



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.11.2024
Kabul Tarihi : 24.01.2025

Received Date : 29.11.2024
Accepted Date : 24.01.2025

FARKLI İŞLEM KOŞULLARINDA AĞARTILAN KENEVİR KUMAŞIN BEYAZLIK DERESESİNİN TAHMİNLENMESİ

PREDICTION OF THE WHITENESS DEGREE OF HEMP FABRIC BLEACHED UNDER DIFFERENT CONDITIONS

Gamze GÜLŞEN BAKICI^{1*} (ORCID: 0000-0002-4241-7096)

¹ Çukurova Üniversitesi, Tekstil Teknolojisi, Adana, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Gamze GÜLŞEN BAKICI, gamzegulsenbakici@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, Nm 25 inceliğinde ham kenevir iplik kullanılarak 14 gauge düz örgü makinesinde 1x1 rib ham kumaş üretilmiş ve bu kumaşlara hidrofilleştirme işlemi uygulanmıştır. Hidrofilleştirilen numuneler, 100°C, 110°C ve 120°C sıcaklıklarında, 10, 11, 12 ve 13 pH değerlerinde ve 2, 4, 6, 8, 10, 12 g/L ağartıcı konsantrasyonlarında ağartılmıştır. Numunelerin beyazlık seviyeleri Berger Beyazlık İndeksi ile ölçülmüştür. Sıcaklık arttıkça beyazlık derecelerinde beklenen artış gözlemlenmiş, sabit sıcaklıkta ise pH ve ağartıcı konsantrasyonundaki artışla beyazlık derecelerinde genel bir artış eğilimi görülmüş, ancak küçük sapmalar tespit edilmiştir. Ağartma işlemlerinde kullanılan sıcaklık, pH ve konsantrasyon değişkenleri bağımsız, beyazlık dereceleri ise bağımlı değişken olarak ele alınarak çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Analiz, bu değişkenlerin beyazlık derecesi üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ($p<0.05$) ve modelin belirleme katsayısı (R^2) değerinin, bağımsız değişkenlerin beyazlık derecesindeki varyansı %82 oranında açıkladığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Kenevir, sürdürülebilir, ağartma, beyazlık, regresyon

ABSTRACT

In this study, Nm 25 hemp yarn was used to produce 1x1 rib knitted fabric on a 14 gauge flat knitting machine, and the fabric was subjected to a hydrophilization process. The hydrophilized samples were bleached at temperatures of 100°C, 110°C, and 120°C, with pH values of 10, 11, 12, and 13, and hydrogen peroxide concentrations of 2, 4, 6, 8, 10, and 12 g/L. Whiteness levels of the samples were measured using the Berger Whiteness Index. As the temperature increased, the whiteness levels showed the expected increase. At a constant temperature, an overall increasing trend in whiteness levels was observed with increasing pH and hydrogen peroxide concentration, although small deviations were detected. The temperature, pH, and concentration variables used in the bleaching process were considered as independent variables, while the whiteness levels were taken as the dependent variable, and multiple linear regression analysis was applied. The analysis revealed that the effects of these variables on whiteness were statistically significant ($p<0.05$), and the coefficient of determination (R^2) of the model explained 82% of the variance in whiteness levels.

Keywords: Hemp, sustainable, bleaching, whiteness, regression

GİRİŞ

Artan çevresel ve sağlık kaygıları, araştırmacıları çevre dostu ve sürdürülebilir kaynaklar aramaya yöneltmiştir. Bitkiler, böcekler ve hayvanlardan elde edilen doğal malzemeler, yenilenebilir ve düşük çevresel etki ile biyo-kaynaklar olarak öne çıkmaktadır. Bu malzemeler, çevresel etkileri azaltarak ekolojik dengeyi koruma potansiyeli taşır ve gıda, kozmetik ve tekstil uygulamalarında önemli rol oynar (Inprasit vd., 2020). Tarihsel olarak pamuk, oldukça sürdürülebilir bir malzeme olarak görülmüştür; ancak ayrıntılı araştırmalar bunun aksini ortaya koymaktadır. ToCite: GÜLŞEN BAKICI, G., (2025). FARKLI İŞLEM KOŞULLARINDA AĞARTILAN KENEVİR KUMAŞIN BEYAZLIK DERESESİNİN TAHMİNLENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(1), 505-512.

Artan kirlilik seviyeleri ve iklim değişikliğiyle mücadele ihtiyacı, sürdürülebilir alternatiflerin küresel çapta aranmasına yol açmıştır (Tripa vd., 2023). Kenevir (*Cannabis Sativa*), tarihsel olarak önemli bir ticari ürün olmuş ve günümüzde endüstriyel bir mahsul olarak yeniden önem kazanmıştır. Kenevir, pamuktan daha az su tüketir ve herbisit ya da pestisit gerektirmez. Pamuk ton başına 4,2 ton karbon ayak izi bırakırken, kenevirin ayak izi sadece 1,9 tondur (Ertek Avcı ve Demiryürek, 2022). Kenevir, dayanıklılığı, hızlı büyüme kapasitesi, zararlılara ve hastalıklara karşı direnci, düşük pestisit gereksinimi, doğada hızla çözünme özelliği, düşük su tüketimi özelliği ile sürdürülebilir çevre için değerli bir malzemedir ve bu durum kenevirin gelecekteki potansiyelini daha da artırmaktadır (Kurtuldu ve İşmal, 2019; Ling vd., 2023).

Kenevir lifi, antistatik, antibakteriyel özellikleri, mükemmel nem emilimi, yüksek mukavemeti, nefes alabilirliği, UV direnci, küf direnci ve desorpsiyon hızı (pamuktan üç kat daha hızlı) gibi birçok üstün doğal özelliği nedeniyle, geleceğin en umut verici selüloz lifi olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, kenevir kumaşları pamuklu kumaşlardan daha güçlü ve daha dayanıklıdır ve kolayca bozulmaz (Ling vd., 2023; Guo vd., 2019; Ertek Avcı ve Demiryürek, 2022; Zhang vd., 2023; Göre ve Kurt, 2021; Stankovic vd., 2017). Bu özellikler, kenevirin çeşitli endüstriyel uygulamalarda, özellikle tekstil ve sağlık sektörlerinde, sürdürülebilir ve verimli bir malzeme olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Yayla, 2024; Alonso-Montemayor vd., 2020). Kenevir lifi %57,01 selüloz, %17,84 hemiselüloz, %7,32 lignin, %5,80 pektin, %1,96 ester mumu ve %10,09 suda çözünen maddelerden oluşmakta olup eser miktarda kül içermektedir (Srisuk vd., 2024).

Kenevir bitkisinin hasadı sonrasında saplardan liflerin ayrılması işlemi keten lif eldesi yöntemleriyle benzerlik göstermektedir. Saplardan liflerin ayrılması işlemi için mekanik ayırma, çiğde bekletme, havuzlama, kimyasal işlem ve enzim uygulama gibi yöntemler mevcuttur. Burada yapılan işlem, saplardaki odunsu bölümlerin uzaklaştırılması ile liflerin ortaya çıkarılmasıdır (Kaya ve Öner, 2020). Kenevir kumaş terbiyesinin ilk aşaması, hafif alkali bir çözelti kullanılarak yapılan kaynatmadır. Bu işlem, kirleri temizlemenin yanı sıra liflerde bulunan doğal mumsu, proteinleri ve pektinleri de giderir (Sponner vd., 2005). Kenevir, keten ve rami gibi sak liflerinin renk özellikleri, ham halleriyle tekstil uygulamaları için genellikle uygun değildir. Bu liflerdeki selüloz dışı bileşenler nedeniyle renklerin iyileştirilmesi için kimyasal işlemler gereklidir. Sak lifleri, yüksek kristalin yapıları sayesinde pamuğa göre kimyasal etkilere daha dirençlidir. Bu doğal renk vericilerin yanı sıra, tekstil ürünleri işleme ve depolama sırasında dış faktörlerle kirlenebilir. Ağartma işleminin amacı, sadece bu renk vericileri uzaklaştırmak değil, aynı zamanda bileşenleri parçalamaktır (Gedik ve Avinc, 2018).

Kök boya, kestane, soğan, andız otu ve bakkam bitkilerinden elde edilmiş boyama ekstraktlarıyla boyanmış kenevir kumaşın UV koruma özellikleri (Grifoni vd., 2020), hem doğal hem de kimyasal mordantların boyama üzerindeki etkileri ve *Sambucus Ebulus L.* bitkisinden elde edilen doğal boyanın kenevir kumaşın boyanmasındaki kullanımı (Özomay ve Akalın, 2022) araştırılmıştır. Atav vd 2024, çalışmalarında %100 kenevir iplikleri kullanarak ürettikleri örme kenevir kumaşlara hidrojen peroksit ağartması uygulamışlardır. Ağartma sonrası reaktif boyanan kumaşların renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mecir (2024), çalışmasında %100 kenevir kumaşlara uygulanan ozonlama, ultrason destekli ozonlama ve UV ağartma yöntemlerini incelemiştir. Ozonlama, kimyasal gerektirmemesi ve düşük mukavemet kaybıyla çevreci bulunurken, Ozon+US yöntemi daha yüksek beyazlık sağlamıştır. Kenevirin ağartılması konusundaki literatür çalışmaları ise aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Sonmez vd.,(2023) yaptıkları çalışmada kenevir liflerini, sülfürik asit ve sodyum hidroksit karışımı ile farklı koşullarda modifiye etmişlerdir. Modifiye edilip ağartılan kenevir lifinin beyazlık indeksi, modifiye edilmeden ağartılan ham kenevir lifine göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, modifiye edilip ağartılan kenevir lifin reaktif boyalarla boyama sonrası renk haslık değerleri ise ağartılmış ham kenevir lifine göre üstün bulunmuştur.

Gedik vd. (2023), yaptıkları çalışmanın amacı, kenevir liflerinin havuzlama sıvısında ozon işlemiyle ağartılması sırasında mikroorganizmaları ortadan kaldırarak havuzlama atık sularındaki biyolojik yükü azaltmaktır. Kenevir sapsı havuzlama sıvısında bekletilirken farklı konsantrasyonlarda ve sürelerde ozon gazıyla işlem yapılmıştır. Kenevir liflerinin beyazlık derecesi, havuzlanmış numunelere kıyasla ozon uygulamasıyla %72'ye kadar artmıştır.

Yılmaz Şahinbaşkan (2019), kenevir dokuma kumaşının enzimlerle ön işlem olanakları araştırmıştır. NaOH, H₂O₂ ve α -amilaz, pektinaz, lakkaz enzimleri kullanılarak üç farklı yöntemle ön terbiye işlemi gerçekleştirmiştir. Uygulamalar içerisinde en düşük sarılık değeri NaOH ile hidrofilleştirilip H₂O₂ ile ağartılan kumaşa 33,10 olarak bulunmuştur.

Gedik (2012), kenevir liflerinin optimum ağartma koşullarının belirlenmesi amacıyla % 100 kenevir lifinden üretilmiş dokuma kumaşa yükseltgen (hidrojen peroksit, perasetik asit, potasyum permanganat, sodyum perborat, sodyum perkarbonat) ve indirgen (thioüre dioksit, sodyum borohidrit, glikoz) ağartma ajanları uygulamış ve en yüksek beyazlık derecesini hidrojen peroksit ile yapılan ağartmada elde etmiştir.

Zhang ve He (2013), kenevir kumaşları, bir banyoda haşıl sökme ve kaynatma işlemlerine tabi tutmuşlardır (NaOH-25 g/L, Na₃PO₄-3 g/L, Na₂SO₃-2 g/L). Daha sonra kumaşlar, hidrojen peroksit ile ağartılmıştır (Na₂SiO₃-1.5 g/L, Na₂CO₃-0.5 g/L, NaOH-1 g/L, H₂O₂ (%30)-5 g/L, banyo oranı 20:1, 95°C, 1 saat). Kenevir kumaşlar, Na₂HPO₄ (5 g/L) ve sitrik asit (6 g/L) içeren tampon çözelti ile muamele edilmiştir. Banyo oranı 1:20 olacak şekilde pH 4-6 aralığında, 40-60 dakika ve 40-60°C sıcaklık aralığında işlem uygulanmıştır. Lakkaz konsantrasyonu 20-30 mL/300 mL olarak ayarlanmıştır. Kenevir kumaş üzerinde lakkaz işlemi için en uygun koşullar; 50°C, pH 4, 25 mL/300 mL lakkaz konsantrasyonu ve 50 dakika işlem süresi olarak bulunmuştur. En iyi koşullar altında kenevir kumaşın beyazlık değeri GB/T 9338-2008 standardına göre SBDY-1 beyazlık cihazı kullanılarak 60.7 olarak ölçülmüştür.

Kushwaha vd. (2024) yaptıkları çalışmada, kenevir kumaşın fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Haşıl sökme işlemi için sodyum hidroksit, ağartma işlemi için hidrojen peroksit kullanmışlardır. Haşıl sökme sonrasında beyazlık indeksinde belirgin bir artış olmuştur. Öte yandan, ağartma işlemi sonrasında beyazlık indeksinde önemli bir artış gözlenmiş, ancak hidrojen peroksitin asidik yapısı nedeniyle kumaşın yüzeyinin zayıflayıp bozulması sonucu çekme mukavemeti ve kalınlık azalmıştır. Beyazlık indeksi (CIE) ham kumaşta 49,24, haşılı sökülmüş kumaşta 61,94 ve haşıl sökme sonrası ağartılmış kumaşta 76,76 olarak bulunmuştur.

Qu vd. (2005) kenevir liflerini, alkali-H₂O₂ bir banyoda kaynatmış ve ağartmışlardır. Kenevirde bulunan hemiselüloz, pektin ve lignin gibi çeşitli bileşenlerin asit, alkali ve hidrojen peroksit karşı fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Kenevir lifi için en uygun koşullar; NaOH 10.5 g/L, H₂O₂ 9.8 g/L, %0.1 MgSO₄ (H₂O₂ stabilizatörü olarak) 2.7 g/L, 127 dakika işlem süresi ve 100°C sıcaklık olarak bulunmuştur. Bu koşullar altında, en düşük lignin içeriği, artık zambak içeriği ve kenevir lifinin en iyi mukavemet ve beyazlık özellikleri arasında bir denge sağlanmaktadır.

Merdan (2017) çalışmasında, kenevir liflerini farklı konsantrasyonlarda (%1, %2 ve %3) lakkaz enzimi ile farklı sürelerde muamele etmiştir. İşlem, geleneksel yöntem, ultrasonik enerji yöntemi ve mikrodalga enerji yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşlem görmemiş kenevir liflerinin beyazlık değeri (CIE) %20,2 olarak ölçülmüştür. En yüksek beyazlık değeri (CIE), ultrasonik enerji yöntemiyle %3 lakkaz konsantrasyonu ve 20 dakika işlem sonucunda 31,2 olarak elde edilmiştir.

Sürdürülebilirlik anlayışı doğrultusunda, tekstil endüstrisinde yeni kavramlar ve yaklaşımlar ortaya çıkarken, kenevir lifi çevre dostu bir alternatif olarak dikkat çekmektedir (Kurtuldu ve İşmal, 2019). Kenevir kumaşların ağartılması konusunda yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada ham kenevir kumaşlara hidrofilleştirme ardından farklı sıcaklık, pH ve konsantrasyonlarda hidrojen peroksit ağartması yapılmıştır. Amaç ağartma işleminde sıcaklık, pH ve hidrojen peroksit konsantrasyonu parametrelerinin beyazlık üzerindeki etkisini incelemek ve bu parametreleri kullanarak kumaşların beyazlık derecesini tahmin etmek amacıyla bir model oluşturmaktır. Model tahmini ile ağartma sonrası elde edilecek beyazlık derecesi belirlenebilmekte ve bunun literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Çalışmada Nm 25 inceliğe sahip ham kenevir iplik temin edilerek 14 gauge düz örgü makinesinde 1x1 rib ham örme kumaş üretilmiştir. Kumaş gramajı 380 g/m² olarak ölçülmüştür.

Metot

Ham kenevir kumaşlara ilk olarak 4 g/L Sodyum Hidroksit (NaOH-38°C Be) ve 0,2 g/L ıslatıcı kullanılarak hidrofilleştirme işlemi yapılmıştır. İşlem 1:15 flote oranı kullanılarak 98°C'de 45 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Hidrofilleştirilen numuneler laboratuvar tipi çektirme aparatında 3 farklı ağartma sıcaklığı (100-110-120°C), 4 farklı pH (10-11-12-13) ve 6 farklı ağartıcı konsantrasyonu (2-4-6-8-10-12g/L) kullanılarak ağartılmış bu sayede toplam 72 farklı parametreye sahip ağartma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Ağartma Reçetesi

Flotte oranı	:1:20
Islatıcı	:0,5 g/L
Yağ sökücü sabun	:0,5 g/L
Peroksit stabilizatörü	:0,8 g/L

Hidrojen peroksit flotte içerisinde Tablo 1’de verilen konsantrasyonlarda eklenmiş olup flottelerin pH ayarında sodyum hidroksit kullanılmıştır. Tüm ağartma işlemleri Tablo 1’de verilen sıcaklıklarda 60 dakika süreyle yapılmıştır.

Tablo 1. Ağartma Deneysel Planı

İşlem No	Numune Kodu	Sıcaklık (°C)	pH	Konsantrasyon (g/L)	İşlem No	Numune Kodu	Sıcaklık (°C)	pH	Konsantrasyon (g/L)	İşlem No	Numune Kodu	Sıcaklık (°C)	pH	Konsantrasyon (g/L)			
1	K-100-10-2	100	10	2	25	K-110-10-2	110	10	2	49	K-120-10-2	120	10	2			
2	K-100-10-4			4	26	K-110-10-4			4	50	K-120-10-4			4			
3	K-100-10-6			6	27	K-110-10-6			6	51	K-120-10-6			6			
4	K-100-10-8			8	28	K-110-10-8			8	52	K-120-10-8			8			
5	K-100-10-10			10	29	K-110-10-10			10	53	K-120-10-10			10			
6	K-100-10-12			12	30	K-110-10-12			12	54	K-120-10-12			12			
7	K-100-11-2		11	11	2	31		K-110-11-2	11	11	2		55	K-120-11-2	11	11	2
8	K-100-11-4				4	32		K-110-11-4			4		56	K-120-11-4			4
9	K-100-11-6				6	33		K-110-11-6			6		57	K-120-11-6			6
10	K-100-11-8				8	34		K-110-11-8			8		58	K-120-11-8			8
11	K-100-11-10				10	35		K-110-11-10			10		59	K-120-11-10			10
12	K-100-11-12				12	36		K-110-11-12			12		60	K-120-11-12			12
13	K-100-12-2	12	12	2	37	K-110-12-2	12	12	2	61	K-120-12-2	12	12	2			
14	K-100-12-4			4	38	K-110-12-4			4	62	K-120-12-4			4			
15	K-100-12-6			6	39	K-110-12-6			6	63	K-120-12-6			6			
16	K-100-12-8			8	40	K-110-12-8			8	64	K-120-12-8			8			
17	K-100-12-10			10	41	K-110-12-10			10	65	K-120-12-10			10			
18	K-100-12-12			12	42	K-110-12-12			12	66	K-120-12-12			12			
19	K-100-13-2	13	13	2	43	K-110-13-2	13	13	2	67	K-120-13-2	13	13	2			
20	K-100-13-4			4	44	K-110-13-4			4	68	K-120-13-4			4			
21	K-100-13-6			6	45	K-110-13-6			6	69	K-120-13-6			6			
22	K-100-13-8			8	46	K-110-13-8			8	70	K-120-13-8			8			
23	K-100-13-10			10	47	K-110-13-10			10	71	K-120-13-10			10			
24	K-100-13-12			12	48	K-110-13-12			12	72	K-120-13-12			12			

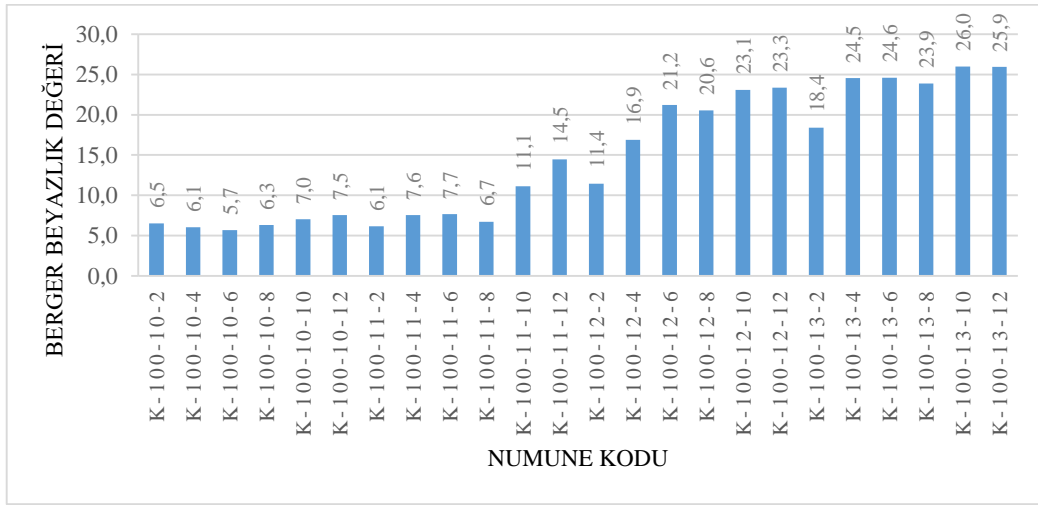
Ağartma işleminden sonra numunelere 1 g/L antiperoksit enzim ve 0,5 g/L asetik asit kullanılarak hazırlanan flotteler içerisinde 50°C sıcaklıkta 20 dakika süreyle peroksit uzaklaştırma işlemine tabi tutulmuştur.

BULGULAR ve TARTIŞMA

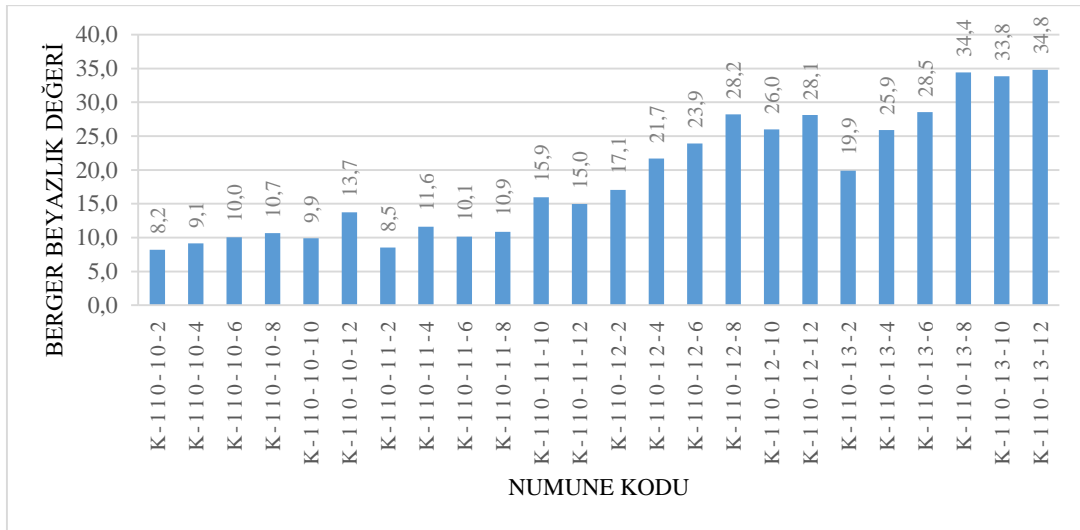
Bu çalışmada, ham kenendir kumaşlara yönelik ağartma işlemleri, 100°C, 110°C ve 120°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Her bir sıcaklık için farklı pH ve ağartıcı konsantrasyonlarına sahip ağartma flotteleri hazırlanmış ve bu koşullar altında ağartma işlemleri uygulanmıştır. İşlem sonrası, numunelerin Berger Beyazlık İndeksi değerleri ölçülmüştür. 100°C’de gerçekleştirilen ağartma işlemlerine ait Berger Beyazlık İndeksi değerleri Şekil 1’de sunulmuştur. Veriler, ağartma işleminde sıcaklığın yanı sıra pH ve ağartıcı konsantrasyonlarının beyazlık üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla kıyaslanmıştır.

100°C’de yapılan ağartma işleminde pH 10’da gerçekleştirilen ağartma işlemlerinde, ağartıcı konsantrasyonundaki artışa rağmen beyazlık değerlerinde belirgin bir artış olmadığı gözlemlenmektedir. Bu durum, pH seviyesinin ağartma işleminin etkinliği üzerinde belirleyici bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır ve düşük pH

seviyelerinde ağartıcı etkinliğinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Bunun nedeninin, düşük pH seviyelerinde ağartıcıların kimyasal aktivitesinin azalması olduğu düşünülmektedir. pH 11'e yükseltilmesiyle birlikte, özellikle 10 g/L ve 12 g/L konsantrasyona sahip numunelerde beyazlık değerlerinin kayda değer şekilde artması, yüksek pH seviyelerinin ağartıcıların daha etkili bir şekilde çalışmasına olanak tanıdığını göstermektedir. pH 12 ve pH 13 seviyelerinde ise 2 g/L konsantrasyona sahip numuneler dışında tüm konsantrasyonlarda ciddi bir beyazlık artışı gözlenmiştir. Bu durum, yüksek pH ortamının, daha düşük ağartıcı konsantrasyonlarında bile etkili sonuçlar alınmasını sağladığını ortaya koymaktadır. Bu bulgulardan hareketle, ağartma işleminin optimizasyonunda pH seviyesi, ağartıcı konsantrasyonu kadar kritik bir parametre olarak değerlendirilebilir. Daha yüksek pH seviyelerinde, ağartıcı kimyasalların aktivitesi artmakta, bu da daha az kimyasal kullanımıyla istenen beyazlık seviyelerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu durum, daha düşük kimyasal tüketimi ve çevresel etkilerin azaltılması açısından sürdürülebilir üretim süreçleri için önemli bir avantaj sunmaktadır. 110°C'de uygulanan ağartma işlemi sonrası elde edilen beyazlık indeksi değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



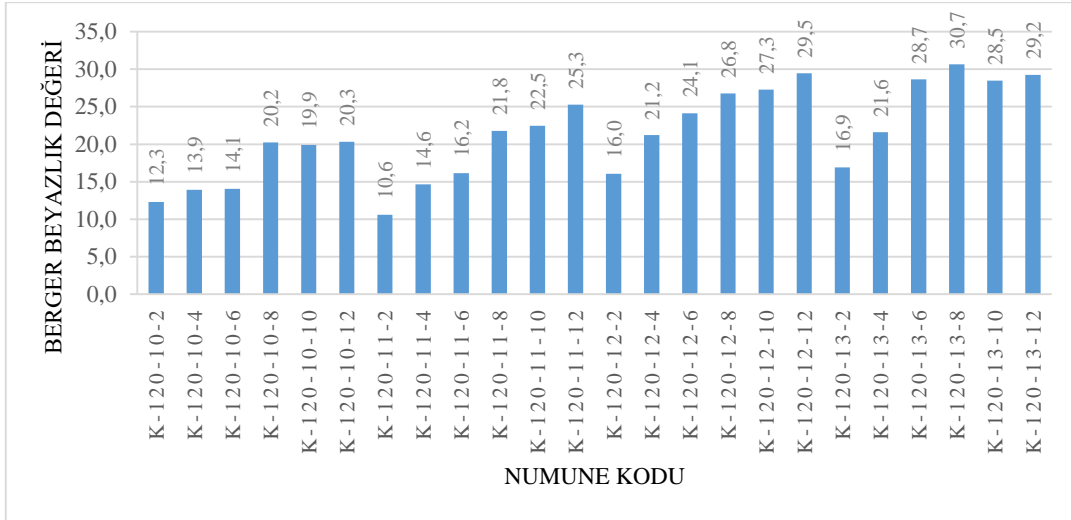
Şekil 1.100°C'de Yapılan Ağartma İşlemi Sonrası Numunelerin Berger Beyazlık Ölçümü Sonuçları



Şekil 2.110°C'de Yapılan Ağartma İşlemi Sonrası Numunelerin Berger Beyazlık Ölçümü Sonuçları

110°C'de yapılan ağartma işleminde pH 10 seviyesinde elde edilen beyazlık değerlerinin, 100°C'de pH 11 seviyesinde elde edilen değerlerle eşdeğer olması, sıcaklık artışının ağartma etkinliğini artırarak daha düşük bir pH seviyesinde aynı beyazlık seviyesini elde etmeyi mümkün kıldığını göstermektedir. Bu, yüksek sıcaklığın ağartma işlemi üzerinde güçlü bir katalitik etkisi olduğunu ve kimyasal aktiviteyi artırdığını ortaya koymaktadır. pH 10 ve 11 seviyelerinde ağartıcı konsantrasyonundaki artışa rağmen beyazlık değerlerinde ciddi bir artış görülmemesi, bu pH seviyelerinde kimyasal etkinliğin sınırlı kaldığını ve ağartıcıların tam potansiyelini ortaya koyamadığını işaret etmektedir. Yani bu aralıkta konsantrasyon artışı ekonomik açıdan verimsizdir. pH 12 ve 13 seviyelerinde artan

ağartıcı konsantrasyonu ile beyazlık değerlerinde düzenli bir artış eğilimi görülmesi, yüksek pH seviyelerinin ağartıcıların kimyasal aktivitesini artırarak daha etkili bir beyazlatma sağladığını göstermektedir. Ancak, pH 13 seviyesinde 8-10 ve 12 g/L konsantrasyonlarında beyazlık değerlerinin doygunluğa ulaşması, belirli bir konsantrasyonun üzerinde ağartıcı kullanımının ek bir fayda sağlamadığını göstermektedir. Bu durum, fazla kimyasal kullanımının maliyet artırıcı ve çevresel açıdan olumsuz etkiler yaratabileceğini ortaya koymaktadır. Yapılan tüm ağartma işlemleri dikkate alındığında, en yüksek beyazlık değerleri, 110°C'de, pH 13 seviyesinde ve 8, 10 ve 12 g/L ağartıcı konsantrasyonu kullanılarak ağartılan numunelerde elde edilmiştir. 8, 10 ve 12 g/L ağartıcı konsantrasyonlarıyla gerçekleştirilen ağartma işlemleri sonucunda, numunelerdeki beyazlık seviyesinin yüksek oranda değişmediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, 110°C'de, pH 13 seviyesinde ve 8 g/L ağartıcı konsantrasyonu kullanılarak ağartma işleminin yapılması önerilmektedir.



Şekil 3.120°C'de Yapılan Ağartma İşlemi Sonrası Numunelerin Berger Beyazlık Ölçümü Sonuçları

Ağartma sıcaklığının 120°C'ye ulaşmasıyla birlikte farklı pH seviyelerinde ağartıcı konsantrasyonunun artmasıyla beyazlık dereceleri düzenli bir şekilde artış göstermiştir. 120°C'de pH seviyesinden bağımsız olarak ağartıcı konsantrasyonunun artışı ile beyazlık derecelerinde düzenli bir artış sağlanması, yüksek sıcaklıkta pH'nın etkisinin daha az kritik hale geldiğini göstermektedir.

Konsantrasyon, pH ve sıcaklık değişkenleri bağımsız değişken, beyazlık değişkeni ise bağımlı değişken olarak alınarak çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.Regresyon Analizi Sonuçları

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği	p değeri
Sabit	-87,858	7,077	-12,415	0,000
Sıcaklık	0,311	0,051	6,145	0,000
pH	5,687	0,370	15,367	0,000
Konsantrasyon	0,954	0,121	7,873	0,000
R ²	0,832	Düzeltilmiş R ² : 0,824		
F istatistiği	111,963	P değeri: 0,000		

Regresyon analizi sonucunda düzeltilmiş R² değeri 0,824 olarak bulunmuş olup, sıcaklık, pH ve konsantrasyon bağımsız değişkenlerinin bağımlı değişkendeki değişimin %82'sini açıklayabildiğini ifade etmektedir. Belirleme katsayısı (R²) değerinin yüksek olması, modelin beyazlık derecesindeki varyansın büyük bir kısmını açıkladığını ve kullanılan bağımsız değişkenlerin tahmin gücünün yüksek olduğunu işaret etmektedir. Ağartma işlemlerinde seçilen sıcaklık, pH ve konsantrasyon değişkenlerinin modele etkisi anlamlı bulunmuştur (p<0.05). F istatistiği sonucu ise elde edilen modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Regresyon denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\text{Beyazlık indeksi} = -87,858 + 0,311 * \text{Sıcaklık} + 5,687 * \text{pH} + 0,954 * \text{Konsantrasyon} \quad (1)$$

Regresyon denklemi kullanılarak tahminlenen beyazlık değerleri ile, gerçekte ölçülen beyazlık değerleri arasındaki korelasyon anlamlı olup pozitif yönde çok yüksek (r=0,912) bulunmuştur.

SONUÇ

Bu çalışmada, sürdürülebilir tekstil liflerinden biri olan kenevir kumaşların hidrojen peroksit ile ağartılması, farklı işlem parametreleri altında incelenmiştir. Çalışmada, farklı sıcaklıklar, değişen ağartıcı konsantrasyonları ve farklı pH değerlerine sahip flotteler kullanılarak ağartma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ağartma işlemlerinin ardından elde edilen numunelerin beyazlık seviyeleri Berger Beyazlık İndeksi ile ölçülerek değerlendirilmeye alınmıştır.

Yapılan çoklu doğrusal regresyon analizi, ağartma işlemlerinde kullanılan konsantrasyon, pH ve sıcaklık değişkenlerinin beyazlık dereceleri üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ($p < 0.05$) ortaya koymaktadır. Bu sonuç, bu üç bağımsız değişkenin, beyazlık derecesi üzerinde önemli bir rol oynadığını ve birbirleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Kimyasal konsantrasyonun optimize edilmesi, sürdürülebilirlik açısından gereksiz kimyasal kullanımını engelleyerek hem maliyetleri azaltır hem de atık suyun kimyasal yükünü düşürerek çevresel etkileri minimuma indirir. Sıcaklık artışı kimyasal reaksiyon hızını artırarak daha düşük pH ve konsantrasyon seviyelerinde etkili ağartma sağlar. Ancak yüksek sıcaklık, enerji maliyetlerini artırabilir ve sürdürülebilirlik açısından dezavantaj oluşturabilir. Çalışmada en yüksek beyazlık değerleri, 110°C'de, pH 13 seviyesinde ve 8-10-12 g/L ağartıcı konsantrasyonlarına sahip numunelerde elde edilmiştir. Ancak bu konsantrasyona sahip numunelerin beyazlık değerleri arasında belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bu nedenle, 8 g/L ağartıcıyla ağartma işlemi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Kumaşların Berger Beyazlık Ölçümleri, Kimteks Tekstil İşletmesinde gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı Kimteks Tekstil'e ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Alonso-Montemayor, F.J., López-Badillo, C.M., Aguilar-González, C.N., Ávalos-Belmontes, F., Castañeda-Facio, A.O., Reyna-Martínez, R., ... & Narro-Céspedes, R. I. (2020). Effect of cold air plasmas on the morphology and thermal stability of bleached hemp fibers. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(Sup. 1), 457-467. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Mat1510>

Atav, R., Dilden, D. B., Keskin, S. & Ergünay, U. (2024). Investigation of the dyeability and various performance properties of fabrics produced from flax and hemp fibres and their blends with cotton in comparison with cotton. *Coloration Technology*, 140(3), 440-450. <https://doi.org/10.1111/cote.12720>

Ertek Avcı, M. & Demiryürek, O. (2022). Development of sustainable and ecological hybrid yarns: hemp fiber in denim fabric production. *Cellulose Chemistry and Technology*, 56(9-10), 1089-1100.

Gedik, G., Aydın Kızılkaya, Y.M., Uyak, V. & Koluman, A. (2023). Simultaneous Eco-friendly Bleaching and Retting Wastewater Treatment of Hemp Fiber with Ozone Application. *Fibers and Polymers*, 24(1), 57-72. <https://doi.org/10.1007/s12221-023-00021-1>

Gedik, G. & Avinc, O. (2018). Bleaching of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibers with peracetic acid for textiles industry purposes. *Fibers and Polymers*, 19(1), 82-93. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7165-0>

Gedik, G. (2012). Kenevir liflerinden üretilen kumaşların optimum ağartma koşullarının ve yöntemlerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Göre, M. & Kurt, O. (2020). Bitkisel üretimde yeni bir trend: Kenevir. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(1), 138-157. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.789970>

Grifoni, D., Roscigno, G., Falco, E.D., Vece, A., Camilli, F., Sabatini, F., Fibbi L. & Zipoli, G. (2020). Evaluation of dyeing and UV protective properties on hemp fabric of aqueous extracts from vegetal matrices of different origin. *Fibers and Polymers*, 21(8), 1750-1759. <https://doi.org/10.1007/s12221-020-1045-8>

Guo, Y., Sun, Z., Guo, X., Zhou, Y., Jiang, L., Chen, S. & Ma, J. (2019). Study on enzyme washing process of hemp organic cotton blended fabric. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 31(1), 58-64. <https://doi.org/10.1108/IJCST-08-2017-0117>

- Inprasit, T., Pukkao, J., Lertlaksameephan, N., Chuenchom, A., Motina, K. & Inprasit, W. (2020). Green dyeing and antibacterial treatment of hemp fabrics using Punica granatum peel extracts. *International journal of polymer science*, 2020, 6084127. <https://doi.org/10.1155/2020/6084127>
- Kaya, S. & Oner, E. (2020). Kenevir liflerinin eldesi, karakteristik özellikleri ve tekstil endüstrisindeki uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108-123. <https://doi.org/10.29048/makufebed.693406>
- Kurtuldu, E. & İşmal, Ö.E. (2019). Sürdürülebilir tekstil üretim ve tasarımında yeniden değer kazanan lif: Kenevir. *SDÜ Art-E Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi*, 12(24), 694-718.
- Kushwaha, R., Kesarwani, P. & Kushwaha, A. (2024). Effect of Scouring and Bleaching on the Physico-mechanical Properties of the Hemp Fabric. *Fibers and Polymers*, 25, 3563–3570. <https://doi.org/10.1007/s12221-024-00665-7>
- Ling, Y., Hart, J., Henson, C., West, A., Kumar, A., Karanjikar, M. & Yin, R. (2023). Investigation of Hemp and Nylon Blended Long-Staple Yarns and Their Woven Fabrics. *Fibers and Polymers*, 24(5), 1835-1843. <https://doi.org/10.1007/s12221-023-00180-1>
- Mecir, B. (2024). Kenevir terbiyesinde yenilikçi ve çevre dostu yöntem geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa.
- Merdan, N. (2017). Effects of environmental surface modification methods on physical properties of hemp fibers. *Materials Science*, 23(4), 416-421. <https://doi.org/10.5755/j01.ms.23.4.17469>
- Özomay, M. & Akalın, M. (2022). Optimization of fastness properties with gray relational analysis method in dyeing of hemp fabric with natural and classic mordant. *Journal of Natural Fibers*, 19(8), 2914-2928. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1837328>
- Qu, L. J., Zhu, S. F., Liu, M. J., & Wang, S. Y. (2005). The mechanism and technology parameters optimization of alkali-H₂O₂ one-bath cooking and bleaching of hemp. *Journal of applied polymer science*, 97(6), 2279-2285. <https://doi.org/10.1002/app.22024>
- Sonmez, S., Marcello, C. & Salam, A. (2023). Chemical Modification for Resistance to Photo-Oxidative Degradation and Improved Bleaching and Color Fastness Properties of Hemp Fiber. *Cellulose Chemistry & Technology*, 57 (5-6), 551-556.
- Sponner, J., Toth, L., Cziger, S. & Franck, R.R. (2005). Hemp. In Frank R.R (Eds.), *Bast and other plant fibres* (pp. 176-206). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Srisuk, S., Intarat, T., Damkham, N. & Pisitsak, P. (2024). Comparison of infrared-, ultrasonic-, and microwave-assisted mordanting methods for the natural dyeing properties of hemp fabrics. *Fibers and Polymers*, 25(11), 4349-4360. <https://doi.org/10.1007/s12221-024-00724-z>
- Stanković, S., Popović, D.M., Kocić, A. & Poparić, G.B. (2017). Ultraviolet protection factor of hemp/filament hybrid yarn knitted fabrics. *Tekstilec*, 60(1), 49-57. <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2017.60.49-57>
- Tripa, S., Kadıncık, N., Kanwal, A., Nazeer, M.A., Nazir, A., Tripa, F., & Uzun, M. (2023). Analysing the Impact of the Bleaching Process on Wet Spun Hemp Yarn Properties. *Sustainability*, 15(24), 16894. <https://doi.org/10.3390/su152416894>
- Yayla, A. (2024). İç mekânlarda ses yutumu malzemesi olarak kullanılan dokuma kumaşların kenevir lifi ile akustik özelliklerinin iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Yılmaz Şahinbaşkan, B.Y. (2019). Kenevir Dokuma Kumaşa Enzimatik Ön İşlemlerin Etkisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(3), 208-213. <https://doi.org/10.7240/jeps.508952>
- Zhang, M., Qiao, X., Liu, X., Fang, K., Gong, J., Lu, X., Gao, W., Si, J. & Sun, F. (2023). Environmental urea-free pretreatment process to form new surface on hemp for enhancing the inkjet printing performance. *Progress in Organic Coatings*, 174(2023), 107317. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107317>
- Zhang, X. L., & He, Y. D. (2013). Effects of laccase on the properties of hemp fabric. *Advanced Materials Research*, 690, 999-1002. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.690-693.999>