



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)

<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>



VİSKON İPLİK ATIKLARINDAN ÜRETİLEN BİYOKARBONUN VİSKON KUMAŞLARDA TERMAL KONFOR ve YANMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

EFFECT OF BIOCARBON PRODUCED FROM VISCOSE YARN WASTE ON THERMAL COMFORT AND COMBUSTION BEHAVIOUR OF VISCOSE FABRICS

Çağla GÖKBULUT^{1,2*}
Esin VAROL¹

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

² Elyaf Tekstil San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Bursa, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Haziran 2023 (30 June 2023)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Çağla GÖKBULUT, Esin VAROL (2023): Viskon İplik Atıklarından Üretilen Biyokarbonun Viskon Kumaşlarda Termal Konfor Ve Yanma Davranışına Etkisi, Tekstil ve Mühendis, 30: 130, 102-112.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/tekstilmuh.1320573>

VİSKON İPLİK ATIKLARINDAN ÜRETİLEN BİYOKARBONUN VİSKON KUMAŞLARDA TERMAL KONFOR ve YANMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

Çağla GÖKBULUT^{1,2*} 
Esin VAROL¹ 

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye
² Elyaf Tekstil San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Bursa, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 30.12.2022
Kabul Tarihi / Accepted: 18.06.2023

ÖZET: Tekstil sektöründeki üretimin yıllar içinde artışı, üretimden kaynaklı atık miktarlarındaki artışı da beraberinde getirmektedir. Döngüsel ekonomi kavramında atıklar, yeni süreçler için hammadde kaynağı olarak kabul edilmektedir. Üretim sırasında ortaya çıkan selülozik tekstil atıklarından termokimyasal dönüşüm yöntemlerinden olan karbonizasyon sonucunda biyokarbon ve aktif karbon gibi katma değerli ürünler elde edilmektedir. Bu çalışma kapsamında viskon iplik atıklarına 600°C sıcaklıkta uygulanan karbonizasyon işlemi ile biyokarbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyokarbon malzemenin nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon miktarları belirlenmiş, karakterizasyonları için enstrümantal teknikler kullanılmıştır. Parçacık boyutu 25 µm altında olan biyokarbon malzemenin kumaşa uygulanmasında daldır-kurut yöntemi kullanılmıştır. Farklı derişimlerde (5 g/L, 10 g/L ve 20 g/L) hazırlanan daldırma çözeltileri kullanılarak kaplanan kumaşların karakterizasyonu Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Termogravimetrik Analiz (TGA) ile gerçekleştirilmiştir. Karbon kaplamanın kumaşların yanma davranışına ve konfor özelliklerine etkisinin incelenmesi için kumaşlara ısı iletkenlik katsayısı, suya batma ve su damlası testleri uygulanmıştır. Termal açıdan incelendiğinde, bağlayıcı kimyasal birlikte uygulanan biyokarbonun, viskon kumaşın ısı iletkenlik katsayısını azalttığı saptanmıştır. Su testleri sonucunda viskon kumaşa göre biyokarbon kaplanan kumaşların daha hidrofobik özellikte olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyokarbon, karbonizasyon, viskon iplik, viskon kumaş, ısı iletkenlik

EFFECT OF BIOCARBON PRODUCED FROM VISCOSE YARN WASTE ON THERMAL COMFORT AND COMBUSTION BEHAVIOUR OF VISCOSE FABRICS

ABSTRACT: The increase in the production of the textile sector over the years brings with it an increase in the amount of waste originating from this production. 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 via carbonization, which is one of the thermal conversion methods. Within the scope of this study, biocarbon was produced from viscose yarn wastes at 600°C. Moisture, ash, volatile matter, and fixed carbon contents of biocarbon materials were determined and instrumental techniques were used for their characterization. Biocarbon materials with particle sizes 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 (5 g/L, 10 g/L, and 20 g/L) was performed with Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Thermogravimetric Analysis (TGA). In order to examine the effect of carbon coating on the combustion resistance and comfort properties of fabrics, thermal conductivity coefficient, immersion, and water drop tests were applied to the fabrics. It was determined that biocarbon applied with the binding agent decreased the thermal conductivity coefficient of viscose fabric. As a result of the water tests, it was seen that carbon-coated fabrics showed more hydrophobic character than viscose fabric.

Keywords: Biocarbon, carbonization, viscose yarn, viscose fabric, thermal conductivity

*Sorumlu Yazarlar/Corresponding Author: cagla.gokbulut@elyaf.com

DOI: <https://doi.org/10.7216/tekmuh.1320573> www.tekstilmuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış, yaşam şartlarının iyileşmesi ve moda sektöründeki hızlı değişimler küresel elyaf tüketiminde istikrarlı bir artış ile sonuçlanmaktadır [1]. Türkiye AB'nin en büyük üçüncü tekstil tedarikçisi konumundadır ve tekstil-konfeksiyon ülke ihracatının %30'unu oluşturmaktadır [2, 3]. Türkiye'deki bu denli yüksek tekstil üretimi nedeniyle oluşan katı atıklar da son yıllarda dikkat çekmektedir.

Tekstil atıklarının çoğu bertaraf edilmekte, çok az miktarı ise farklı ürüne dönüştürülmektedir. Dönüştürüldükleri ürünler genellikle düşük katma değerli ürünler olmaktadır [4]. Geri dönüşüm yöntemleri ileri dönüşüm (upcycling) ve aşağı dönüşüm (downcycling) olarak ikiye ayrılmaktadır. Aşağı dönüşümde tekstil ürünleri düşük değerli malzemelere (temizlik bezi, keçe vb.) dönüştürülürken, ileri dönüşümde katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesi söz konusu olmaktadır [2]. Tekstil atıklarının hammadde olarak kullanılma potansiyeli oldukça yüksektir ve hem ekonomik hem de çevresel açıdan bu atıkların ileri dönüşüm ile değerlendirilmesi her geçen gün önem kazanmaktadır [1].

Tekstil sektöründe kullanılan pamuk, viskon gibi selülozik ürünlerin atıklarının karbonizasyon yöntemiyle biyokarbon malzeme üretiminde kullanılması sürdürülebilir ileri dönüşüm teknolojileri arasında dikkat çekmektedir [5- 7]. Biyokarbon, lignoselülozik ham maddenin oksijenle sınırlı bir ortamda termokimyasal olarak dönüştürülmesinden elde edilen, yüksek karbon içeriğine ve gözenekli yapısı nedeniyle geniş yüzey alanına sahip malzemedir [6, 8]. Karbonizasyon işlemi genellikle 400-800°C arasında oksijensiz ortamda gerçekleşmektedir [9]. Son yıllarda tekstil atıklarının karbonizasyonu ile karbon malzeme eldesinde kullanılmasına yönelik çalışmalar öne çıkmaktadır [10]. Literatürde tekstil atıklarından elde edilen karbonun adsorban olarak kullanıldığı çalışmalar görülmektedir [11]. Yapılan çalışmalarda pamuk dokuma kumaş atıklarından aktif karbon üretilmiş ve üretilen aktif karbon atık suların adsorpsiyonunda değerlendirilmiştir [12, 13]. Adsorban olarak kullanılması dışında, beton kompozit uygulamalarında dolgu malzemesi olarak ya da nanokarbon uygulamalarında da kullanılabilir [14]. Bunlara ek olarak, pamuk atıklarından üretilen karbonlu malzemelerin enerji depolama alanlarında da uygulamalarına rastlanmaktadır [15].

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 [16]. Giysilerin termal konforunu etkileyen konular arasında giysinin termal iletkenliği ve hidrofilitesi vardır [17, 18]. Biyokarbon, yüksek yüzey alanı ve gözenekli yapısı ile önemli bir malzemedir ve kumaşa uygulanması tekstile fonksiyonel özellik kazandırmak için kullanılan bir yöntemdir [7, 19, 20]. Fonksiyonel özelliklerin yanında karbon termal düzenleme için kullanılan malzemeler

arasındadır [21]. Bu nedenle kumaşa uygulandığında konfor özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Çay ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada kumaşa fonksiyonel özellik kazandırması adına tekstil atıklarından elde edilen biyokarbon malzemenin kumaşlara uygulanması ile ilgili araştırma gerçekleştirmişlerdir. Üretilen karbon malzeme ile koku maskeleyici özelliğine sahip tekstil ürünü elde edilmiştir. Yapılan farklı çalışmalarda karbonlu malzemelerin kumaşlarda kullanımı ile alev geciktirici özelliklerinin iyileştirildiği görülmüştür [22]. Özellikle selülozik yapıya sahip pamuklu kumaşlara karbonlu malzemenin entegre edilmesi ile kumaşın ısı bozunma davranışının önemli ölçüde etkilendiği, kumaşın daha yüksek sıcaklıklara kadar bozunmadan kalabildiği belirlenmiştir [23].

Yukarıda incelen çalışmalardan görüleceği gibi literatürde selülozik tekstil atıklarından olan pamuk atığı kullanılarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada diğer bir selülozik elyaf olan viskon ipliği kullanılmıştır. Bugüne dek yapılan araştırmalar kapsamında viskon ipliklerden elde edilen biyokarbon malzemenin tekrar viskon kumaşa uygulanması konusunda çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür [8]. Yürütülen çalışma kapsamında, tekstil fabrikaları atığı olarak alınan viskon iplik, katma değerli bir ürün olan biyokarbon üretiminde hammadde kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında döngüsel ekonomi modelinde olduğu gibi viskon iplik atıklarından üretilen biyokarbon malzemelerin yine viskon kumaş üzerinde uygulanması ile hem ürün tekrar kullanılmış hem de kumaşın termal konfor özellikleri ve yanma direnci üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada biyokarbon hammaddesi olarak Elyaf Tekstil San. ve Tic. A.Ş. firmasının 75/24 DN %100 viskon iplik atığı kullanılmıştır. Bunun yanında tekstilde boyarmaddelerin life tutunmasını sağlayan, lif ile bağ yapan malzeme olarak bilinen bağlayıcı kimyasal olarak Tanatex firmasının, poliüretan bazlı Baypret USV kimyasalı kullanılmıştır. Biyokarbon malzeme uygulanacak kumaş olarak 135 g/m² gramaja ve 133 cm ene sahip %100 viskon dokuma kumaş seçilmiştir.

2.2. Yöntem

Yürütülen denemeler 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada karbon malzemenin üretimi ve karbon malzemenin karakterizasyonunun gerçekleştirilmesi, ikinci aşamada ise üretilen karbon malzemenin kumaşa uygulanması ve elde edilen karbon kaplı kumaşların karakterizasyonlarının ve fiziksel testlerinin gerçekleştirilmesi bulunmaktadır.

2.2.1. Hammadde karakterizasyonu

Karbon üretiminden önce viskon ipliğinin karakterizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak kül miktarı ve uçucu madde tayini gerçekleştirilmiştir. Biyokarbon hammaddesi olarak kullanılacak viskon ipliğinin termal davranışlarının değerlendirilmesi için

Termogravimetrik Analiz (TGA) kullanılmıştır. Analiz SETARAM-LABSYS Evo cihazı ile 20 mL/dk hava akışı altında, 20°C/dk ısıtma hızında, oda sıcaklığından 800°C'ye kadar ısıtılarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak ipliklerin fonksiyonel gruplarının belirlenmesi için Thermo Fisher Scientific-Nicolet TM IS TM 10 cihazı ile Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) analizi yapılmıştır. Analizde %99 oranında nemi uzaklaştırılmış KBr ile %1 oranında analizi yapılacak örnek homojen şekilde karıştırılarak hazırlanan pelletler kullanılmış ve spektrumlar 4000 – 400 cm⁻¹ dalga boyları arasında alınmıştır.

2.2.2. Hammaddenin karbonizasyonu

Karbonizasyon işlemi sabit yataklı kesikli reaktörde 600 °C sıcaklıkta, 100 cm³/dk N₂ gaz akış hızı altında 10 °C/dk ısıtma hızında 60 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Karbonizasyon sıcaklığına ulaşıldığında ısıtma işlemi sonlandırılarak reaktör soğumaya alınmıştır [24]. Karbonizasyon sonrası elde edilen biyokarbon öğütücüde öğütme ve Retsch-Vibra AS 200 basic ASTM elek setinde eleme işlemlerinin ardından <25 µm parça boyutuna getirilmiştir.

2.2.3. Biyokarbon malzemenin karakterizasyonu

Biyokarbon malzemenin karakterizasyonunda iplik karakterizasyonunda da uygulanan kül tayini, uçucu madde tayini, TGA ve FT-IR analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin dışında karbon malzemelerin nem miktarı tayini (Precisa XM60), yoğunluk tayini, dinamik ışık saçılımı (DLS) analizi ve taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM) yapılmıştır. Biyokarbon malzemenin yığın ve gerçek yoğunlukları belirlenmiştir. Yığın yoğunluk hacmi ve boş ağırlığı bilinen kap kullanılarak belirlenmiştir. Gerçek yoğunluk ölçümünde ise Quantachrome marka UltraFoam 1200e model Helyum piknometresi kullanılmıştır. Örneklerin parçacık boyut dağılımı lazer kırınım yöntemiyle kullanılarak Malvern Nano-Sizer ZS cihazı ile ölçülmüştür. Biyokarbon malzemenin yüzey yapısının incelenmesi taramalı elektron mikroskobu analizi ile yapılmıştır. Analiz için HITACHI marka TM3030Plus Tabletop Microscope kullanılmış olup, örnekler analiz öncesinde bant tutucular üzerine yerleştirilmiş ve vakum altında görüntüleri alınmıştır.

2.2.4 Biyokarbon malzemenin kumaşa uygulanması

Karbon malzemelerin kumaşa uygulanmasında kaplama yöntemi kullanılmıştır. Kaplama işlemi tekstil sektöründe yüzeylere kimyasal madde uygulaması işlemidir. Bu işlem, kumaşların terbiye (son işlem) ile kazandırılmayacak görünüm ve fiziksel özellikleri için yaygın olarak kullanılan, teknik tekstil ürünlerinde kumaşlara istenilen özelliklerin kazandırılması için sıklıkla tercih edilmektedir [25]. Çalışmada kullanılan 130 g/m² gramajdaki viskon kumaşlar kaplama için 7,5 x 7,5 cm ve 4 x 10 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Kaplama çözeltisi olarak 5 g/L, 10 g/L ve 20 g/L oranında biyokarbon içeren çözeltiler hazırlanmıştır. Tüm çözeltiler içerisine biyokarbon dışında 20 g/L bağlayıcı kimyasal ilave edilmiştir. Hazırlanan çözeltiler kaplama

öncesinde 15 dk ultrasonik banyoda karıştırılmıştır. Kaplama işlemi uygulanacak kumaş örnekleri aseton ile yıkanmış, kurutulmuş ve tartımı alınmıştır. Daldır – kurut işlemi ardından kaplanan kumaşların tartımı alınarak kumaşa yüklenen biyokarbon miktarı hesaplanmıştır. Biyokarbon miktarının ve etkisinin belirlenebilmesi için yalnızca bağlayıcı kimyasal kullanılarak kaplanan kumaş örnekleri de hazırlanmıştır.

2.2.5. Kumaş karakterizasyonu

Ham kumaş, sadece bağlayıcı kimyasal uygulanan kumaş ve farklı oranlarda biyokarbon uygulanan kumaşların karakterizasyonunda Termal Analiz (TGA), Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) kullanılmıştır.

TS866 standardı kapsamında Suya Batırma Metodu ve Su Damlası Metodu ile kumaşların su emme özellikleri belirlenmiştir. Suya batırma testi için 7,5 x 7,5 cm boyutlarında hazırlanan kumaşlar 5 L beher içine bir yüzeyi suya değecek şekilde bırakılmış, suya değdiği anda kronometre başlatılmıştır. Kumaş su yüzeyinden tamamen ayrıldığı anda kronometre durdurulmuş ve süre not edilmiştir. Deney her örnek için 10 kez tekrarlanmış ve ortalama suya batma süresi hesaplanmıştır. Su damlası metodu, su damlasının kumaş tarafından emilme süresinin ölçümüne dayanmaktadır. Test için 7,5 x 7,5 cm boyutlarında hazırlanan kumaş kasnak üzerine konmuştur. 1 mL suyu 15-25 damlada damlatabilen büret ile kumaş üzerine su damlatılmıştır. Kronometre su damlatıldığında başlatılmış ve su damlası tamamen kumaş tarafından tamamen emildiğinde kronometre durdurulmuştur. Deneyler her örnek için en az 5 kez tekrar edilmiş ve ortalama süreler hesaplanmıştır.

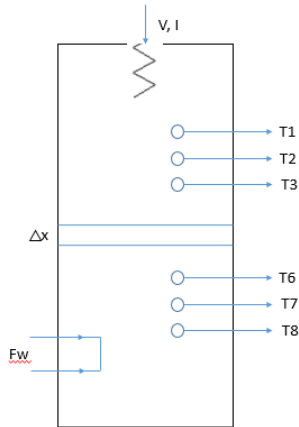
Kumaşların ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesi için Armfield HT10X Lineer ısı aktarımı deney düzeneği kullanılmıştır. Deneylerde ısıtıcının voltajı 13,6 V ayarlanmış ve akım (I) kaydedilmiştir. Ölçümü yapılacak kumaş sisteme yerleştirilmiştir. Belirli aralıklarla T₁, T₂, T₃, T₆, T₇, T₈ sıcaklıkları not edilmiştir. Okunan sıcaklık değerleri yatışkın duruma geldiğinde deney sonlandırılmıştır. Her kumaş örneği için 3 tekrarlı çalışılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde verilen Fw 1,5 L/dk olarak ayarlanan soğutma suyu akışıdır. Kumaşların ısı iletkenlik katsayısının hesaplanmasında Eşitlik 1 kullanılmıştır.

$$k = \frac{Q \cdot \Delta x}{\Delta T \cdot A} \quad (1)$$

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.

$$Q = V \cdot I \quad (2)$$

Şekil 7.3'te verilen T₁, T₂, T₃, T₆, T₇, T₈ sıcaklık değerleri farklı noktalardan okunan sıcaklık değerleri (°C)'dir.



Şekil 1. Lineer Isı Aktarımı Deney Düzenegi

$$T_{(sıcak)}=T_3 - \frac{T_2-T_3}{2} \quad (3)$$

$$T_{(soğuk)}=T_7 + \frac{T_6-T_7}{2} \quad (4)$$

$$\Delta T= T_{(sıcak)} - T_{(soğuk)} \quad (5)$$

Kumaşlara uygulanan haslık testleri Elyaf Tekstil San. Ve Tic. A.Ş Fizik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kumaşlara uygulanan yıkama haslığı testi ISO 105-C06:2012 A2@40°C standardına göre gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak kumaşların 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 en az 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Hammadde ve Biyokarbon Malzemenin Karakterizasyonu

Kül, ısıtma işlemi ile hammadde içindeki su ve organik maddelerin uzaklaştırılması sonucunda ortaya çıkan inorganik maddedir [26]. Biyokarbon üretilecek hammaddenin kalitesinin belirlenmesinde kül miktarı tayini önemli olup, biyokütlerde bulunan toplam mineral miktarını temsil etmektedir [27]. Isıl bozunma davranışını etkileyen bir diğer hammadde özelliği de uçucu madde içeriğidir [28]. Çalışmada ham madde kaynağı

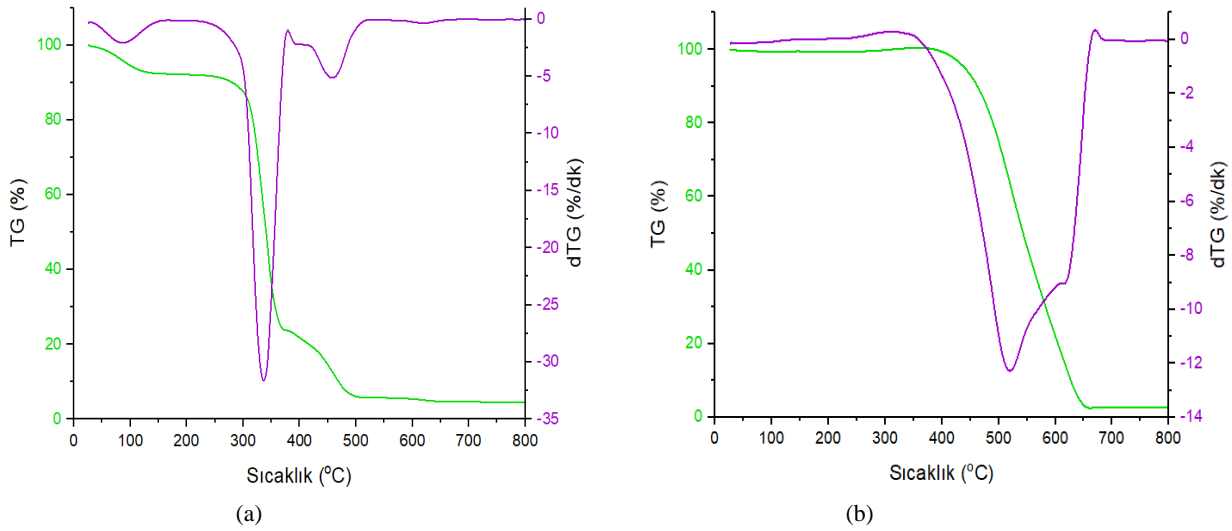
olarak kullanılan atık viskon ipliklerinin ve üretilen biyokarbon malzemenin nem miktarı, kül ve uçucu madde miktarları, yığın ve gerçek yoğunluk değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Viskon ipliğin kül içeriğinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu da viskon ipliğin iyi bir selülozik hammadde kaynağı olduğunu göstermiştir. Atık viskon ipliğin uçucu madde miktarının %95,5 olduğu görülmüştür. Bu değer yüksek H/C oranı olduğuna işaret etmektedir. Biyokarbon malzemenin ise uçucu madde içeriğinin ağırlıkça %9,2 olması karbonizasyon işlemi ile uçucu maddelerin uzaklaştırıldığını, geriye katı karbon içeren yapının kaldığını göstermektedir. Oldukça düşük yoğunluğa sahip olan malzemenin kumaşa uygulanması sonrasında kumaş ağırlığına etkisinin az olması kullanım açısından avantajlı bir durumdur.

Karbonizasyon işleminde katı ürün verimi elde edilen biyokarbon malzemenin hammaddeye oranı şeklinde hesaplanmıştır. Tekrarlı yapılan deneylere göre, viskon ipliğin 600°C sıcaklıkta karbonizasyon işlemi sonucunda katı ürün verimi ortalama %17 olarak hesaplanmıştır.

Selüloz bazlı viskon ipliğin ve biyokarbon malzemenin yanma davranışlarının incelenmesi için termogravimetrik analiz uygulanmıştır. Şekil 2.(a)’da verilen viskon ipliğin TGA sonuçlarında kütle kaybı TG ve kütle kaybının türevi dTG eğrileri gösterilmiştir. Bu eğriler incelendiğinde viskon ipliğin 280°C’de yanmaya başladığı ve ana yanma tepkimelerinin 360°C’de sonlandığı görülmüştür. Yaklaşık 490°C’de tamamlanan yanma sonrasında toplam kütle kaybı % 94,2 olarak belirlenmiştir. Selülozik yapıda olan viskon ipliğin yanma tepkimelerinin 250°C ila 350°C sıcaklık aralığında meydana geldiği bilinmektedir [29]. Buna karşın, hammaddenin karbonizasyonu sonrasında elde edilen biyokarbon malzemenin yanma davranışı oldukça farklı bir şekildedir. Şekil 2.(b)’ de verilen biyokarbon malzemenin yanma davranışları incelendiğinde viskon iplikten farklı olarak 360 °C’ye kadar kütle kaybı görülmemiştir. Yanma tepkimeleri 360°C-650°C sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Karbonizasyon işlemi ile uzaklaştırılan uçucu maddelerden geriye yüksek karbon içeriğine sahip katı ürün kalmış olması nedeniyle biyokarbon malzemenin yanmaya başladığı sıcaklığın viskon iplikten daha yüksek ve daha geniş aralıkta olduğu görülmektedir. Yanma davranışı incelenen örneklerin TGA sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Karbonizasyon sonucu elde edilen biyokarbon malzemenin kumaşa uygulanması ile kumaş yanma direncini arttırabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 1. Atık viskon iplik ve biyokarbon özellikleri

	Nem (ağırlıkça %)	Kül Miktarı (ağırlıkça %)	Uçucu Madde (ağırlıkça %)	Yığın Yoğunluk (g/cm ³)	Gerçek Yoğunluk (g/cm ³)
Viskon iplik	-	0,02	95,5	-	-
Biyokarbon	5,6	0,91	9,2	0,0924 ± 0,0215	1,5326 ± 0,0014



Şekil 2. (a) Viskon iplik ve (b) biyokarbon malzeme yanma davranışı

Tablo 2. Atık viskon iplik ve biyokarbon termogravimetrik analiz sonuçları

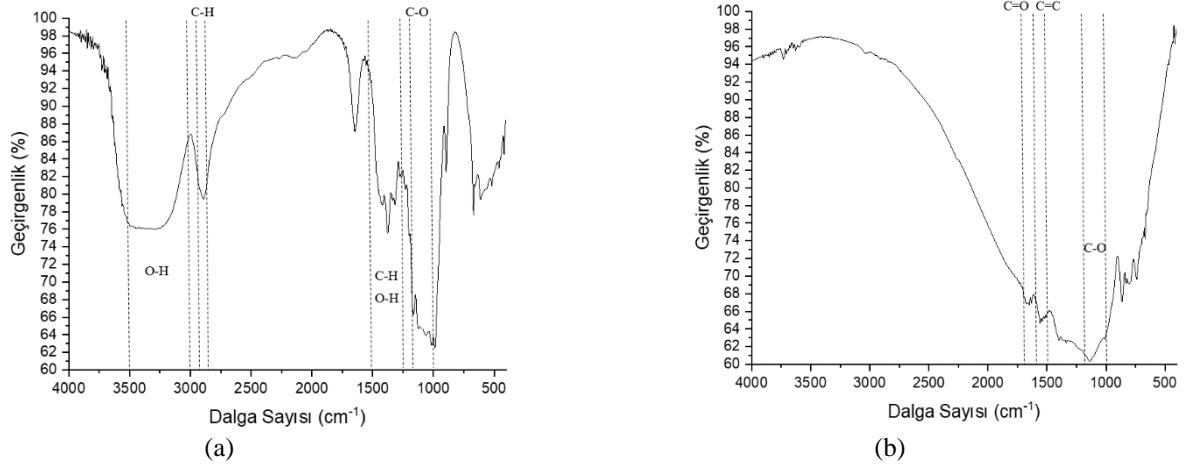
Örnek	Yanma sıcaklığı (Başlama-Bitiş)	En yüksek bozunma hızının gerçekleştiği sıcaklık	Toplam kütle kaybı (%)
Viskon İplik	280 – 360 °C	335 °C	94,2
Biyokarbon	360 – 650 °C	514 °C	97,3

Atık viskon iplik ve biyokarbon malzemenin fonksiyonel gruplarının belirlenmesinde Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) kullanılmıştır. Viskon iplik selüloz esaslı bir yapıda olduğundan FTIR spektrumunda da glikoz birimlerinin uzun polimer zincirlerine ait titreşimler gözlenmiştir (Şekil 3.a). Spektrumda 3500-3000 cm^{-1} arasında görülen geniş bandın malzemenin yapısındaki O-H gerilme titreşimine ait olduğu tespit edilmiştir. 2950–2850 cm^{-1} 'de selüloz yapısında bulunan C-H gerilim titreşimlerinden kaynaklanan kuvvetli bant görülmektedir. 1500 cm^{-1} ve 1250 cm^{-1} arasında alkan ve alkenlerin C-H eğilme titreşimleri ve O-H eğilme titreşimlerinden kaynaklanan bantlar yer almaktadır. Selüloz zincirinde yer alan ikincil alkol ve eterlerden kaynaklanan C-O gerilim titreşimleri de 1200-1000 cm^{-1} arasında gözlemlenmiştir [30, 31].

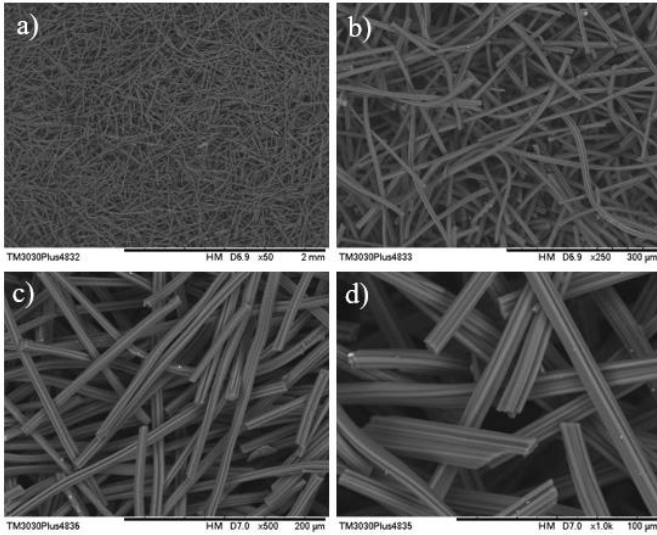
Biyokarbon malzemenin FT-IR spektrumu ise Şekil 3.b'de verilmiştir. Spektrum incelendiğinde 1700-1600 cm^{-1} arasında C=O gerilim aromatik titreşimi, 1600-1500 cm^{-1} arasında C=C gerilme, 1200 – 1000 cm^{-1} arasında ise C-O gerilme titreşimine ait absorbans bantları olduğu belirlenmiştir [30]. Viskon iplik ile biyokarbon malzemenin FT-IR spektrumları karşılaştırıldığında, biyokarbon spektrumunda 2950-2850 cm^{-1} aralığında C-H gerilme

titreşimlerinin görülmemesi karbonizasyon sürecinde viskon ipliğin yapısında bulunan hidrojen ve oksijen gruplarının uzaklaştırıldığını kanıtlamaktadır. Karbonizasyon sırasında gerçekleşen dehidrasyon, polimerleşme, halkalı yapı oluşumu gibi tepkimeler nedeniyle selüloz yapısında bulunan heterosiklik yapıların kırılarak karbon ağırlıklı ürünün kaldığı görülmektedir [32].

Biyokarbon malzemenin morfolojik yapılarının görülmesi için Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM) gerçekleştirilmiştir. Biyokarbon malzemeye ait SEM görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen karbonizasyon işlemi sonrasında reaktörden alınan biyokarbon malzemenin iplik halinde olduğu, karbonizasyon öncesine ait formunu koruduğu tespit edilmiştir. Biyokarbon malzemeye, kumaşa uygulanabilmesi için parçacık boyutu 25 μm 'nin altına indirilmek üzere, öğütme işlemi uygulanmıştır. Şekil 4 incelendiğinde biyokarbon malzemenin öğütme ve eleme işlemleri ile lif yapısının bozulmadığı görülmüştür. Buna ek olarak öğütme sonrasında homojen parçacık boyut dağılımına sahip mikro karbonlar elde edildiği de gözlenmiştir.



Şekil 3. (a) Viskon iplik ve (b) biyokarbon malzeme FT-IR spektrumları

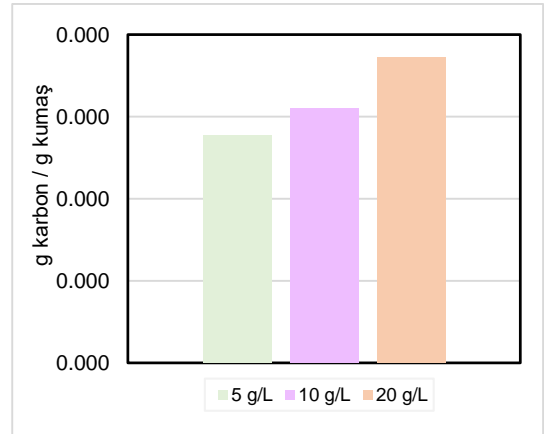


Şekil 4. Biyokarbon SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

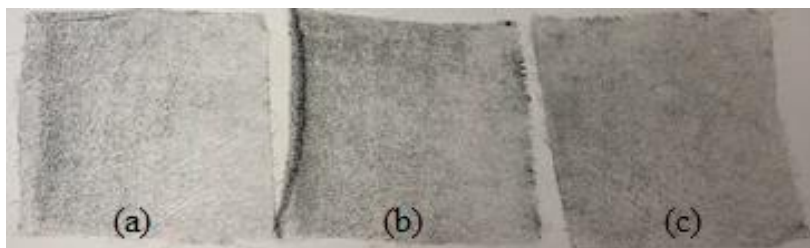
3.2. Biyokarbon malzemenin kumaşa uygulanması ve kumaş konfor özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmanın ikinci bölümünde tekstil atıklarının yine tekstil sektöründe kullanılmasıyla tam bir döngüsellik sağlanması için atık viskon ipliklerinden üretilen biyokarbon viskon kumaşa uygulanarak kumaşın konfor özelliklerine ve yanma direncine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, biyokarbon malzemenin kumaşa uygulanması için kaplama yöntemlerinden olan daldır-kurut

teknigi 3 farklı derişimde hazırlanan biyokarbon kullanılarak uygulanmıştır. Kumaşlara kaplanan karbon miktarlarının belirlenmesi için kaplama öncesi ve sonrası kumaşlar tartılmış ve 1 g kumaş başına düşen karbon miktarı hesaplanarak Şekil 5'te verilmiştir. Biyokarbon derişiminin artmasıyla birlikte kumaş yüzeyinde tutunan karbon miktarının arttığı görülmektedir. Ancak, derişimin 5 g/L'den 20 g/L'ye artılması ile biyokarbon miktarının 4 katına çıkmadığı, 0,028 g/g'dan 0,037 g/g'a yükseldiği belirlenmiştir. Bunun nedeni viskon kumaş yüzeyinde biyokarbon malzemenin homojen bir şekilde dağılmaması olarak açıklanabilir (Şekil 6).



Şekil 5. Daldır-kurut işleminin ardından viskon kumaş yüzeyinde tutunan biyokarbon miktarları



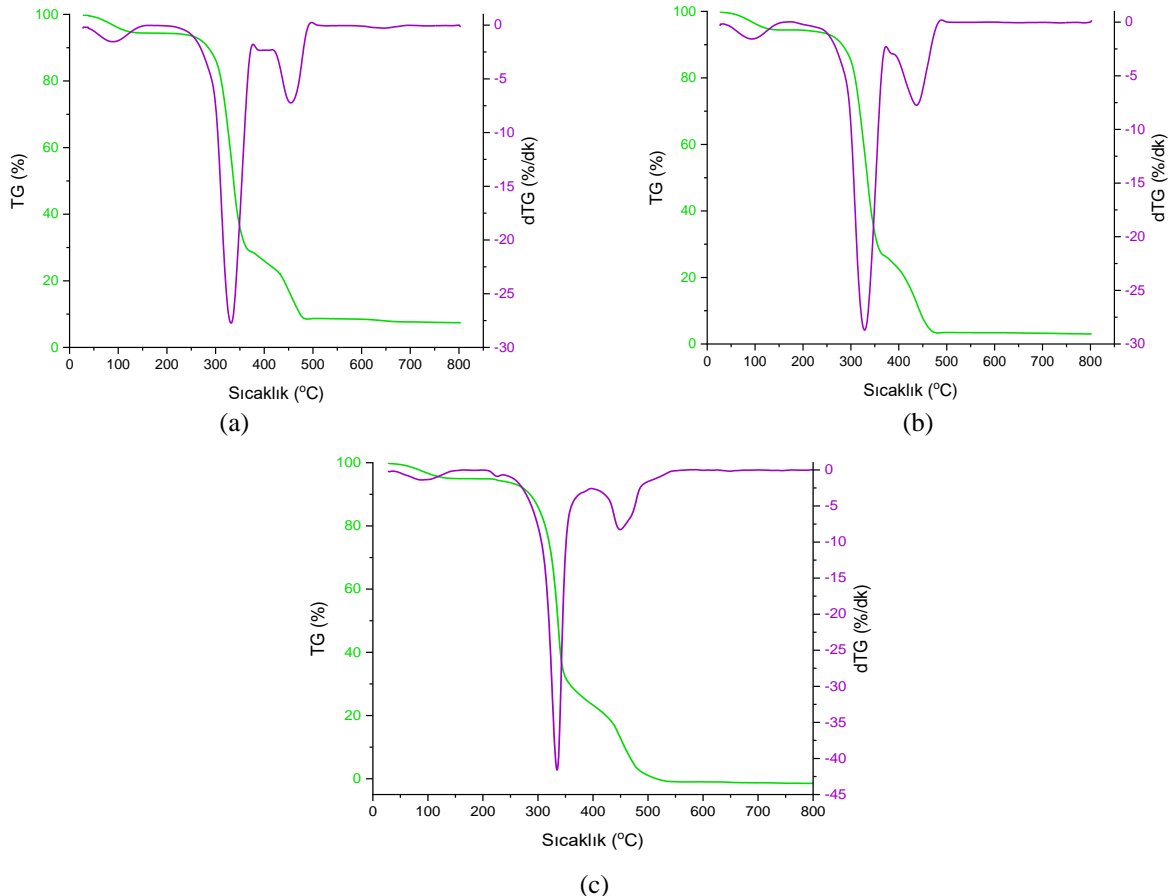
Şekil 6. Biyokarbon kaplanan viskon kumaşların görüntüleri ((a) 5g/L, (b) 10 g/L, (c) 20 g/L biyokarbon çözeltisi)

Kumaşlara kaplanan biyokarbon malzemenin kumaş özellikleri üzerindeki etkilerinin görülmesi için ham viskon kumaş, sadece bağlayıcı kimyasal uygulanan kumaş ve bağlayıcı kimyasal ile birlikte 20g/L derişiminde biyokarbon uygulanan kumaş örneklerinin karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir.

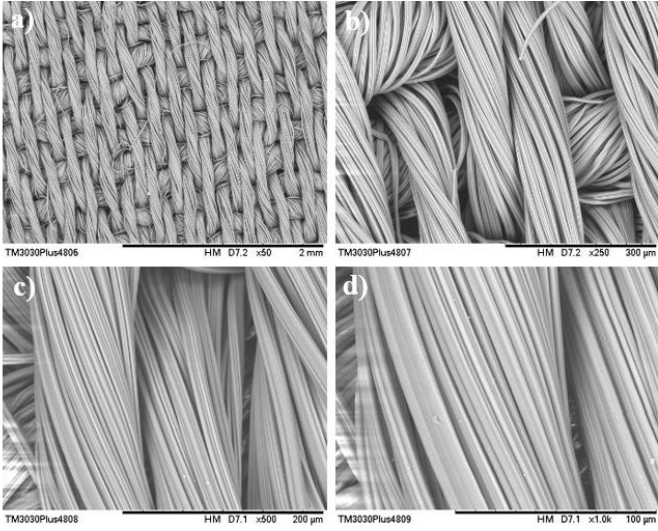
Biyokarbon kaplamanın kumaş yanma davranışına etkisinin incelenmesi için hava ortamında termogravimetrik analizi gerçekleştirilmiştir. Kumaş yanma direncinin artırılması, kumaşın kullanım alanlarını genişletmektedir. [23]. Kütle kaybı eğrileri Şekil 7’de verilmiştir. Ham viskon kumaşın yanma davranışları incelendiğinde, beklendiği gibi viskon iplikle benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yanmanın 300-350°C dereceleri arasında gerçekleştiği ve en yüksek yanma hızının 331°C’de olduğu görülmüştür (Şekil 7.a). Bağlayıcı kimyasal uygulanan kumaşın en yüksek yanma hızının olduğu sıcaklığın Şekil 7.b’de görüldüğü gibi 328 °C olarak öne çekildiği görülmüştür. Kimyasal bağlayıcının oksijenli grupları nedeniyle yanma tepkimeleri daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Buna karşın, kimyasal bağlayıcı ile birlikte uygulanan biyokarbon malzeme ile kaplanan kumaşta en yüksek bozunma hızının görüldüğü sıcaklık 335°C olarak belirlenmiştir. Bu da, oldukça az miktarda olan biyokarbon kaplamanın viskon kumaş yanma tepkimelerini ötelediğini göstermektedir (Şekil 7.c). Ayrıca, termogramlarda kütle kaybı eğrilerinin 450-550 °C arasındaki davranışları incelendiğinde, ham kumaş ve kimyasal kaplanan kumaşlarda yanma tepkimelerinin yaklaşık 480 °C’de sonlandığı gözlenirken, biyokarbon kaplanan

kumaş örneğinde bu sıcaklığın 500 °C’nin üzerine çıktığı ve kütle kaybının yaklaşık 550 °C’den sonra sabitlendiği görülmüştür. Bu nedenle, biyokarbon kaplamanın viskon kumaşlarda yanma öteleyici etkisinin olduğu belirlenmiştir.

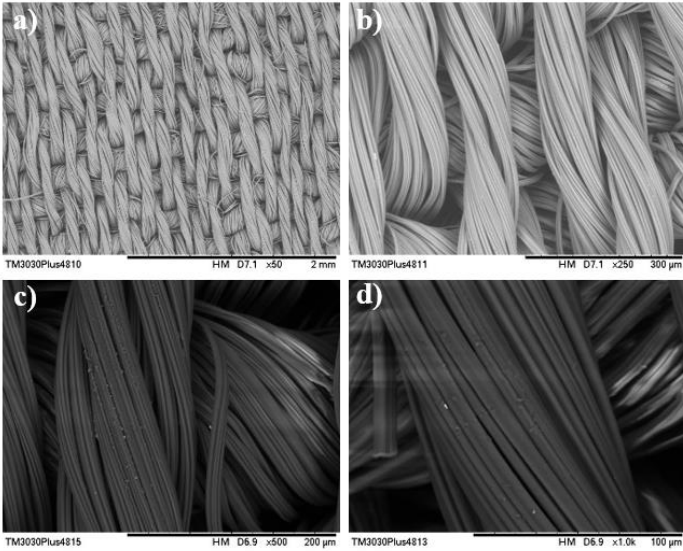
TGA analizlerinin ardından karbon kaplama sonrası yüzey görüntülerinin incelenmesi için örneklerin SEM analizi gerçekleştirilmiştir. Tüm kumaşların SEM görüntüleri biyokarbon malzemede olduğu gibi 50, 250, 500 ve 1000 büyütmelemlerde alınmıştır. Ham viskon kumaş, bağlayıcı kimyasal uygulanan kumaş ve 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş örneklerinin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 8, 9 ve 10’da verilmiştir. Viskon kumaşın SEM görüntüleri ve bağlayıcı kimyasal uygulanmış kumaşın SEM görüntüleri incelendiğinde bağlayıcı kimyasalın kumaş yüzeyinde bir değişiklik yapmadığı, kumaş genel yapısının değişmediği görülmektedir. Buna karşın, Şekil 10’da verilen 20 g/L biyokarbon malzeme uygulanan viskon kumaş incelendiğinde kumaş yüzeyinde lif yapısını koruyan biyokarbon taneciklerin olduğu görülmektedir. Biyokarbon parçacıklar yüzeyde homojen olmayan bir dağılıma sahiptirler. Kumaş atkı ve örgüsünün iç kısımlarına kadar tutunan biyokarbon tanecikler, bazı bölgelerde yoğunlaşırken (üst üste gelerek yeni katmanlar oluştururken), bazı bölgelerde ise daha seyrek bir dağılım göstermiştir. Şekil 6’da verilen beyaz kumaş üzerine siyah renkli biyokarbon kaplanan kumaş örneklerinde de gözle görülebilen bu durum SEM ile kanıtlanmıştır.



Şekil 7. Kumaş örneklerinin yanma davranışları: (a) Ham viskon kumaş, (b) Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş ve (c) 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş



Şekil 8. Viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

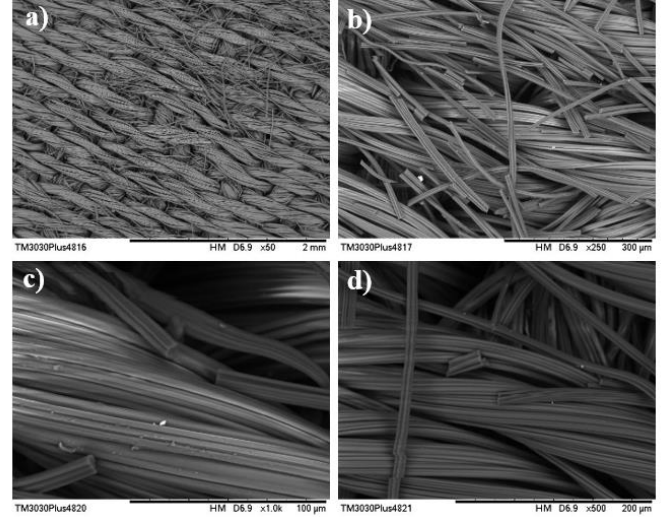


Şekil 9. Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

Kumaşların fonksiyonel gruplarının belirlenmesi için gerçekleştirilen FT-IR analizleri sonuçları Şekil 11'de verilmiştir. Spektrumlar incelendiğinde birbirleri ile benzer olduğu görülmektedir. Viskon kumaş da selülozik yapıya sahip olduğu için atık viskon iplikte olduğu gibi glikoz zincirlerine ait C-H ($3000-2800\text{ cm}^{-1}$), O-H ($3500-3000\text{ cm}^{-1}$) ve C-O ($1180-850\text{ cm}^{-1}$) titreşim banları viskon kumaş spektrumunda da yer almaktadır (Şekil 11.a). $3500-3000\text{ cm}^{-1}$ arasında gözlenen O-H gerilme titreşimlerine ait bandın kimyasal bağlayıcı eklenmesiyle birlikte daha yaygın bir şekil aldığı görülmektedir (Şekil 11.b ve 11.c) [30, 33].

Biyokarbon uygulanan kumaşların konfor özelliklerinin incelenmesinde suya batma, su damlası ve ısı iletkenlik katsayısı testleri gerçekleştirilmiştir. Selülozik kaynaklardan karbonizasyon sonucu elde edilen karbon malzemelerin hidrofobik karaktere sahip

olduğu bilindiğinden, ham viskon kumaşa göre biyokarbon kaplanan kumaşın suya batma süresinde artış olması beklenmektedir [34]. Tablo 3'te kumaşlara uygulanan suya batma test sonuçlarına göre biyokarbon kaplanan kumaşların daha hidrofobik olduğu belirlenmiştir. Viskon kumaş suya bırakılmasından 9.2 sn sonra batarken, 20g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaşın 29,3 sn sonra battığı tespit edilmiştir.

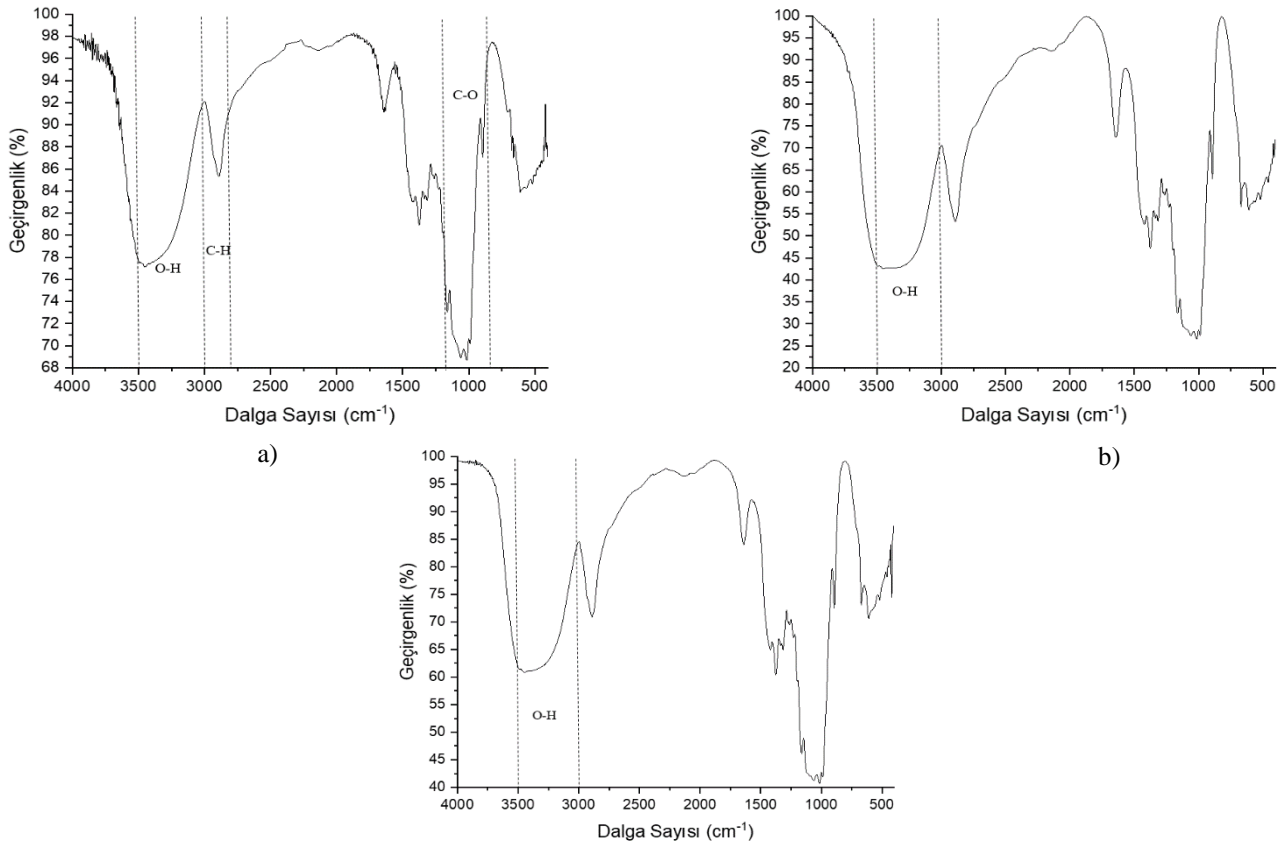


Şekil 10. 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş SEM görüntüleri a)50x b)250x c)500x d)1000x

Konfor özelliklerinin incelenmesi için uygulanan diğer bir test su damlası testidir. Bu test ile biyokarbon uygulanan kumaşın damlatılan suyu emme süresi ölçülmüştür. Tablo 3'te su damlası testi sonuçları görülmektedir. Su damlasının kaybolma sürelerine bakıldığında biyokarbon uygulanan kumaşta bu sürenin ham viskon kumaşa göre yaklaşık 4 kat arttığı anlaşılmaktadır. Bu da viskon kumaşın kaplama ile hidrofobik özellik kazanması olarak açıklanmaktadır.

Isıl iletkenlik katsayısı kumaşların termal konforu için oldukça önemli bir parametredir. Kumaşların ısıl iletkenlik katsayılarının düşük olması kullanıcıların sıcaklık değişiminden daha az etkilenmelerine neden olmaktadır. Tablo 4'te hem viskon kumaşın hem de 20 g/L biyokarbon uygulanan kumaşın ısıl iletkenlik katsayısı sonuçları verilmiştir. Viskon kumaşa uygulanan bağlayıcı kimyasalın ısı iletkenliği değiştirmediği, atık viskon iplikten elde edilen biyokarbon malzemenin viskon kumaşın ısıl iletkenlik katsayısını azalttığı gözlemlenmiştir.

Biyokarbon uygulanan kumaşların uzun süreli kullanımlarının test edilmesi için termal konfor özelliklerinin yanı sıra kaplanan kumaşlara yıkama haslığı testi uygulanmıştır. Yıkama haslığı sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. Renk değişimleri incelendiğinde biyokarbon malzemenin yıkama sonrası kumaş yüzeyinde tutunmadığı fakat renk kirletme test sonuçları incelendiğinde, biyokarbonun yıkama sırasında diğer lifleri kirletmediği gözlemlenmiştir.



Şekil 11. FT-IR spektrumları (a) Viskon kumaş, (b) Bağlayıcı kimyasal uygulanan viskon kumaş ve (c) 20 g/L biyokarbon uygulanan viskon kumaş

Tablo 3. Kumaşlara uygulanan suya batırma ve su damlası test sonuçları

Örnek	Suya batma süresi (sn.)	Su damlasının kaybolma süresi (sn.)
Viskon kumaş	9,2±1,5	0,94±0,2
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 5 g/L Biyokarbon	27,0±11,7	2,4±0,21
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 10 g/L Biyokarbon	27,1±18,2	2,8±0,35
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Biyokarbon	29,3±17,6	3,6±0,3

Tablo 4. Kumaşlara uygulanan ısı iletkenlik katsayısı analiz sonuçları

Örnek	k (mW/m°C)
Viskon kumaş	25,3
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal	25,1
Viskon kumaş + bağlayıcı kimyasal + 20 g/L Biyokarbon	24,2

Tablo 5. Kumaşlara uygulanan yıkama haslığı testi sonuçları

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

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında viskon iplik atığı biyokarbon malzeme üretimi için hammadde olarak kullanılmıştır. Viskon ipliğe 600°C'de, inert ortamda uygulanan karbonizasyon işlemi sonrası %17 oranında katı ürün elde edilmiştir. Biyokarbon malzemenin hem döngüsel ekonomi kavramında olduğu gibi tekrar üretim döngüsüne katılması, hem de kumaşın konfor özelliklerine etkisinin görülmesi için 25 µm'den küçük parçacık boyutuna öğütülen malzeme kumaşa uygulanmıştır. Çalışma kapsamında daldır – kurut yöntemi ile viskon kumaşa kaplama yapılmıştır. Endüstriyel olarak daha uygulanabilir olması nedeniyle daldır-kurut işlemi bir kez uygulanmış olup çok tekrardan kaçınılmıştır. Biyokarbon malzemenin SEM analiz sonuçlarında görüldüğü gibi lifli bir yapıya sahip olması uygulama için hazırlanan çözeltinin homojen olmamasına ve viskon kumaş üzerine kumaş ağırlığının %3,5 oranında biyokarbon malzeme uygulanabilmesine neden olmuştur.

Biyokarbon uygulanan kumaş örneklerinin yanma dirençleri incelendiğinde, en yüksek bozunma hızının görüldüğü sıcaklığın biyokarbon uygulanan kumaşta viskon kumaşa göre 4°C ötelendiği belirlenmiştir.

Kumaşların konfor özellikleri için ısı iletkenlik ve hidrofilite önemli özelliklerdir. Hidrofilitenin test edilmesi için suya batma ve su damlama testleri uygulanmıştır. Biyokarbon uygulanan kumaşların işlem görmemiş viskon kumaşlara göre daha hidrofobik olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen diğer bir konfor testi olan ısı iletkenlik katsayısı testinde viskon kumaşın ısı iletkenlik katsayısı 25,3 mW/m°C olarak ölçülmüştür. Biyokarbon uygulamasıyla bu değer 24,2 mW/m°C değerine düşmüştür. Böylece kumaşlara uygulanan biyokarbon malzeme ile kullanıcıların ısı değişimlerinden daha az etkileneceği kumaşlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak, tekstil sektöründe çıkan atık viskon ipliklerin karbonizasyonu ile yine tekstil sektöründe kumaşın konfor özelliklerini geliştirmek için kullanılacak biyokarbon malzemelerin elde edilebileceği görülmüştür. Kaplanan kumaşlar görsel açıdan değerlendirildiğinde karbon malzemenin rengi önemli ölçüde etkilediğinden tekstil sektöründe moda alanı dışında teknik tekstil üretimlerine daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Tekstil atıklarının termokimyasal yöntemleri ile katma değerli ürünlere dönüştürülmesi artan atık bertarafına çözüm olabilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Lu, J. J., Hamouda, H., (2014), *Current Status of Fiber Waste Recycling and its Future*, Advanced Materials Research, 878, 122–131.
- Pensupa, N., (2020), *Recycling of End-of-Life Clothes*, Sustainable Technologies for Fashion and Textiles, 251–309.
- Üçgül, İ., Elibüyük, U., (n.d.), *Tekstil Atıklarının Piroliz ile Değerlendirilmesi*.
- Hanoğlu, A., Çay, A., Yanık, J., (2019), *Production of Biochars from Textile Fibres Through Torrefaction and Their Characterisation*, Energy, 166, 664–673.
- Lee, H. S., Jung, S., Lin, K. Y. A., Kwon, E. E., Lee, J. (2023), *Upcycling textile waste using pyrolysis process*. In Science of the Total Environment, 859.
- Athanasopoulos, P., Zabaniotou, A., (2022), *Post-Consumer Textile Thermochemical Recycling to Fuels And Biocarbon: A Critical Review*, Science of The Total Environment, 834, 155387
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Damayanti, D., Wulandari, L. A., Bagaskoro, A., Rianjanu, A., Wu H. S. (2021), *Possibility routes for textile recycling technology*, Polymers, 13, 3834.
- 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.
- Wanassi, B., Hariz, I.B., Ghimbeu, C.M., Vaulot, 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.
- Yousef, S., Kalpokaitė-Dičkuvienė, R., Baltušnikas, A., Pitak, I., Lukošiušis, S. I., (2021), *A new strategy for functionalization of char derived from pyrolysis of textile waste and its application as hybrid fillers (CNTs/char and graphene/char) in cement industry*, J. Clean. Prod., 128058.
- Jagdale, P., Nair, J. R., Khan, A., Armandi, M., Meligrana, G., Hernandez, F. R., Rusakova, I., Piatti, E., Rovere, M., Alberto, T., Winter, M., Gerbaldi, C., (2021), *Waste to life: Low-cost, self-standing, 2D carbon fiber green Li-ion battery anode made from end-of-life cotton textile*, Electrochimica Acta, 368.
- Öner, E., Okur, A., (2017), *Materyal, Üretim Teknolojisi ve Kumaş Yapısının Termal Konfora Etkileri*, Tekstil ve Mühendis, 17(80), 20-29.
- Siddiqui, M. O. R., Sun, D., (2017), *Thermal analysis of Conventional and Performance Plainwoven Fabrics by Finite Element Method*, J. Ind.Textil, 48, 685–712.
- Ala, D. M., (2017), *Pamuklu Dokuma Kumaşlarda Islanma Ve Kuruma Özelliklerinin İncelenmesi*, Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi, Adana, 217-221.

19. Gaustad, G., Krystofik, M., Bustamante, M., Badami, K., (2018), *Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues*. Resour. Conserv. Recycl. 135, 24e33.
20. Candido, R.G. (2021), *Recycling of textiles and its economic aspects*. Fundamentals of Natural Fibres and Textiles, 599–624.
21. 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.
22. Barbalini, M., Bartoli, M., Tagliaferro, A., Malucelli, G., (2020), *Phytic Acid and Biochar: An Effective All Bio-Sourced Flame Retardant Formulation for Cotton Fabrics*, Polymers, 12(4), 811.
23. Cheng, X., Shi, L., Fan, Z., Yu, Y., Liu, R., (2022), *Bio-based coating of phytic acid, chitosan, and biochar for flame-retardant cotton fabrics*, Polymer Degradation and Stability, 199.
24. Ulusal, A., Apaydın Varol, E., Bruckman, V. J., Uzun, B. B., (2020), *Opportunity for sustainable biomass valorization to produce biochar for improving soil characteristics*, Biomass Conversion and Biorefinery, 11, 1041–1051.
25. Bulut, Y. ve Sülar, V., (2015), *Kaplama ve Laminasyon Teknikleri İle Üretilen Kumaşların Genel Özellikleri ve Performans Testleri*, Tekstil ve Mühendis, 15, 70- 71.
26. Perring, L., Tschopp, A., (2019), *Determination of Ash Content of Milk-Based Powders by Energy Dispersive X-ray Fluorescence*, Microchemical Journal, 145, 162–167.
27. 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.
28. García, R., Pizarro, C., Lavin, A. G., Bueno, J. L., (2014), *Spanish Biofuels Heating Value Estimation. Part II: Proximate Analysis Data*, Fuel, 117(PARTB), 1139–1147.
29. 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.
30. 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.
31. Abderrahim, B., Abderrahim, E., Mohamed A., Fatima, T., Abdesselam, T., Krim, O., (2015), *Kinetic Thermal Degradation of Cellulose, Polybutylene Succinate and a Green Composite: Comparative Study*, World Journal of Environmental Engineering, 3(4), 95-110.
32. Pehlivan, E. (2017), *Meyve suyu endüstrisi katı atığından üretilen aktif karbonun sulu çözeltilerden reaktif kırmızı (procion red MX-5B) adsorpsiyonu için kullanımı*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(7), 912-918.
33. 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.
34. Li, D. C., Xu, W. F., Cheng, H. Y., Xi, K. F., Xu, B. D., Jiang, H., (2020), *One-Step Thermochemical Conversion of Biomass Waste into Superhydrophobic Carbon Material by Catalytic Pyrolysis*, Global Challenges, 4, 1900085.