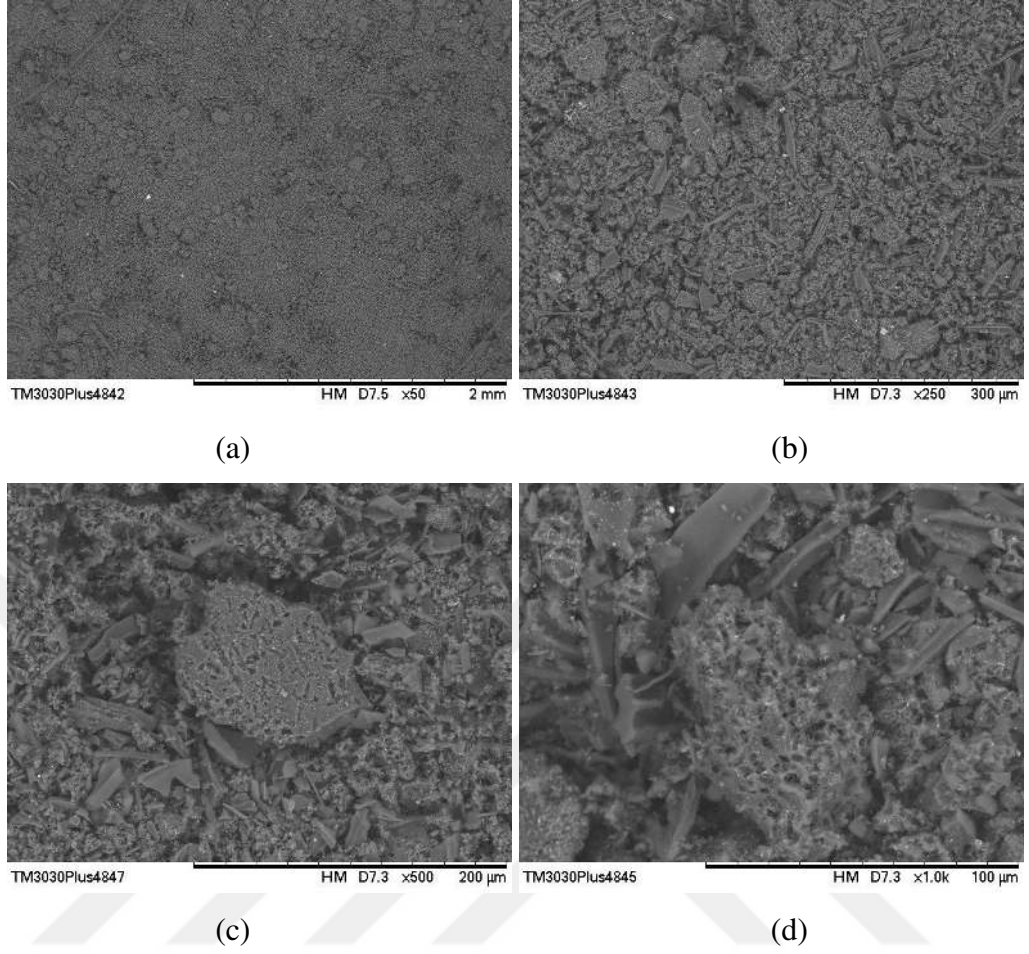
7.1.9. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)

Biyokarbon, aktif karbon ve ticari aktif karbon örneklerinin morfolojik yapılarının görülmesi için yüzey görüntüleri alınmıştır. Biyokarbona ait SEM görüntüleri Şekil 7.10’da verilmiştir. Gerçekleştirilen karbonizasyon denemelerinin ardından reaktörden çıkarılan biyokarbonun iplik halinde olduğu, öğütüldüğünde ve elendiğinde de bu lif yapısının bozulmadığı görülmüştür.



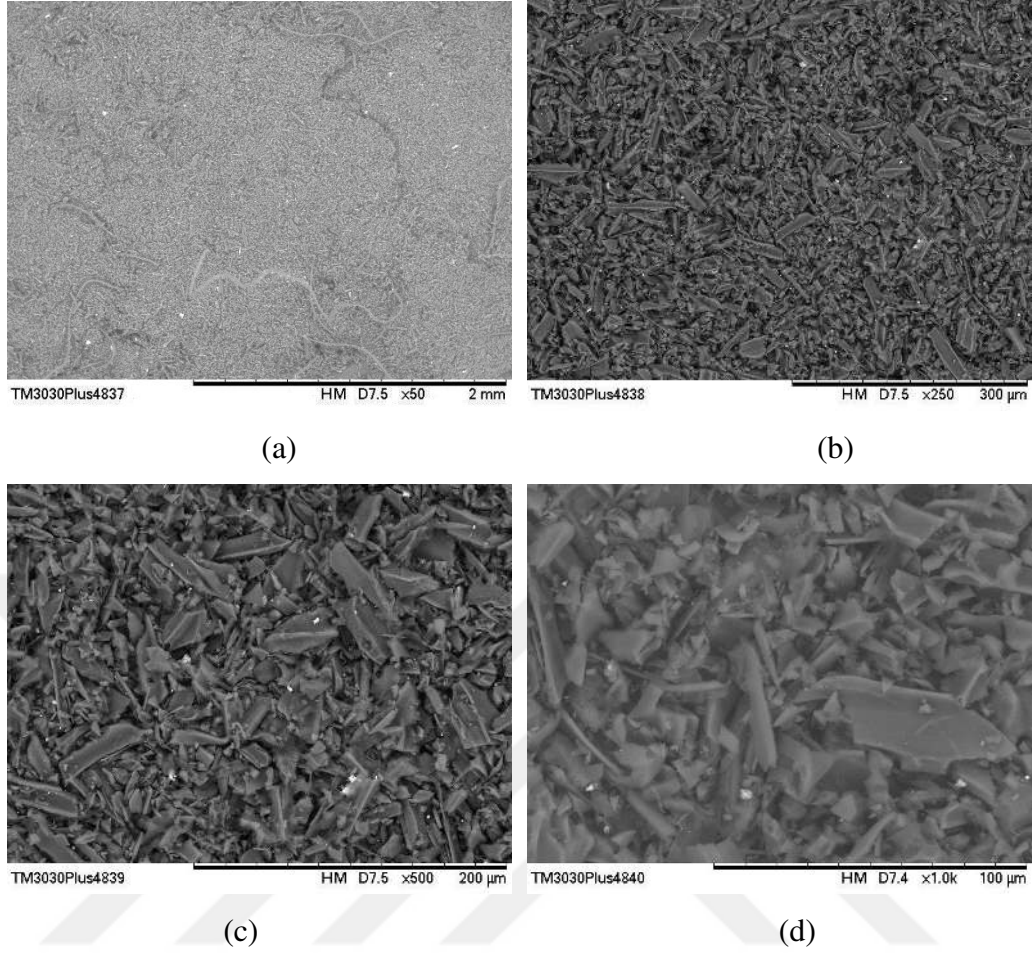
Şekil 7.10. *Biyokarbon SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x*

Aktif karbon SEM görüntüleri incelendiğinde, biyokarbonun aksine karbonizasyon işleminden önce viskon ipliklere uygulanan kimyasal emdirme ile parçacıklarının yapısının bozulduğu, lif şeklinde olmadığı görülmüştür (Şekil 7.11). Buna ek olarak Şekil 7.11 (c)'den de anlaşılabileceği üzere, aktif karbonun parçacık boyutları homojen değildir. Farklı çaplarda ve en / boy oranlarında parçacıklardan oluşmaktadır. Aynı hammaddeden üretilen karbon malzemelerin arasındaki bu morfolojik farklılıkta karbonizasyon ve kimyasal aktivasyon işlemlerinin önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Duman ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada da SEM görüntüleri incelendiğinde benzer şekilde görüntüler elde edildiği görülmüştür [62].



Şekil 7.11. *Aktif karbon SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x*

Viskon iplikten üretilen biyokarbon ve aktif karbonun aksine ticari aktif karbonun daha farklı yapıda olduğu ve parçacık boyutlarının arasındaki farkların daha az olduğu Şekil 7.12’de görülmüştür.



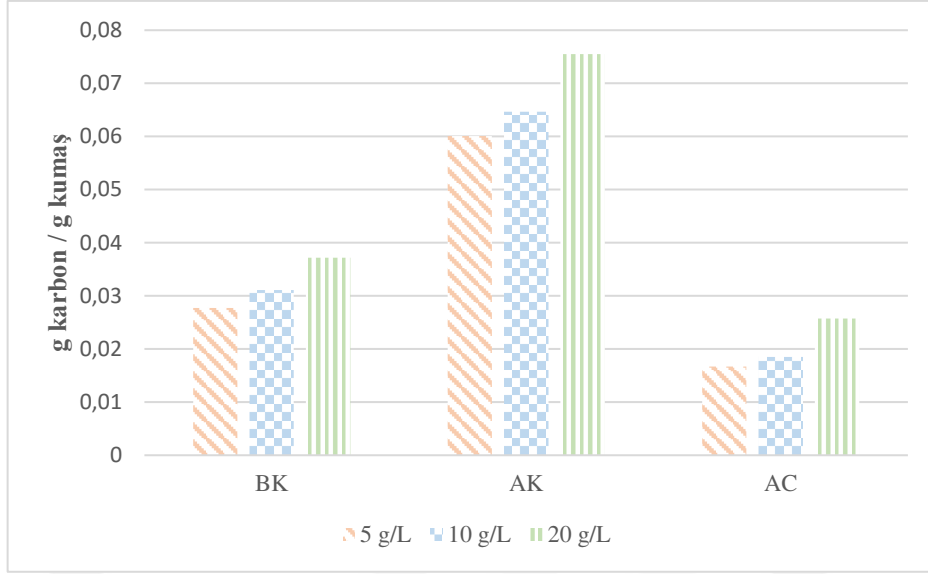
Şekil 7.12. Ticari aktif karbon SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

7.2. Viskon Kumaşların Karbonlu Malzeme İle Kaplanması

Atık viskon ipliklerden elde edilen biyokarbon ve aktif karbonun, tam bir döngüsellik sağlanarak viskon iplikten üretilen viskon kumaşa uygulanarak kumaşın konfor özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada karbonun kumaşlara uygulanması sırasında kaplama yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan 130 g/m^2 gramajdaki viskon kumaş $7,5 \times 7,5 \text{ cm}$ ve $4 \times 10 \text{ cm}$ boyutlarında hazırlanarak kaplanmıştır. Kaplama sonunda kumaşların yüzeylerinde kalan karbon miktarlarının belirlenmesi için kumaşlar kaplama öncesi ve sonrası tartılmış ve 1 g kumaş başına düşen karbon miktarları hesaplanarak Şekil 7.13'te verilmiştir.

Şekil 7.13 incelendiğinde kaplama sonunda kumaşta en çok kaplanan karbon miktarının aktif karbon olduğu gözlemlenmiştir.

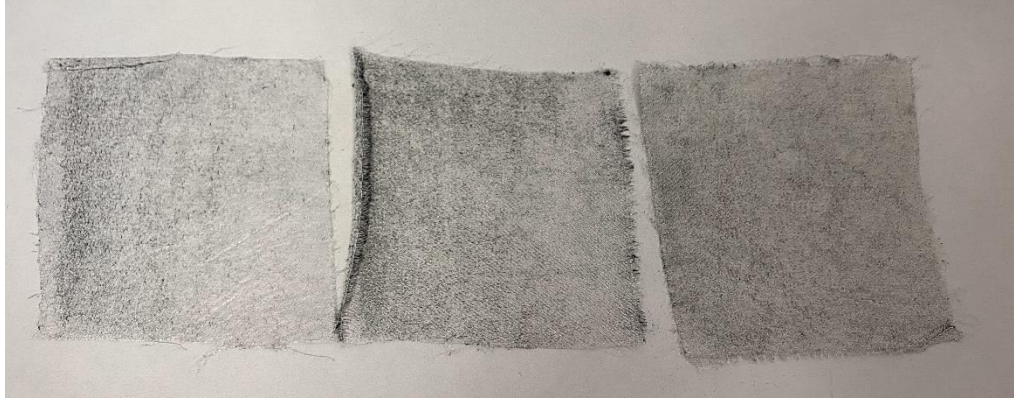


Şekil 7.13. *Kaplama sonrası kumaşa uygulanan karbon miktarı*

Görsel 7.1, 7.2, ve 7.3'te kaplanan kumaş örneklerinden fotoğraflar verilmiştir. 5g/L, 10 g/L ve 20 g/L olarak hazırlanan çözeltiler arasında da hem kaplama sonunda kumaşların renklerine bakıldığında hem de grafik incelendiğinde aktif karbonun daha iyi kaplandığı görülmüştür. Kumaşlara daha fazla karbon uygulanması istendiğinde çözelti içindeki karbon miktarının dışında, kaplama sayısının artırılması denenebilecek bir uygulamadır. Fakat endüstriyel olarak düşünüldüğünde uygulanmasının zor olduğu düşünülmektedir.

Tüm kaplanan kumaşların yüzeyleri incelendiğinde en iyi kaplanmış kumaşın Görsel 7.2a'da verilen 5g/L aktif karbon çözeltisi ile kaplanmış kumaş olduğu görülmektedir.

Biyokarbonun SEM analizlerinde görüldüğü gibi lifli bir yapısı olduğu ve parçacık boyut analizinde de görüldüğü gibi aktif karbonlara göre parçacık boyutlarının daha yüksek olması nedeniyle kumaş kaplamada homojen bir görüntü elde edilememiştir. Görsel 7.3'te verilen ticari aktif karbon kaplanan kumaşların ise kumaş yüzeylerine aktif karbonlar gibi iyi tutunamadığı ve döküntüler olduğu tespit edilmiştir.

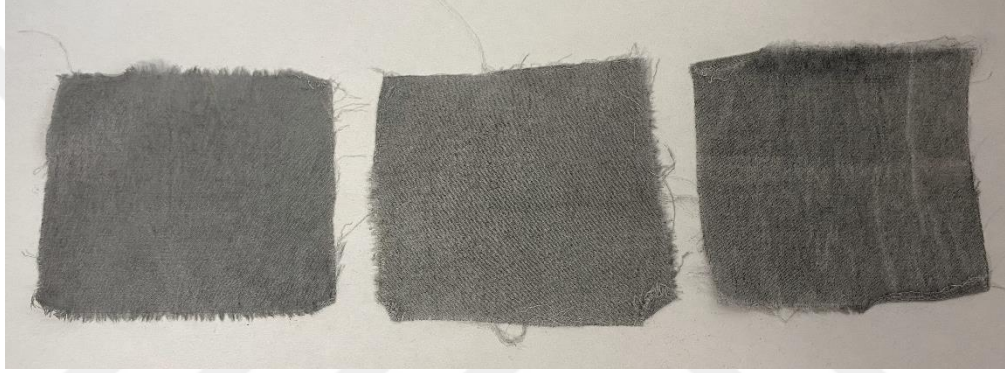


(a)

(b)

(c)

Görsel 7.1. *Biyokarbon ile kaplanan viskon kumaşlar a)5g/L b)10 g/L c)20 g/L çözelti*

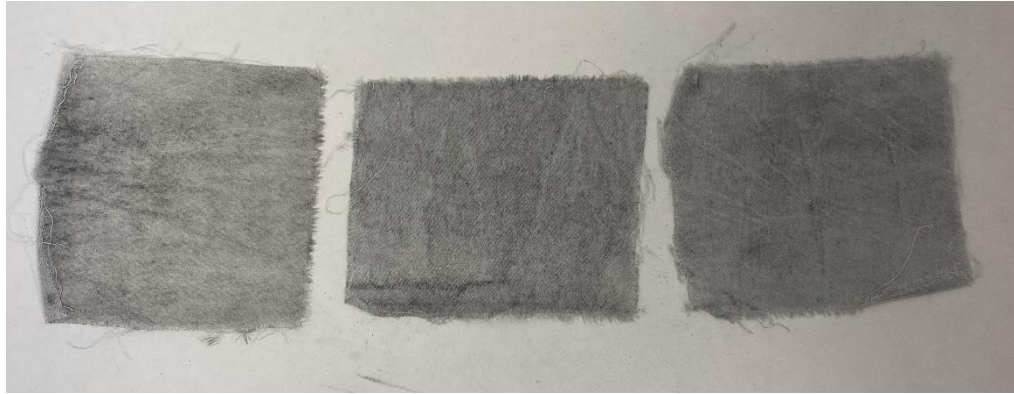


(a)

(b)

(c)

Görsel 7.2. *Aktif karbon ile kaplanan viskon kumaşlar a)5g/L b)10 g/L c)20 g/L çözelti*



(a)

(b)

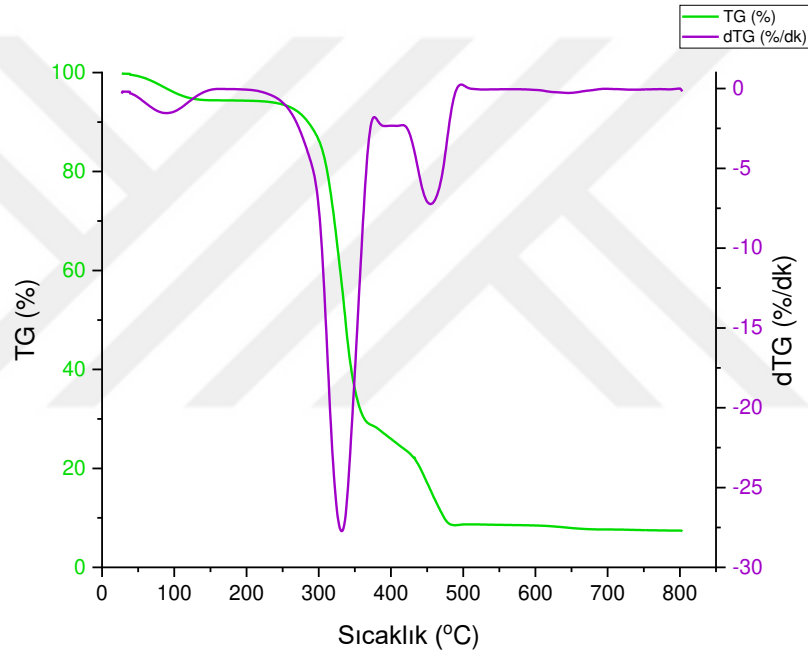
(c)

Görsel 7.3. *Ticari aktif karbon ile kaplanan viskon kumaşlar a)5g/L b)10 g/L c)20 g/L çözelti*

7.3. Kumaş Karakterizasyonu

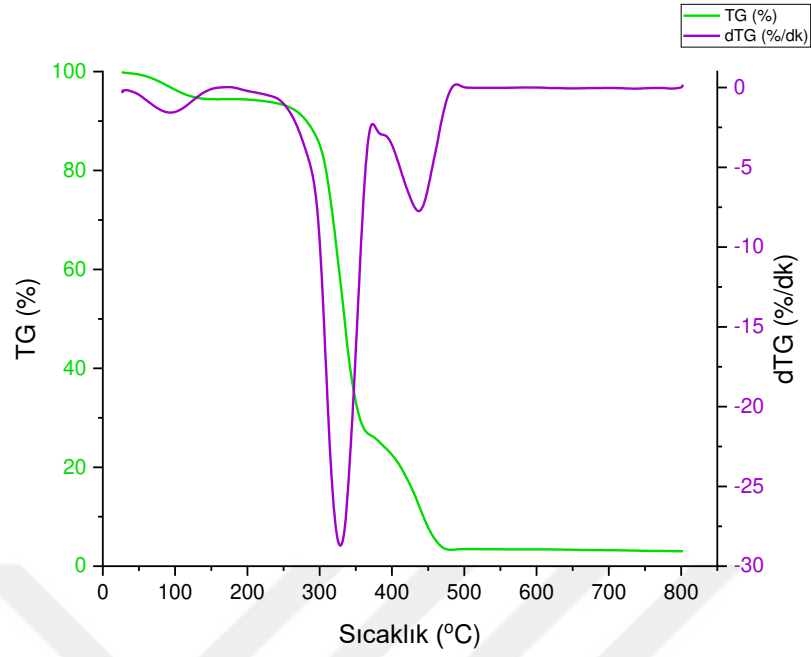
7.3.1. Karbonlu malzeme ile kaplanan kumaşların yanma davranışı

Yanma davranışlarının incelenmesi için viskon kumaş, bağlayıcı kimyasal uygulanan kumaş, 20 g/L biyokarbon uygulanan kumaş, 20 g/L aktif karbon uygulanan kumaş ve 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan kumaşın termogravimetrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.14'te viskon kumaşın TG ve dTG eğrileri verilmiştir. Hammadde karakterizasyonları yapılırken viskon ipliğin TGA analizi Şekil 7.1'de verilmiştir. İki grafik incelendiğinde aynı selülozik malzemeden elde edilmiş iplik ve kumaşın aynı termal bozunma özellikleri gösterdiği görülmüştür.



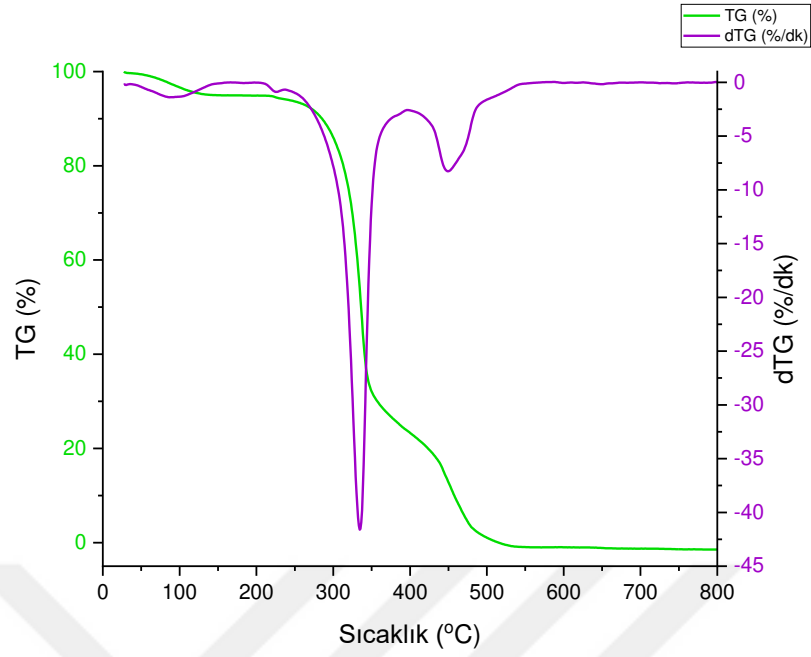
Şekil 7.14. Ham viskon kumaş yanma davranışı

Viskon kumaşın yanma eğrilerinde bozunma sıcaklığı 300-350°C aralığında olduğu görülmüştür. Kaplama işleminde kullanılan kumaşın yanma davranışlarına olan etkisinin görülmesi için sadece bağlayıcı kimyasal uygulanan kumaşa da termogravimetrik analiz uygulanmıştır (Şekil 7.15). Bağlayıcı kimyasalın kumaşın yanma tepkimeleri başlangıç sıcaklığını öne çektiği görülmüştür. En yüksek bozunma hızı ham kumaş için 331 °C iken, bağlayıcı kimyasal ile kaplanan kumaşta 328 °C olarak ölçülmüştür.



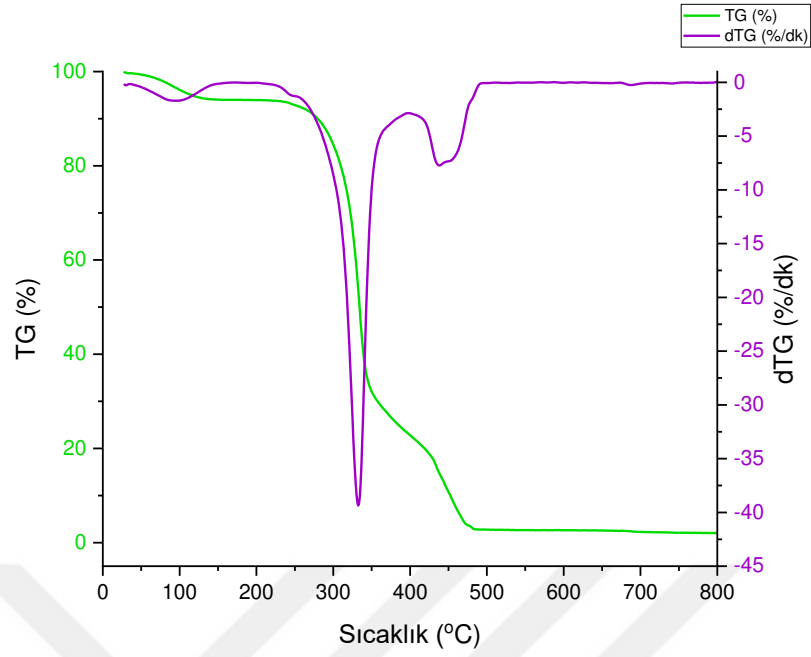
Şekil 7.15. Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş yanma davranışı

Şekil 7.16’da biyokarbon uygulanan viskon kumaşın en yüksek bozunma hızının olduğu sıcaklık 335 °C olduğu görülmüştür. Bu değer bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş ile karşılaştırıldığında sıcaklık değerinin arttığı söylenebilmektedir. Ayrıca 2. Aşama en yüksek bozunma hızının olduğu sıcaklıklar incelendiğinde bağlayıcı kimyasal ile kaplanan kumaşta 436 °C iken, biyokarbon ile kaplanan kumaşta 454 °C’dir.

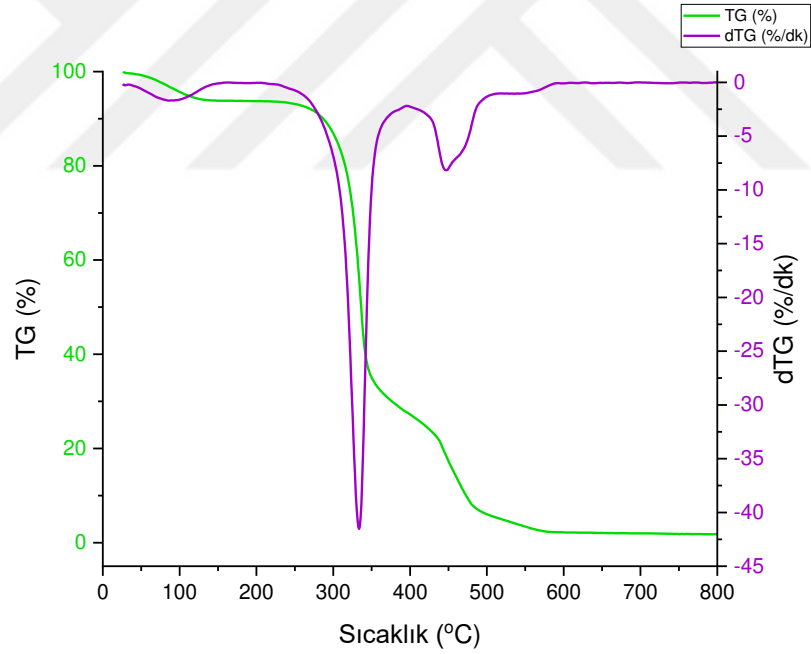


Şekil 7.16. 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş yanma davranışı

Tüm kumaşlarda ilk olarak 120 °C'ye kadar bir nem kaybının olduğu görülmüştür. Ayrıca karbon kaplanan kumaşlarda yanma tepkimelerinin başlangıç sıcaklığının ötelendiği, ham kumaş için 240°C civarında olan ilk sıcaklığın, karbon kaplama ile 265 °C'lere arttığı belirlenmiştir. Aktif karbon uygulanan kumaşın en yüksek bozunma hızının olduğu sıcaklık 333 °C (Şekil 7.17) ve ticari aktif karbonun 332 °C (Şekil 7.18) olduğu tespit edilmiştir. Böylece kaplanan kumaşların yanma davranışları incelendiğinde uygulanan karbon malzemelerin bağlayıcı kimyasal uygulanmış kumaşlara göre bozunma sıcaklıklarının arttığı söylenebilmektedir.



Şekil 7.17. 20 g/L aktif karbon uygulanan viskon kumaş yanma davranışı



Şekil 7.18. 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan viskon kumaş yanma davranışı

Tüm kumaşların yanma davranışları Tablo 7. 7’de verilmiştir.

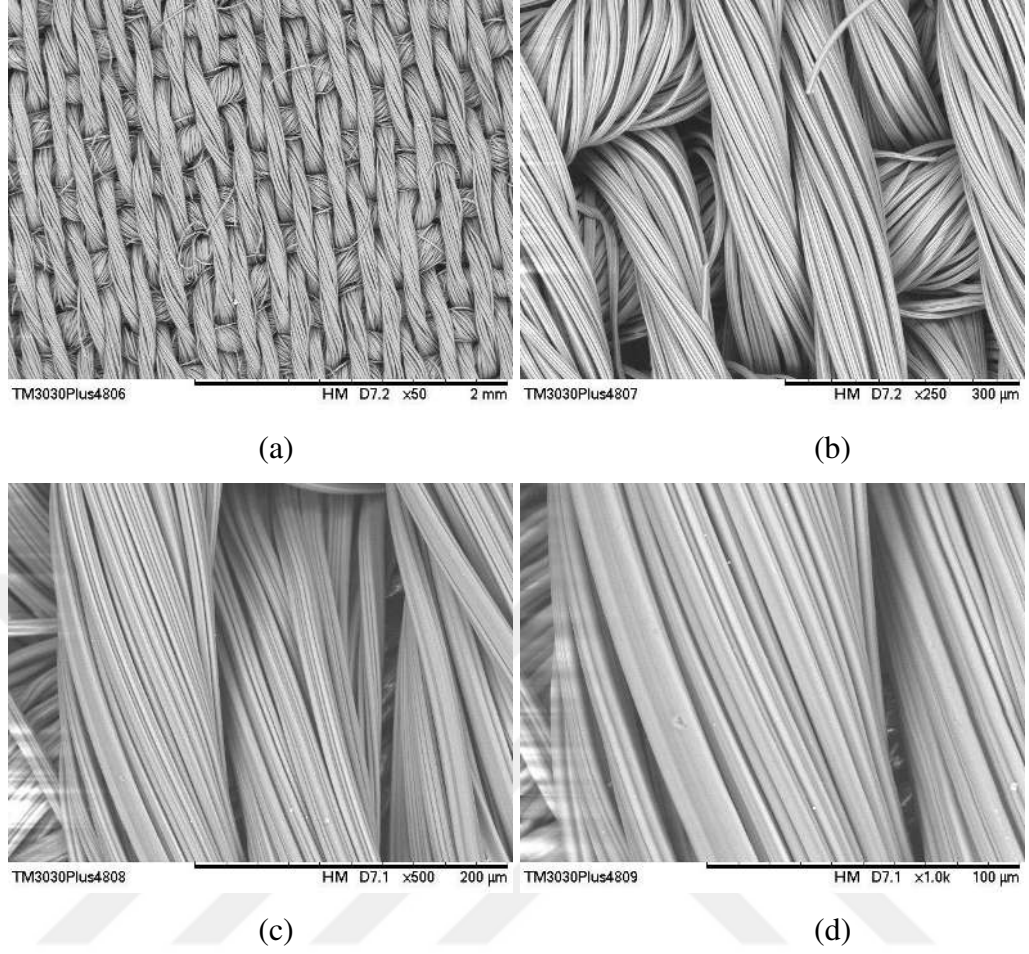
Tablo 7.7. Kumaşların yanma davranışları

Örnek	Yanma sıcaklığı (Başlama-Bitiş)	En yüksek bozunma hızının görüldüğü sıcaklık	Toplam kütle kaybı
Viskon Kumaş	240 – 380 °C	331 °C	%91,5
Bağlayıcı Kimyasal Uygulanan Kumaş	250 – 380 °C	328 °C	%96,7
Biyokarbon Uygulanan Kumaş	250 – 380 °C	335 °C	%99,8
Aktif Karbon Uygulanan Kumaş	260 – 390 °C	333 °C	%97,2
Ticari Aktif Karbon Uygulanan Kumaş	265 – 390 °C	332 °C	%97,8

7.3.2. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)

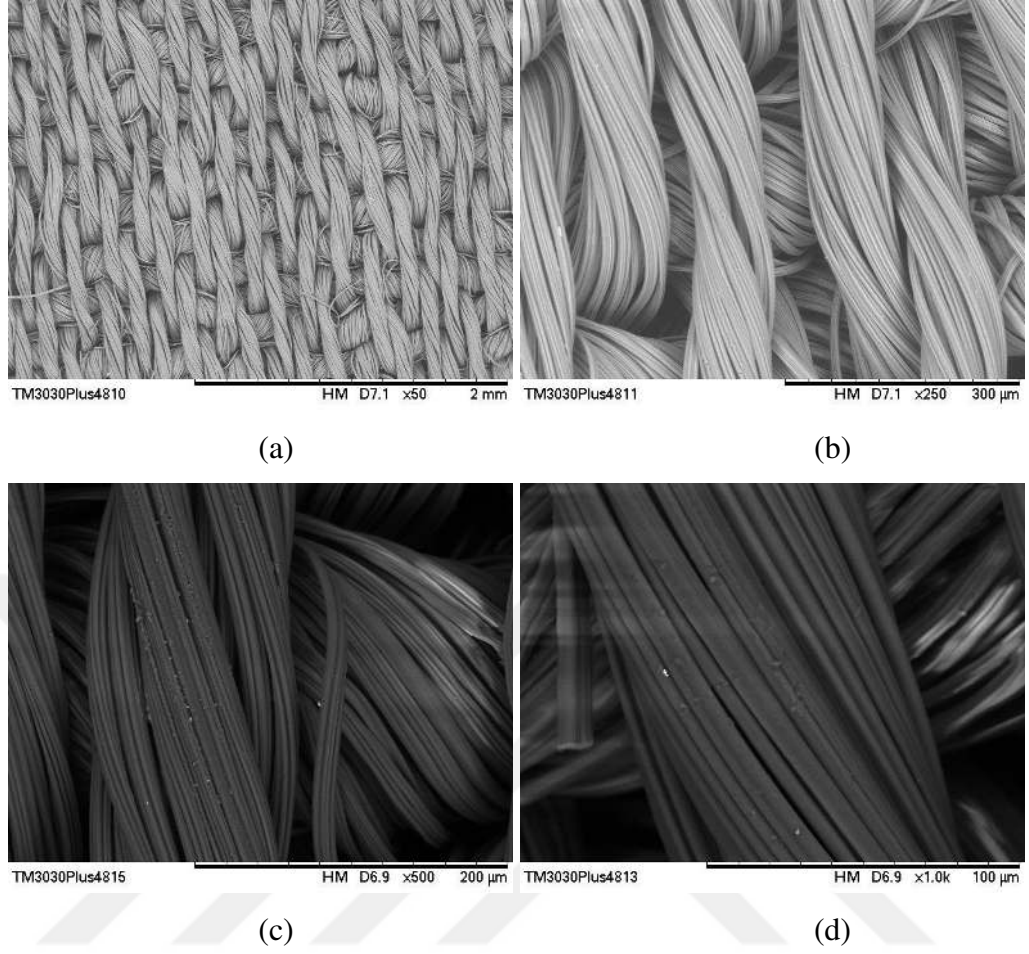
Kumaşların kaplama sonrası morfolojik yapısının görülmesi için SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm kumaşların SEM analizleri 50, 250, 500 ve 1000 büyütme yapılarak görüntüleri alınmıştır.

İlk olarak işlemsiz viskon kumaşın yüzey görüntüleri Şekil 7.19’da verilmiştir. Hem atkı hem çözgüsü viskon olan kumaşın görüntüsü incelendiğinde literatürde belirtildiği gibi yüzeylerinin düz, uzun ve ince çizgiler bulunduğu gözlenmiştir [76].



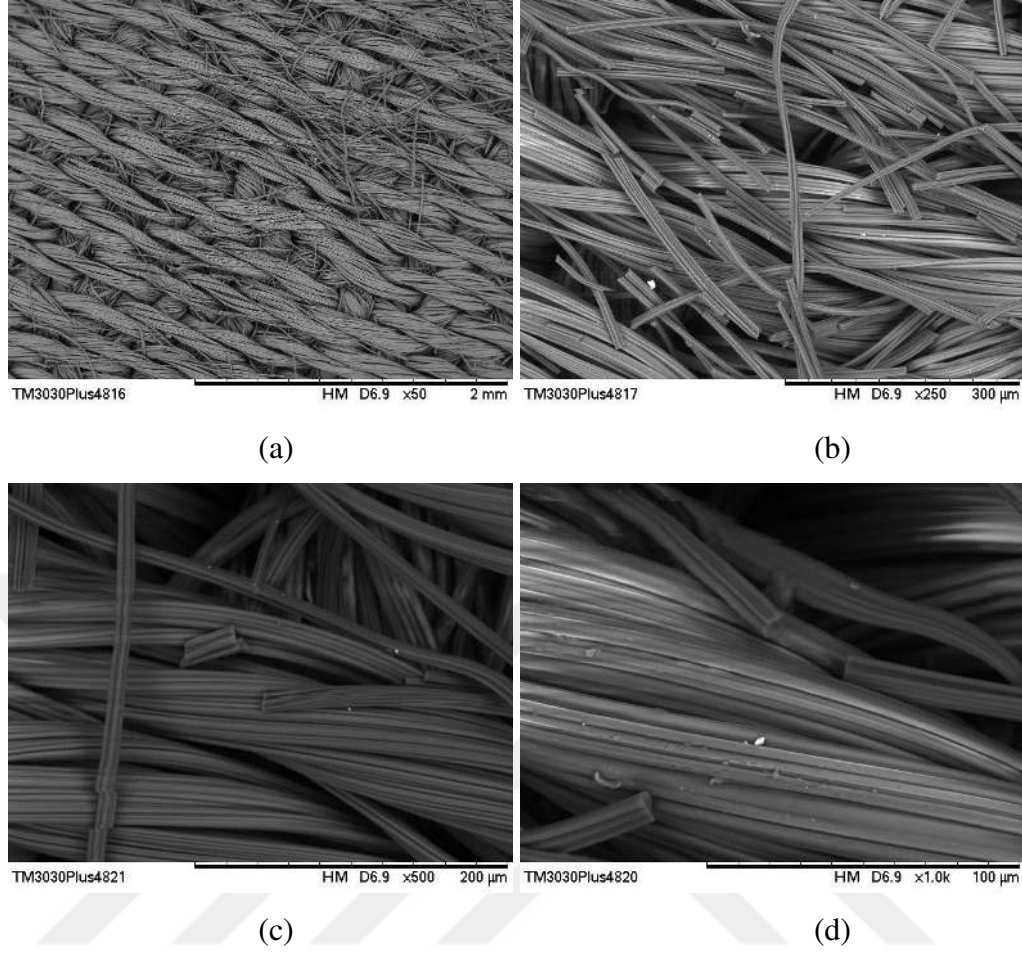
Şekil 7.19. Viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

Bağlayıcı kimyasal ile kaplanan kumaş SEM görüntüleri Şekil 7.20’de verilmiştir. Bağlayıcı kimyasalın kumaş yüzeyinde görünür bir deformasyon yaratmadığı, kumaşın genel yapısını bozmadığı belirlenmiştir.



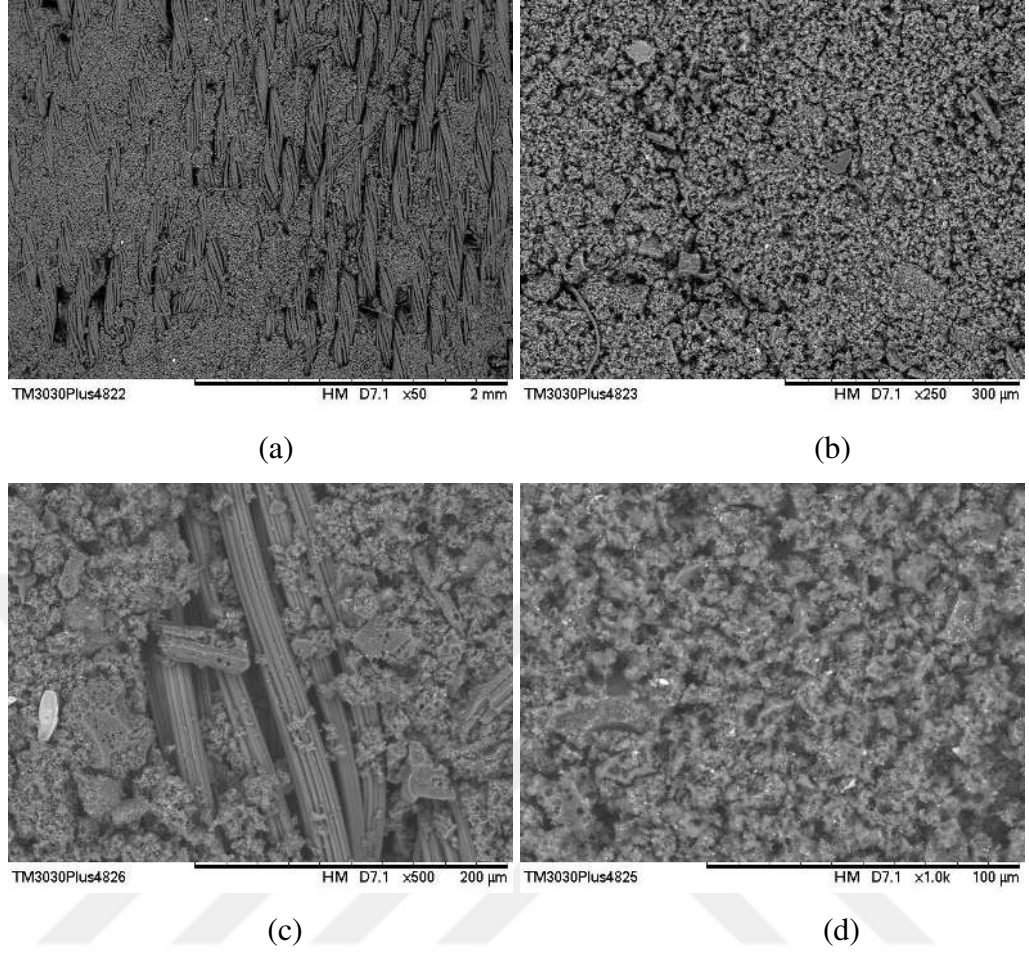
Şekil 7.20. Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

Kumaşlara 20 g/L biyokarbon uygulandığında alınan SEM görüntüsü Şekil 7.21'deki gibidir. Kumaş yüzeyine homojen olarak yayılmadığı için Şekil 7.21 (a)'da görüldüğü gibi viskon ipliklerin arasında ince uzun biyokarbon malzemeler bulunmaktadır. Şekil 7.21 (c) (d) incelendiğinde de biyokarbonun lifli yapısının avantajı ile kumaş içine kadar gömüldüğü gözlemlenmiştir.



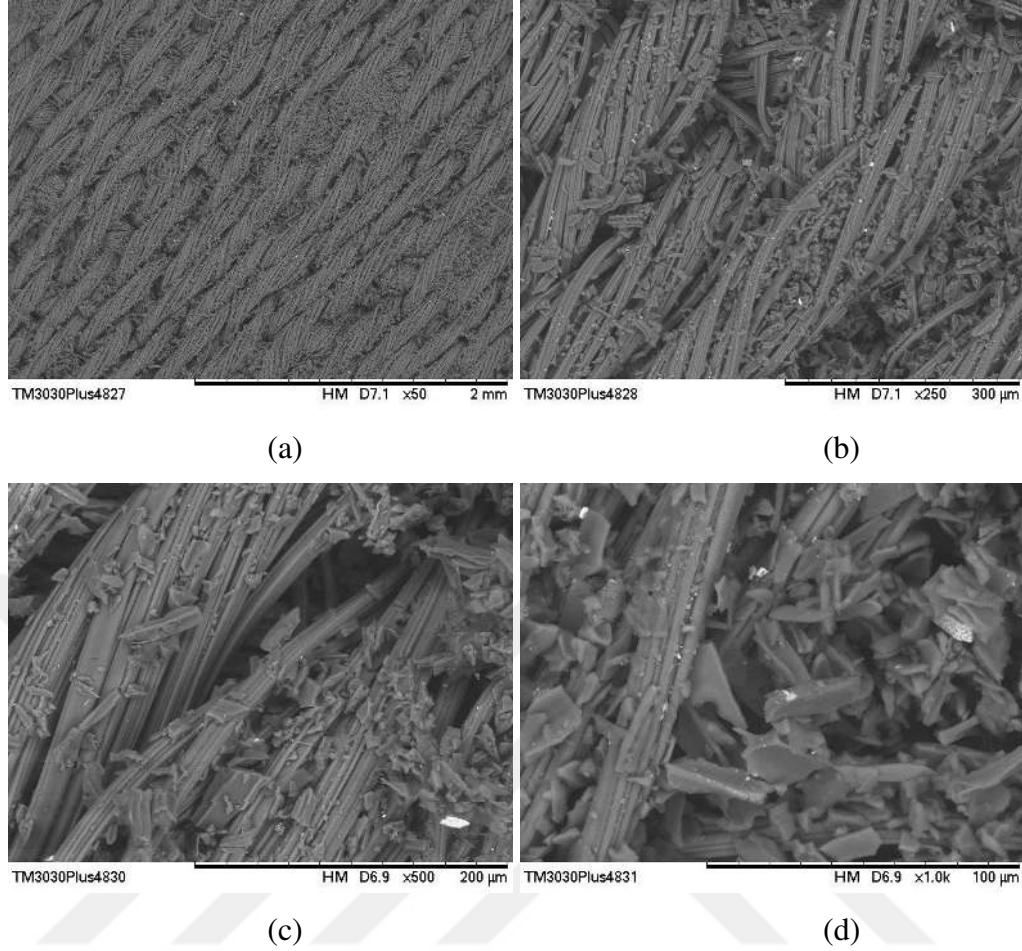
Şekil 7.21. 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

Aktif karbon kaplanan kumaşlar görsel olarak en düzgün kaplanan kumaşlar olarak bilinmektedir. Şekil 7.22’de aktif karbon kaplanan kumaşların SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 7.22 (a) ve (c) incelendiğinde tamamen homojen bir görüntünün olmadığı görülmektedir. Şekil 7.22 (d)’de yüzeyle girintili çıkıntılı şekilde yerleşmiş aktif karbon parçacıklarının olduğu görülmektedir.



Şekil 7.22. 20 g/L aktif karbon uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

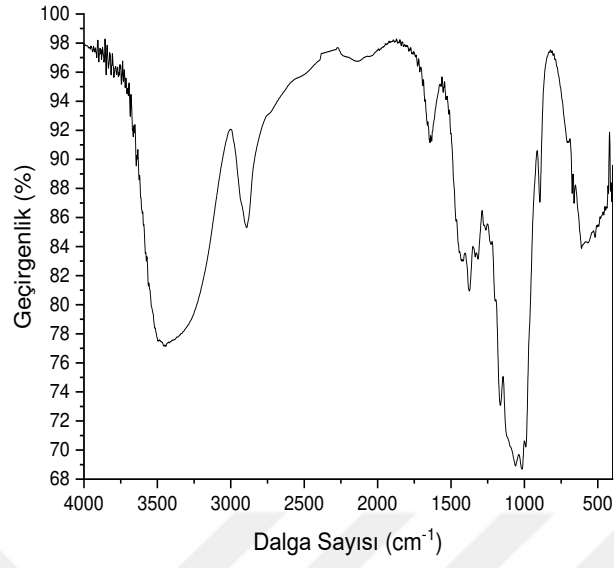
Şekil 7.23'te ticari aktif karbon ile kaplama yapılan kumaşa ait SEM görüntüleri verilmiştir. Diğer karbon malzemelerin aksine daha köşeli ve lif yapısından uzak olan ticari aktif karbonun kumaş yüzeyinde daha homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. 1000x büyütmede karbon parçacıklarının kumaşın atkı ve çözgülerinin iç kısımlarına kadar ulaştığı ve liflerin arasında tutunduğu görülmektedir.



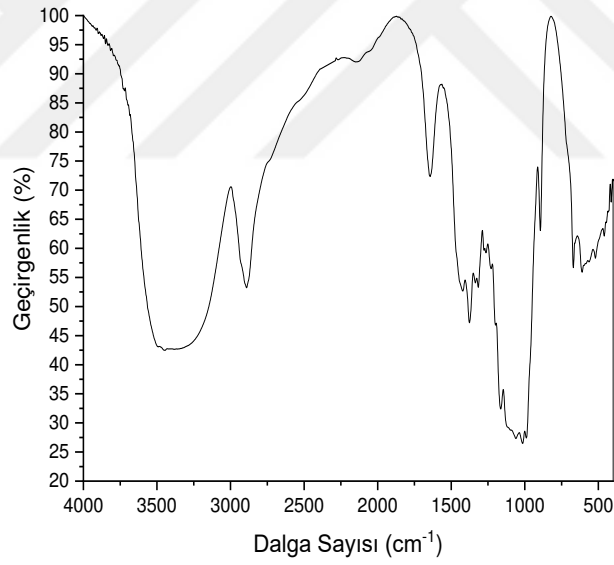
Şekil 7.23. 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

7.3.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

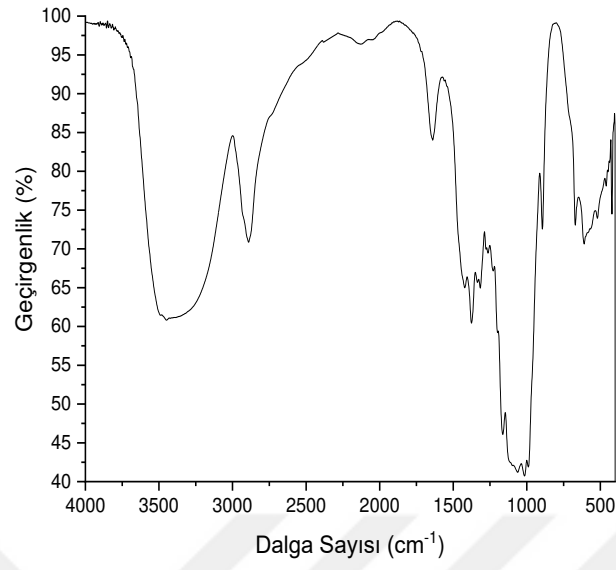
Ham viskon kumaşın FT-IR spektrumu Şekil 7.24'te verilmiştir. 3500-3000 cm^{-1} arasında O-H gerilme titreşimlerinden kaynaklanan geniş bandın kumaş yapısında da bulunduğu görülmüştür. 3000- 2800 cm^{-1} 'de görülen titreşimler alifatik yapılarda bulunan C-H gerilimlerine aittir. Ayrıca 1800 -1600 cm^{-1} arasında C=O gerilim titreşimlerine ait bant görülmektedir. 1550 – 1280 cm^{-1} 'de C=C gerilme (aromatik) titreşimleri, 1180 – 850 cm^{-1} 'de C-O gerilme titreşimleri olduğu gözlemlenmiştir [74, 75]. Viskon kumaş dışında bağlayıcı kimyasal (Şekil 7.25), biyokarbon uygulanan kumaş (Şekil 7.26), aktif karbon uygulanan kumaş (Şekil 7.27), ticari aktif karbon uygulanan kumaş (Şekil 7.28) için FTIR spektrumları benzerlik göstermekte ve aynı fonksiyonel grupları içermektedir.



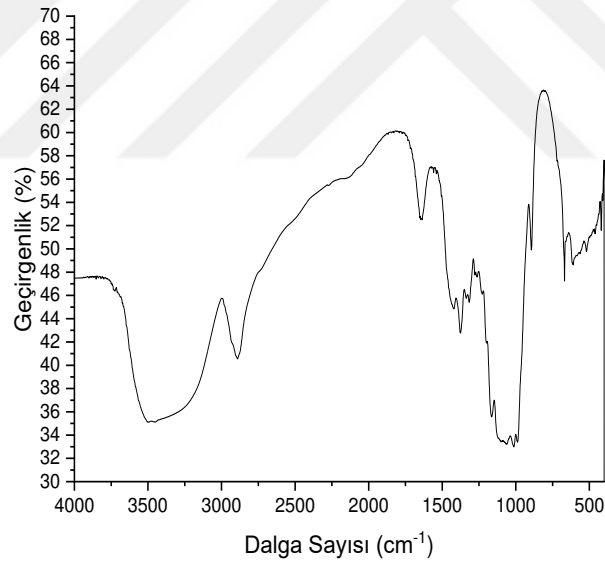
Şekil 7.24. *Viskon kumaş FT-IR spektrumu*



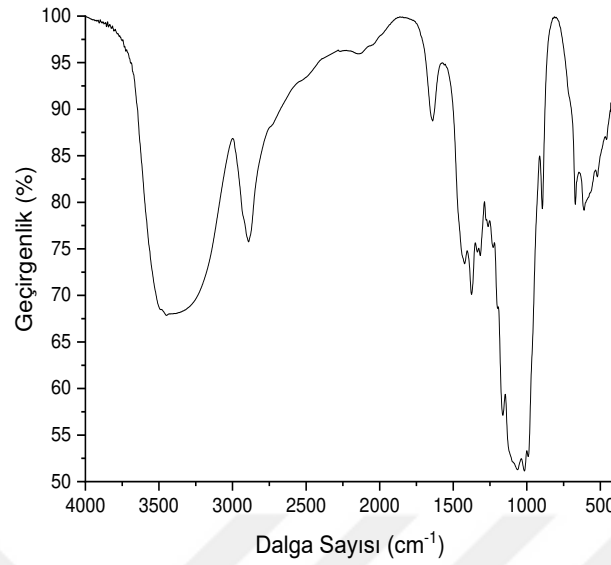
Şekil 7.25. *Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş FT-IR spektrumu*



Şekil 7.26. 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş FT-IR spektrumu



Şekil 7.27. 20 g/L aktif karbon uygulanan viskon kumaş FT-IR spektrumu



Şekil 7.28. 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan viskon kumaş FT-IR spektrumu

7.4. Karbon Kaplı Kumaşlara Uygulanan Fiziksel Testler

7.4.1. Su testleri

7.4.1.1. Suya batma testi

Kumaşların konfor özelliklerinin incelenmesinde kullanılan suya batma testinin karbon uygulanan kumaşlara yapılması ile konfor özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Karbon malzemelerin hidrofobik olduğu bilindiğinden kumaşlara hidrofobik özellik kazandırması beklenerek su üzerinde batma süreleri tespit edilmiştir. Deney sonuçları Tablo 7.8’de verilmiştir.

Tablo 7.8. Kumaşlara uygulanan suya batma testi sonuçları

Örnek	Suya batma süresi (s)
Viskon kumaş	9,2
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L Biyokarbon	27,0
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L Biyokarbon	27,1
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Biyokarbon	29,3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L Aktif Karbon	33,4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L Aktif Karbon	21,2
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Aktif Karbon	19,4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L Ticari Aktif Karbon	20,6
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L Ticari Aktif Karbon	22,1
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Ticari Aktif Karbon	35,7

Yapılan denemeler sonucunda viskon kumaşa göre tüm karbon uygulanan kumaşların suya batma sürelerinin iyileştiği görülmektedir. Özellikle 5g/L aktif karbon ve 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan kumaşların en yüksek batma sürelerine sahip oldukları görülmektedir.

7.4.1.2. Su damlası testi

Kumaşlara uygulanan diğer bir su testi, damlama testidir. Bu test ile karbon uygulanan kumaşın damlatılan suyu emme süresinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Suya batma testinde su yüzeyinde daha fazla süre kalan kumaşların su damlasını daha uzun sürede emmesi beklenmektedir. Deney sonuçları Tablo 7.9’da verilmiştir.

Tablo 7.9. Kumaşlara uygulanan su damlama testi sonuçları

Örnek	Su damlasının kaybolma süresi (s)
Viskon kumaş	0,94
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L Biyokarbon	2,4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L Biyokarbon	2,8
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Biyokarbon	3,6
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L Aktif Karbon	4,3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L Aktif Karbon	3,6
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Aktif Karbon	3,7
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L Ticari Aktif Karbon	3,6
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L Ticari Aktif Karbon	3,0
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Ticari Aktif Karbon	3,5

Su damlası testi sonuçları incelendiğinde yine su damlasının kaybolma süresinin en yüksek 5 g/L aktif karbon kaplanan viskon kumaşta olduğu görülmüştür. Bu 5 g/L aktif karbon uygulanan kumaşın en düzgün yüzeye sahip olduğu bilindiğinden homojen kaplamanın etkisinin kaplama çözeltisinin derişiminden daha önemli olduğu tespit edilmiştir.

7.4.2. Isı iletkenlik katsayısı analizi

Isı iletkenlik katsayısı kumaşların termal konforu açısından önemli bir parametredir. Özellikle giysilerin ısı iletkenlik katsayısının düşük olması sıcaklık değişimlerinden kullanıcının daha az etkilenmesine ve ısı iletkenlik katsayısının yüksek olması sıcaklık değişimlerine daha hızlı adapte olmasını sağlamaktadır.

Tablo 7.10. Kumaşlara uygulanan ısı iletkenlik katsayısı analiz sonuçları

Örnek	k (mW/m°C)
Viskon kumaş	25,3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Biyokarbon	24,2
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Aktif Karbon	25,2
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Ticari Aktif Karbon	26,9

Isı iletkenlik katsayıları incelendiğinde viskon iplikten üretilen biyokarbon ve aktif karbon malzemenin bağlayıcı kimyasal kullanımı ile beraber ısı iletkenlik katsayısını azalttığı, fakat ticari aktif karbonun ısı iletkenlik katsayısını arttırdığı görülmektedir.

7.4.3. Kumaşlara uygulanan haslık testleri

7.4.3.1. Yıkama haslığı testi

Kumaşlara uygulanan en önemli haslık testlerinden biri yıkama sonrası renk değişimlerinin ve farklı yapıdaki ürünler ile yıkandığında bu ürünleri kirletme miktarının tespit edildiği yıkama testidir. Karbon uygulanan kumaşların yıkama sonrası yüzeylerinde karbon miktarının ne kadar azalacağının görülmesi amaçlanmıştır. Yıkama haslığı test sonuçları Tablo 7.11’de verilmiştir.

Tablo 7.11. Kumaşlara uygulanan yıkama haslığı test sonuçları (BK:Biyo karbon; AK: Aktif Karbon; AC:Ticari Aktif Karbon)

Örnek	Yıkama Haslığı ISO 105-C06:2012 A2@40°C	
	Renk Değişimi	Renk Kirletme
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L BK	1/2	4/5
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L BK	1/2	4/5
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L BK	1/2	4/5
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L AK	4	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L AK	4	3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L AK	3/4	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L AC	2/3	4/5
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L AC	2/3	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L AC	1/2	4/5

Kumaşların yıkama haslığı sonuçları incelendiğinde biyokarbon malzemelerin yıkama sonrası kumaş yüzeyinde kalmadığı, bağlayıcı kimyasal kullanılmasına rağmen biyokarbon malzemelerin kumaşa iyi bağlanmadığı görülmüştür. Ticari aktif karbon kumaşların yıkama sonrası renk değişimleri biyokarbondan daha iyi olduğu

görüldüğünden kumaşa daha iyi bağlandığı söylenebilir. Karbon malzemeler arasında en iyi yıkama haslığı aktif karbon uygulanan kumaşta olduğu görülmüştür.

7.4.3.2. Ter haslığı testi

Karbonlu malzeme uygulanan kumaşların ter haslıkları incelenmiş ve Tablo 7.12’de verilmiştir.

Tablo 7.12. Kumaşların su haslığı sonuçları (BK: Biyokarbon; AK: Aktif Karbon; AC: Ticari Aktif Karbon)

Örnek	Su Haslığı	
	ISO 105-E01:2013	
	Renk Değişimi	Renk Kirlenme
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L BK	4	3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L BK	4	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L BK	4	3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L AK	4/5	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L AK	4/5	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L AK	4	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L AC	3/4	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L AC	4	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L AC	2/3	1/2

Tablo 7.13. Kumaşların asidik ter haslığı sonuçları (BK: Biyokarbon; AK: Aktif Karbon; AC: Ticari Aktif Karbon)

Örnek	Asidik Ter Haslığı	
	ISO 105-E04:2013	
	Renk Değişimi	Renk Kirlenme
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L BK	3	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L BK	4	3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L BK	3/4	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L AK	4/5	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L AK	4/5	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L AK	4	2/3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L AC	3/4	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L AC	3/4	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L AC	2/3	3

Tablo 7.14. Kumaşların alkali ter haslığı sonuçları (BK: Biyokarbon; AK: Aktif Karbon; AC: Ticari Aktif Karbon)

Örnek	Alkali Ter Haslığı ISO 105-E04:2013	
	Renk Değişimi	Renk Kirlenme
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L BK	3/4	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L BK	4	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L BK	3/4	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L AK	4/5	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L AK	4/5	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L AK	4	3/4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L AC	3/4	4
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L AC	4	2
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L AC	2/3	3

Yıkama haslığının aksine kumaşların ter haslıkları test sonuçlarında olumsuz bir değişim gözlemlenmemiştir. 20 g/L ticari aktif karbon uygulanan kumaşın haslıklarında kirlenme değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise kumaş üzerindeki fazla karbonlu malzemedir. Diğer karbonlu malzeme kaplı kumaşlarda ter haslığı sonuçları 3, 3/4, 4, 4/5 şeklinde olduğundan bunlar kabul edilir değerlerdir.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan tez çalışması kapsamında karbon malzeme kaynağı olarak viskon iplik atığı kullanılmıştır. Hammaddeye uygulanan kül tayini sonucunda kullanılması planlanan ipliğin kül miktarının %0,016 olduğu ve bu düşük miktar ile iyi bir hammadde kaynağı olduğu görülmüştür. Ağırlıkça %95,5 uçucu madde içeren viskon ipliğinin karbonizasyon ile sabit karbon miktarının artırılması hedeflenmiştir.

Viskon ipliğin yanma davranışlarının değerlendirilmesi için Termogravimetrik Analiz (TGA) gerçekleştirilmiştir. Hava ortamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda viskon ipliğin yanma tepkimelerinin başlama sıcaklığı 300 °C ve bitiş sıcaklığı 370 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek bozunma hızının olduğu sıcaklık 335 °C'dir, viskon iplikler için bu değer literatürde 250 – 350 °C aralığında olduğu görülmüştür [73].

FT-IR analizi ile viskon ipliğin içerdiği fonksiyonel gruplar incelenmiştir. 3500-3000 cm⁻¹ arasındaki O-H titreşimlerine ait geniş bant, 2950-2850 cm⁻¹ aralığında görülen C-H titreşimlerine ait bantlar, 1700 -1600 cm⁻¹ arasında C=O gerilim bantları ve 1200-1000 cm⁻¹ arasında C-O gerilim bantları selülozik yapıyı desteklemektedir. Bu fonksiyonel gruplar literatürdeki selüloz FT-IR sonuçları ile uyumludur [75].

Viskon ipliğe uygulanan karakterizasyonların ardından karbonizasyon işlemine geçilmiş ve 600 °C sıcaklıkta biyokarbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sıcaklıkta katı ürün verimi yaklaşık %17 olarak hesaplanmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalarda bu değer %40, gerçekte ise %40'tan daha düşük olduğu belirtilmektedir [73]. Kimyasal aktivasyon işlemi ile aktif karbon üretiminde ise katı ürün verimi %5 oranına kadar düşmektedir. Çalışmada elde edilen karbonlu malzemelerin uygunluğunu değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla ticari aktif karbon da kullanılmıştır.

Tüm karbonlu malzemelerin nem içeriği incelenmiştir. Biyokarbon nem miktarı %5,6, aktif karbonun %5,05 ve ticari aktif karbonun ise %3,2 olduğu tespit edilmiştir. Kül miktarı ise biyokarbonun %0,9, aktif karbonun %7 ve ticari aktif karbonun %2,6 olduğu belirlenmiştir. Uçucu madde içeriğinin de aynı sıra ile %9,2, %10,45 ve %6,8 olduğu görülmüştür. Karbonlu malzemelerin yoğunluk değerleri de çalışma kapsamında incelenmiştir. Biyokarbon malzemenin gerçek yoğunluğu en yüksek değeri veren aktif karbondan %57,6 daha düşük, yığın yoğunluk değeri en yüksek değeri veren ticari aktif karbondan %18,7 daha olduğu görülmüştür. Biyokarbonun yanma davranışlarının incelenmesi için gerçekleştirilen TGA analizinde malzemenin en yüksek bozunma hızına 514 °C'de ulaşıldığı görülmüştür. Aktif karbon malzemelerin yanma eğrileri

incelendiğinde ise yanmaya başladığı sıcaklık 340 °C’lerde ve yanmanın bittiği sıcaklık 650°C olduğu görülmüştür. Aktif karbonunda en yüksek bozunma hızının olduğu sıcaklık 510 °C’dir. Ticari aktif karbonun yanma eğrilerinin biyokarbon gibi 500 °C’lerde başladığı fakat 700 °C’lere kadar devam ettiği görülmüştür. Literatür incelendiğinde, viskondan üretilen karbon malzemenin TGA analizinde 400°C’de kütle kaybı olduğu görülmüştür [73]. Viskon ipliğe göre bu hammaddeden elde edilen karbonlu malzemelerin yanma tepkimelerinin başlangıç sıcaklıkların ötelediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar karbonizasyon işlemi sırasında uçucuların uzaklaştırılması sonucunda sabit karbon içeriği yüksek ürünlerin elde edildiğini desteklemektedir.

Elde edilen karbonların hem döngüsel ekonomi kavramında olduğu gibi tekrar üretim döngüsüne katılması, hem de kumaşın konfor özelliklerini nasıl etkileyeceğinin görülmesi için daldırma yöntemi ile kumaşa uygulanmıştır. 5 g/L, 10 g/L ve 20 g/L karbon konsantrasyonunda hazırlanan ve 20 g/L bağlayıcı kimyasal içeren daldırma çözeltileri ile 130 g/m² gramajına sahip %100 viskon kumaşlar kaplanmıştır. Kumaş yüzeyinde tutulan karbon miktarının tespit edilmesi için kaplama öncesi ve kaplama sonrası tartım alınmıştır. Buna göre, 20 g/L karbonlu malzeme içeren çözeltilerin uygulandığı kumaşlarda biyokarbon malzemenin kumaş ağırlığının %3,5’i, aktif karbonun %7,5’i ve aktif karbonun %2,5’i kadar karbon uygulanabildiği görülmüştür. Karbon kaplı kumaşların yüzey görüntüleri SEM analizi ile de incelenmiştir. Biyokarbon malzemenin kumaş yüzeyine homojen olarak yayılmadığı görülmüştür. Aktif karbon ile kaplanan kumaşlar görsel olarak en düzgün kaplanan kumaşlar olarak belirlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, yüzeyle girintili çıkıntılı şekilde yerleşmiş aktif karbon parçacıklarının olduğu görülmektedir. Diğer karbon malzemelerin aksine daha köşeli ve lif yapısından uzak olan ticari aktif karbon ile kaplanan kumaşın SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeye homojen yayılmadığı ancak diğer karbon malzemelerde olduğu gibi kumaşın yüzey yapısına bağlı olarak ipliklerin aralarına kadar karbon malzemenin ulaştığı saptanmıştır.

Kaplama sonrası kumaşlara uygulanan TGA analizinde viskon kumaşın yanmaya başladığı sıcaklık 250 °C iken aktif karbon uygulanan kumaşın yanmaya başladığı sıcaklığın 260 °C olduğu görülmüştür. Böylece aktif karbonun kumaşta yanma sıcaklığını ötelediği gözlemlenmiştir. Bu da karbonlu malzemelerin viskon kumaşlarda yanma geciktirici etkisinin olduğunu göstermektedir.

Kumaşların karakterizasyonlarının ardından konfor özelliklerinin incelenmesi için ilk olarak ısı iletkenlik katsayısı analizi gerçekleştirilmiştir. Viskon kumaşın ısı iletkenlik katsayısı 25,3 mW/m°C olarak ölçülmüştür. Literatür incelendiğinde selülozik elyaflar için bu değerin 20 – 30 mW/m°C aralığında olduğu görülmektedir [56]. Biyokarbon malzeme ile kaplanan kumaşta ısı iletkenlik değeri 24,2 mW/m°C, aktif karbon kaplanan kumaşta ise 25,2 mW/m°C olduğu görülmüştür. Ticari aktif karbonda ise bu değer 26,9 W/m°C'ye yükselmiştir. Isı iletkenlik katsayısının yükselmesi ısı değişimlerinden daha hızlı etkileneceğini belirtir. Ticari aktif karbon ile kullanıcıların konforu olumsuz etkileneceği söylenebilir.

Giysilerin konfor özelliklerinde hidrofilite önemli bir kavramdır. Giysilerin daha konforlu olması için daha hidrofobik olması istenmektedir. Kumaşlara uygulanan hem suya batma hem de su damlama testleri sonucunda viskon kumaşa göre karbon kaplanan kumaşların daha hidrofobik olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kumaş kaplama yöntemi olarak daldır-kurut tekniğinin seçilmesinin nedeni endüstriyel olarak daha uygulanabilir olmasıdır. Deneyler sırasında kumaş yüzeylerine sadece bir kez kaplama yapılmasının da yine aynı şekilde endüstriyel üretimde uygulanabilir olmasıdır. Tekstil sektöründe kumaşlara uygulanan kimyasallar ram makinelerinde verilmekte ve ram makinelerinde kimyasalların uygulandığı bir adet tekne yer almaktadır. Kumaşlara kazandırılmak istenilen fiziksel özellik doğrultusunda tekne içindeki çözelti ve kimyasallar değişmektedir. Kumaş bu tekneden geçirilerek daldırma teknesine daldırılır ve silindirlerden geçerek üzerindeki fazla su atılır, ardından da kurutulur. Tez kapsamında da endüstriyel uygulamada olduğu gibi daldırma ve kurutma işlemi yapılmıştır. Karbon kaplama oranının artırılması için daldır-kurut sayısı artırılabilir veya farklı metotlar ile kumaşa uygulaması denenebilir.

Sonuç olarak, tekstil sanayisinde atık olarak yüksek miktarlarda karşımıza çıkan atık viskon ipliklerin karbonizasyonu ile yine tekstil sektöründe kumaş konfor özelliklerini artırma amaçlı kullanılabilecek karbonlu malzemelerin elde edilebileceği görülmüştür. Farklı oranlarda uygulanan kaplama ile kumaş yüzeyinde bulunan karbonlu malzeme miktarının artırılması sonucunda hidrofobik özelliklerin geliştirildiği belirlenmiştir. Görsel açıdan değerlendirildiğinde, özellikle giyim sektöründe kullanılması durumunda karbon kaplanmasının kumaşın renk özelliklerini önemli ölçüde etkilediği ve bu nedenle her renk kumaşta uygulanabilirliğinin zayıf olduğu sonucuna varılmıştır.

Tekstil atıklarının termokimyasal dönüşüm yöntemleri ile yararlı ve katma değeri yüksek karbonlu malzemelere dönüştürülmesi her geçen yıl artan atık bertarafı sorununa çözüm oluşturabilecek niteliktedir. Ülkemiz tekstil sanayi göz önünde bulundurulduğunda tez çalışması kapsamında yürütülen deneysel çalışmalardan elde edilen bulguların gelecekte atık tekstil ürünlerinin değerlendirilmesinde önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] Hanoğlu, A., Çay, A. and Yanık, J. (2019). Production of biochars from textile fibres through torrefaction and their characterisation. *Energy*, 166, 664–673.
- [2] Rahman, S.S., Siddiqua, S. and Cherian, C. (2022). Sustainable applications of textile waste fiber in the construction and geotechnical industries: A retrospect. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100420.
- [3] Uddin, F. (2019). Introductory chapter: textile manufacturing processes. *Textile Manufacturing Processes*, 1, 13.
- [4] Çay, A., Yanık, J., Akduman, Ç., Duman, G., Ertaş, H. (2020). Application of textile waste derived biochars onto cotton fabric for improved performance and functional properties. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119664.
- [5] Riba, J.R., Cantero, R., Canals, T., Puig, R. (2020). Circular economy of post-consumer textile waste: Classification through infrared spectroscopy. *Journal of Cleaner Production*, 272.
- [6] Gaustad, G., Krystofik, M., Bustamante, M., Badami, K., (2018). Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues. *Resour. Conserv. Recycl.* 135, 24e33.
- [7] Candido, R.G. (2021). Recycling of textiles and its economic aspects. *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles*, 599–624.
- [8] Beton, A., Dias, D., Farrant, L., Gibon, T., Le Guern, Y., (2014). Environmental improvement potential of textiles (IMPRO textiles). *Luxembourg*.
- [9] Büyükaslan, E. (2015). A Sustainable Approach To Collect Post-Consumer Textile Waste In Developing Countries. *Marmara University Journal Of Science*, 27(3).
- [10] Hawley, J., (2011). Textile Recycling Options. In: A. Gwilt & T. Rissanen, *Shaping Sustainable Fashion: Changing the way we make and use clothes. London: Eartscan*, 143-155.
- [11] Athanasopoulos, P. and Zabaniotou, A. (2022). Post-consumer textile thermochemical recycling to fuels and biocarbon: A critical review. *Science of The Total Environment*, 834, 155387.
- [12] Tian, D., Xu, Z., Zhang, D., Chen, W., Cai, J., Deng, H., Sun, Z., Zhou, Y. (2019). Micro–mesoporous carbon from cotton waste activated by FeCl₃/ZnCl₂: Preparation, optimization, characterization and adsorption of methylene blue and eriochrome black T. *Journal of Solid State Chemistry*, 269, 580–587.
- [13] Xu, Z., Yuan, Z., Zhang, D., Chen, W., Huang, Y., Zhang, T., Tian, D., Deng, H., Zhou, Y., Sun, Z. (2018). Highly mesoporous activated carbon synthesized by pyrolysis of waste polyester textiles and MgCl₂: Physiochemical characteristics and pore-forming mechanism. *Journal of Cleaner Production*, 192, 453–461.
- [14] Bagheri, M., Esfilar, R., Sina Golchi, M., Kennedy, C. A. (2020). Towards a circular economy: A comprehensive study of higher heat values and emission potential of various municipal solid wastes. *Waste Management*, 101, 210–221.

- [15] Acevedo, B., Barriocanal, C. (2015). Preparation of MgO-templated carbons from wastepolymericfibres. *Microporous Mesoporous Mater*, 209, 30–37.
- [16] Jieying, Z., Zhao, Q. and Ye, Z. (2014). Preparation and characterization of activated carbonfiber (ACF) from cotton woven waste. *Appl. Surf. Sci.*, 299, 86–91.
- [17] Wanassi, B., Hariz, I.B., Ghimbeu, C.M., Vaultot, C., Hassen, M.B., Jeguirim, M. (2017). Carbonaceous adsorbents derived from textile cotton waste for the removal of Alizarin S dye from aqueous effluent: kinetic and equilibrium studies. *Environ. Sci.Pollut. Res. Int.*, 24, 10041–10055.
- [18] Ekrami, E., Dadashian, F. And Soleimani, M. (2014). Waste cotton fibers based activated carbon: Optimization of process and product characterization. *Fibers and Polymers*, 15(9), 1855–1864.
- [19] Uyanik, S. ve Çelikel, C.D., (n.d.). Türk Tekstil Endüstrisi Genel Durumu.
- [20] Lu, J.J. and Hamouda, H. (2014). Current status of fiber waste recycling and its future. *Advanced Materials Research*, 878, 122–131.
- [21] Pensupa, N. (2020). Recycling of end-of-life clothes. *Sustainable Technologies for Fashion and Textiles*, 251–309.
- [22] Üçgül, İ. ve Elibüyük, U. (n.d.). Tekstil Atıklarının Piroliz ile Değerlendirilmesi.
- [23] European Commission, 2017. Circular economy in practice - reducing textile waste.,<https://ec.europa.eu/easme/en/news/circular-economypractice-reducing-textile-waste>.
- [24] Eser, B., Çelik, P., Çay, A., Akgümüş, D. (2016). Tekstil ve konfeksiyon sektöründe sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm olanakları. *Tekstil ve Mühendis*, 23(101), 44–60.
- [25] Lin, S. D. (2012). Recycled Fiber Industry Facing Opportunities and Challenges in the New Situation. *Resource Recycling*, 11, 44-47.
- [26] Homem, N.C. and Amorim, M.T.P. (2020). Synthesis of cellulose acetate using as raw material textile wastes. *Materials Today: Proceedings*, 31, 315–317.
- [27] Shirvanimoghaddam, K., Ghasali, E., Pakseresht, A., Derakhshandeh, S.M.R., Alizadeh, M., Ebadzadeh, T., Naebe, M. (2019). Super hard carbon microtubes derived from natural cotton for development of high performance titanium composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 775, 601–616.
- [28] Das, A.M., Ali, A.A., Hazarika, M.P. (2014). Synthesis and characterization of celluloseacetate from rice husk: eco-friendly condition. *Carbohydr. Polym.*, 112, 342–349.
- [29] Can, Ö. ve Ayvaz, M.K. (2017). Tekstil ve Modada Sürdürülebilirlik. *In Academia Journal of Social Sciences*, 3(1).
- [30] Sandin, G. and Peters, G.M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 353–365.

- [31] Bediako, J.K., Wei, W., Yun, Y.S. (2016). Low-cost renewable adsorbent developed from waste textile fabric and its application to heavy metal adsorption. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 63, 250–258.
- [32] Sartova, K., Omurzak, E., Kambarova, G., Dzhumaev, I., Borkoev, B., Abdullaeva, Z. (2019). Activated carbon obtained from the cotton processing wastes. *Diamond and Related Materials*, 91, 90–97.
- [33] Haslinger, S., Wang, Y., Rissanen, M., Lossa, M.B., Tantt, M., Ilen, E., Määttä, M., Harlin, A., Hummel, M., Sixta, H. (2019). Recycling of vat and reactive dyed textile waste to new colored man-made cellulose fibers. *Green Chemistry*, 21(20), 5598–5610.
- [34] Lee, K. (2018). Textile Recycling Technologies, Colouring and Finishing Methods. *Solid Waste Services*, Metro Vancouver
- [35] Voncina, B. (2014). Recycling of textile materials. MDT “Recycling”.
- [36] Park, S.H. and Kim, S.H. (2014). Poly (ethylene terephthalate) recycling for high value added textiles. *Fashion Textiles*, 1.
- [37] Özsin, G. and Pütün, A.E. (2022). An investigation on pyrolysis of textile wastes: Kinetics, thermodynamics, in-situ monitoring of evolved gases and analysis of the char residue. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107748.
- [38] Rago, Y.P., Surroop, D., Mohee, R. (2018). Torrefaction of textile waste for production of energy-dense biochar using mass loss as a synthetic indicator. *J. Environ.Chem. Eng.*, 6 (1), 811-822.
- [39] Nyika, J. and Dinka, M. (2022). Sustainable management of textile solid waste materials: The progress and prospects. *Materials Today: Proceedings*, 62, 3320–3324.
- [40] Higman, C. (2008), Gasification. *Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems*, 423-468.
- [41] Li, S., Vela, I.K., Järvinen, M., Seemann, M. (2021). Polyethylene terephthalate (PET) recycling via steam gasification – the effect of operating conditions on gas and tar composition. *Waste Manag.*, 130, 117-126.
- [42] Chen, D., Cen, K., Zhuang, X., Gan, Z., Zhou, J., Zhang, Y., Zhang, H. (2022). Insight into biomass pyrolysis mechanism based on cellulose, hemicellulose, and lignin: Evolution of volatiles and kinetics, elucidation of reaction pathways, and characterization of gas, biochar and bio-oil. *Combustion and Flame*, 242.
- [43] Williams, P.T. and 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.
- [44] Abioye, A.M. and Ani, F.N. (2015). Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review. *In Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1282–1293.

- [45] Chiu, K.L. and Ng, D.H.L. (2012). Synthesis and characterization of cotton-made activated carbon fiber and its adsorption of methylene blue in water treatment. *Biomass Bioenergy*, 46, 102–110.
- [46] Suhas, P.J.M., Carrott, M.M.L. and Carrott, R. (2007), Lignin-from Natural Adsorbent to Activated Carbon: A Review. *Bioresource Technology*, 98, 2301–2312
- [47] Özdemir, M., Bolgaz, T., Saka, C. and Şahin, Ö. (2011). Preparation and characterization of activated. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 92(1), 171–175.
- [48] Dolas, H., Sahin, O., Saka, C., Demir, H. (2011). A new method on producing high surface area activated carbon: The effect of salt on the surface area and the pore size distribution of activated carbon prepared from pistachio shell. *Chemical engineering journal*. 166(1), 191–197.
- [49] Hu, Z., Srinivasan, M.P. and Ni, Y. (2001). Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons. *Carbon*, 39(6), 877–886.
- [50] Hina, K., Zou, H., Qian, W., Zuo, D., Yi, C. (2018). Preparation and performance comparison of cellulose-based activated carbon fibres. *Cellulose*, 25(1), 607–617.
- [51] Bhati, S., Mahur, J.S., Dixit, S., Chobey, O.N. (2014). Study on effect of chemical impregnation on the surface and porous characteristics of activated carbon fabric prepared from viscose rayon. *Carbon Letters*, 15(1), 45–49.
- [52] Rosas, J. M., Bedia, J., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. (2009). HEMP-derived activated carbon fibers by chemical activation with phosphoric acid. *Fuel*, 88(1), 19–26.
- [53] Heidarinejad, Z., Dehghani, M.H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., Sillanpää, M. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *In Environmental Chemistry Letters*, 18(2), 393–415.
- [54] Zhang, Y.J., Xing, Z.J., Duan, Z.K., Li, M., Wang, Y. (2014). Effects of steam activation on the pore structure and surface chemistry of activated carbon derived from bamboo waste. *Applied Surface Science*, 315(1), 279–286.
- [55] Öner, E. ve Okur, A. (2017). Materyal, Üretim Teknolojisi ve Kumaş Yapısının Termal Konfora Etkileri. *Tekstil ve Mühendis*, 17(80), 20-29.
- [56] Pavlović, S.S., Stanković, S.B., Popović, D.M., Poparić, G.B. (2014). Transient thermal response of textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers. *Polymer Testing*, 34, 97–102.
- [57] Kalaoglu-Altan, O.I., Kayaoglu, B.K., Trabzon, L. (2022). Improving thermal conductivities of textile materials by nanohybrid approaches. *Science*, 25(3), 103825.
- [58] Siddiqui, M.O.R. and Sun, D. (2017). Thermal analysis of conventional and performance plainwoven fabrics by finite element method. *J. Ind. Textil.* 48, 685–712.

- [59] Ruiz-Calleja, T., Bonet-Aracil, M., Gisbert-Payá, J., Bou-Belda, E. (2020). Analysis of the influence of graphene and phase change microcapsules on thermal behavior of cellulosic fabrics. *Materials Today Communications*, 25, 101557.
- [60] Ala, D.M. (2017). Pamuklu Dokuma Kumaşlarda Islanma Ve Kuruma Özelliklerinin İncelenmesi. *Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi*, Adana, 217-221.
- [61] Zhang, Y.F., Dai, J.M., Guo, H., Shi, S., Yan, Z.F., Hou, W.S. (2020). A comparative study of carbon microsphere preparation by the hydrothermal carbonization of waste cotton fibers, viscose fibers and Avicel. *New Carbon Materials*, 35(3), 286–294.
- [62] Duman, G. (2021). Preparation of novel porous carbon from hydrothermal pretreated textile wastes: Effects of textile type and activation agent on structural and adsorptive properties. *Journal of Water Process Engineering*, 43.
- [63] Rago, Y.P., Collard, F.X., Görgens, J.F., Surroop, D., Mohee, R. (2022). Co-combustion of torrefied biomass-plastic waste blends with coal through TGA: Influence of synergistic behaviour. *Energy*, 239, 121859.
- [64] Cheng, K., Winter, W.T. and Stipanovic, A.J. (2012). A modulated-TGA approach to the kinetics of lignocellulosic biomass pyrolysis/combustion. *Polymer Degradation and Stability*, 97(9), 1606–1615.
- [65] Lazzari, E., Schena, T., Marcelo, M.C.A., Primaz, C.T., Silva, A.N., Ferrão, M.F., Bjerk, T., Caramão, E.B. (2018). Classification of biomass through their pyrolytic bio-oil composition using FTIR and PCA analysis. *Industrial Crops and Products*, 111, 856–864.
- [66] Si, S., Zheng, X. and Li, X. (2022). Effect of carbonization treatment on the physicochemical properties of bamboo particleboard. *Construction and Building Materials*, 344, 128204.
- [67] Azar Aliyev. (2019). Biyokütle Pirolitik Sıvısından Karbonlu Malzeme Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- [68] Hofmann, N. and Borchert, H. (2022). Influence of fuel quality and storage conditions on oxygen consumption in two different wood chip assortments – Determination of the storage-stable moisture content. *Fuel*, 309, 122196.
- [69] Bulut, Y. ve Sülar, V., (2015), Kaplama ve Laminasyon Teknikleri İle Üretilen Kumaşların Genel Özellikleri ve Performans Testleri. *Tekstil ve Mühendis*, 15, 70-71.
- [70] Liu, K. (2019). Effects of Sample Size, Dry Ashing Temperature and Duration on Determination of Ash Content in Algae and Other Biomass, *Algal Research*, 40, 101486.
- [71] Perring, L. and Tschopp, A. (2019). Determination of ash content of milk-based powders by Energy Dispersive X-ray Fluorescence. *Microchemical Journal*, 145, 162–167.
- [72] García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., Bueno, J. L. (2014). Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data. *Fuel*, 117(PARTB), 1139–1147.

- [73] Scholz, R., Herbig, F., Beck, D., Spörl, J., Hermanutz, F., Unterweger, C., Piana, F. (2019). Improvements in the carbonisation of viscose fibres. *Reinforced Plastics*, 63(3), 146–150.
- [74] Dhanavath, K.N., Shah, K., Bankupalli, S., Bhargava, S.K., Parthasarathy, R. (2017). Derivation of optimum operating conditions for the slow pyrolysis of Mahua press seed cake in a fixed bed batch reactor for bio-oil production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(4), 4051–4063.
- [75] Carrillo, F., Colom, X., Suñol, J.J., Saurina, J. (2004). Structural FTIR analysis and thermal characterisation of lyocell and viscose-type fibres. *European Polymer Journal*, 40(9), 2229–2234.
- [76] Orhan, M., Tiritöglu, M., Zinetbaş, G. (2019). Farklı Tip Çapraz Bağlayıcıların Viskon Kumaş Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 26(115), 252-262.

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-8079-5792

Ad Soyad: Çağla Gökbulut

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim:

2019 - 2022, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı

2015- 2019, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

Deneyim:

2019- halen, Elyaf Tekstil San. ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Mühendisi