

Kökboya ile Havlu Kumaşların Renklendirilmesi ve Doğal Antimikrobiyel Özellikler Kazandırılması

Sinem Cavdar¹

Öz

Günümüzde çevre dostu ve sürdürülebilir tekstil üretimi, doğal bitkisel kaynakların değerlendirilmesiyle ekolojik ve fonksiyonel açıdan katma değeri yüksek ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma, kökboya (*Rubia tinctorum*) bitkisinden elde edilen doğal boyar maddenin pamuk esaslı havlu kumaşların renklendirilmesinde ve aynı zamanda antibakteriyel ile antifungal özellikler kazandırılmasındaki potansiyelini araştırmayı amaçlamaktadır. Mikrobiyal direnç özelliğini artırmak amacıyla ekstraksiyon aşamasında mazı gomalağı (*Quercus infectoria*) ilave edilmiştir.

Çalışma kapsamında kökboya kökleri ve az miktarda mazı gomalağı su ile ekstrakte edilmiş ve elde edilen boyarmadde, farklı konsantrasyonlar, sıcaklıklar, boyama süreleri ve pH değerleri altında pamuklu havlu kumaşlara uygulanmıştır. Boyanmış numuneler HP-LC-DAD, SEM-EDX, FTIR ve CIELab gibi çok yönlü analitik tekniklerle karakterize edilmiştir. Ayrıca boyama sonrası kumaşların renk performansı ve renk haslıkları test edilmiş; antibakteriyel (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*) ve antifungal (*Candida albicans*) aktiviteleri uluslararası standart yöntemlere göre değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, kökboyanın doğal bir boyar madde olarak etkili olduğunu, aynı zamanda mazı gomalağı katkısı ile mikrobiyal direnç özelliklerinin artırılabilirliğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, kökboyanın tekstil sektöründe çevre dostu ve fonksiyonel bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kökboya, doğal boyar madde, havlu kumaş, antibakteriyel, antifungal, sürdürülebilir tekstil, mazı gamı, çevre dostu boyama.

Coloration of Towel Fabrics with Madder and Imparting Natural Antimicrobial Properties

Abstract

Today, eco-friendly and sustainable textile production enables the development of high-value-added products that are both ecologically and functionally beneficial through the utilization of natural, plant-based sources. This study aims to investigate the potential of natural dyes obtained from madder (*Rubia tinctorum*) in the coloration of cotton-based towel fabrics, while also imparting antibacterial and antifungal properties. To enhance microbial resistance, gall nut extract (*Quercus infectoria*) was added during the extraction process.

Within the scope of the study, madder roots and a small amount of gall oak were extracted with water, and the resulting dye solution was applied to cotton towel fabrics

¹EHM Mağazacılık Sanayi ve Ticaret A.Ş., Tasarım Merkezi, Üsküdar İstanbul, Orcid No: 0009-0002-5134-9539, si_nem_cavdar@hotmail.com

Geliş Tarihi: 12 Kasım 2025 / Kabul Tarihi: 03 Aralık 2025

DOI: 10.17932/IAU.SANAT.2015.015/sanat_v011i22003

under varying concentrations, temperatures, dyeing durations, and pH values. The dyed samples were characterized using analytical techniques such as HPLC-DAD, SEM-EDX, FTIR, and CIELab*. Additionally, the color performance and fastness of the fabrics were evaluated, and their antibacterial (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*) and antifungal (*Candida albicans*) activities were tested according to international standard methods.

The results revealed that madder is an effective natural dye and that the addition of gall oak extract enhances microbial resistance. These findings demonstrate that madder can be considered an environmentally friendly and functional alternative for sustainable textile production.

Keywords: Madder, natural dye, towel fabric, antibacterial, antifungal, sustainable textiles, gallnut, eco-friendly dyeing.

1.GİRİŞ

Günümüzde çevre dostu ve sürdürülebilir üretim anlayışı, tekstil sektöründe doğal kaynaklı boyar maddelere olan ilgiyi giderek artırmaktadır. Sentetik boyaların doğaya ve insan sağlığına olan zararlı etkileri, geleneksel boyama yöntemlerinin yeniden gündeme gelmesini sağlamıştır (Karadag & Yildiz, 2021; Torgan Guzel & Karadag, 2019). Bu bağlamda, doğal boyar maddeler ve biyo-mordanlar yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal katkılarıyla da dikkat çekmektedir (Torgan Güzel, Karadag & Alkan, 2020; Ozdemir & Karadag, 2022). Son yıllarda uluslararası tekstil standartlarında (GOTS, OEKO-TEX, NODS) doğal boyaların kullanımını teşvik eden düzenlemelerin artması, bu alandaki Ar-Ge çalışmalarını hızlandırmıştır.

Doğal boyamacılık, geçmişte tekstil renklendirmesinde temel bir yöntemken, sanayi devrimiyle birlikte yerini büyük ölçüde sentetik boyalara bırakmıştır. Ancak günümüzde artan çevresel kaygılar ve sürdürülebilir tüketim trendleri sayesinde doğal boyar maddeler yeniden ilgi görmeye başlamıştır (Pars & Karadag, 2022; Ozdemir et

al., 2025). Doğal boyama süreçlerinin toksik kimyasalların kullanımını azaltması, atık suların çevreye zararını en aza indirmesi ve insan sağlığı açısından daha güvenli olması gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Karadag, 2022b; Karadag, 2022a; Deveoglu et al., 2019; Buyukakinci et al., 2022). Ayrıca doğal boyarmaddelerin biyolojik olarak parçalanabilirliği, karbon ayak izinin düşük olması ve tekstil döngüsellığı açısından geri dönüşümlü özellik göstermesi de önemli ekolojik avantajlar arasındadır.

Bu kapsamda, kökboya (*Rubia tinctorum*) tarihsel olarak önemli bir doğal boya kaynağı olup (Cardon, 2007), tekstil sektöründe kırmızı ve pembe tonların elde edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ozdemir & Karadag, 2023; Karadag & Pars, 2024; Karadag, 2023). Kökboya bitkisi, yüksek alizarin ve purpurin içeriği sayesinde hem estetik hem de fonksiyonel özellikler kazandırmaktadır. Ayrıca antimikrobiyel, antioksidan ve UV-koruyucu etkileriyle dikkat çekmektedir (Pars et al., 2022; Pars & Karadag, 2024; Jahangiri et al., 2018; Feiz & Norouzi, 2014; Mijas et al., 2022). Son araştırmalar, alizarin ve purpurin, gallik asit gibi antrakinon, fenol ve türevlerinin bak-

teriyel enzimlerin aktivitesini engelleyerek mikrobiyal büyümeyi baskıladığını ortaya koymaktadır.

Çeşitli çalışmalar, kökboya ile boyanan pamuk ve ipek kumaşlarda hem renk dayanımı hem de mikrobiyal direnç bakımından olumlu sonuçlar elde edildiğini göstermektedir (Torgan Guzel, Karadag & Alkan, 2020). HPLC-DAD, FTIR ve SEM-EDX analizleriyle yapılan incelemelerde, boyar maddelerin lif yüzeyine güçlü bir şekilde bağlandığı, mordanlarla kompleks oluşturarak renk kalıcılığını artırdığı belirlenmiştir (Ozdemir, 2024; Jameel et al., 2023).

Ek olarak, mazi gomalağı (*Quercus infectoria*) gibi yüksek tanen içeren doğal mordanların kullanımı, kökboyanın antimikrobiyel etkinliğini artırmakta ve kumaş yüzeyinde stabil renk bağları oluşmasını sağlamaktadır (Karadag, 2023; Karadag et al., 2024). Bu doğal mordan boyarmadde etkileşimi, lif yüzeyinde metal-tanen ve metal antraquinon kompleksleri oluşturarak renk tonunun daha doygun ve ışık hasılığının daha yüksek olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, kökboya (*Rubia tinctorum*) ve mazi gomalağının (*Quercus infectoria*) birlikte kullanıldığı doğal boyama sürecinin pamuk esaslı havlu kumaşların renklendirilmesi ve aynı zamanda antimikrobiyel fonksiyon kazandırılmasındaki etkinliğini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, farklı boyama parametrelerinin renk performansı, haslık özellikleri ve mikrobiyal direnç üzerindeki etkileri çok yönlü analitik yöntemlerle değerlendirilmiştir. Çalışma, doğal boyar maddeler ve biyo-mordan etkileşiminin hem estetik hem de fonksiyonel tekstil geliştirmede sağlayabileceği katkıları belirlemeyi ve sürdürülebilir, çevre dostu bir boyama yönteminin tekstil endüstrisine uygulanabilirliğini bilimsel olarak destekle-

meyi amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyaller

Bu çalışmada kullanılan kökboya (*Rubia tinctorum* L.) kökleri Konya bölgesindeki yerel tedarikçilerden temin edilmiştir. Kökler kurutulduktan sonra ince toz haline getirilmiştir. Mazi gomalağı (*Quercus infectoria*) yüksek tanen içeriği nedeniyle doğal biyo-mordan olarak Isparta bölgesinden sağlanmıştır. Boyama işlemlerinde %100 pamuklu, ağartılmış havlu kumaşlar (450 g/m², havlı yapı) kullanılmıştır. Mordan maddesi olarak şap ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) ve mazi gomalağı kullanılmıştır.

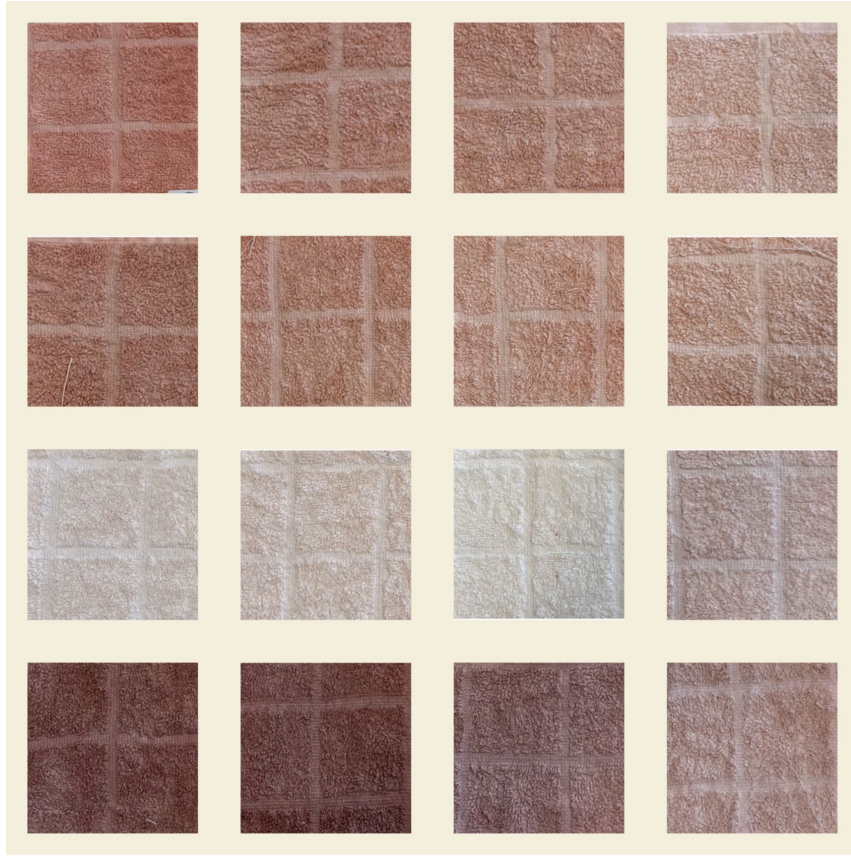
Boyarmadde bileşenlerinin tanımlanmasına yönelik analizler Agilent 1200 HPLC-DAD sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Lif yüzey morfolojisi ile elementel dağılımın belirlenmesi ise TESCAN SEM-EDX cihazı aracılığıyla yapılmıştır. Yıkama, sürtünme ve ışık hasılığının değerlendirilmesi, uluslararası standartlara uygun olarak James Heal ve SDL Atlas marka tekstil test cihazları kullanılarak yürütülmüştür. Renk ölçümleri, Datacolor 850 Spectrophotometer (Datacolor, İsviçre) kullanıldı.

2.2. Doğal Boya Ekstraksiyonu

Havlu kumaş ağırlığının % 20 ve % 10 oranlarında toz haline getirilmiş kökboya bitkisinin kökleri ve % 5 oranında toz haline getirilmiş mazi gomalağı, 1:20 banyo oranında 80 °C'de 60 dakika ekstrakte edildi.

2.3. Boyama Prosedürü

Boyama kökboya ve mazi gomalağı ekstraktı ile 1:15 banyo oranında, sıcaklık 40 °C'den 90 °C'ye kademeli olarak yükseltilmiş ve 60 dakika süreyle boyandı. Boyama tamamlandıktan sonra durulandı, sabun ile yıkanarak kurutuldu. Boyanmış olan havlu örnekleri Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Kökboya ve mazi gomalağı ile boyanmış havlu örnekleri.

2.4. Antimikrobiyel Testler

Antibakteriyel testlerde *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) ve *Escherichia coli* (ATCC 8739) bakterilerine, ayrıca *Candida albicans* (ATCC 10231) mantarına karşı etkinlik AATCC 100 ve ISO 20743 standartlarına uygun olarak değerlendirilmiştir. Boyanmış kumaşlar 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmış ve mikrobiyal azalma oranı (%) hesaplanmıştır. Antimikrobiyel test sonuçlarına göre, kökboya (*Rubia tinctorum*) ve mazi gomalağı (*Quercus infectoria*) ile bo-

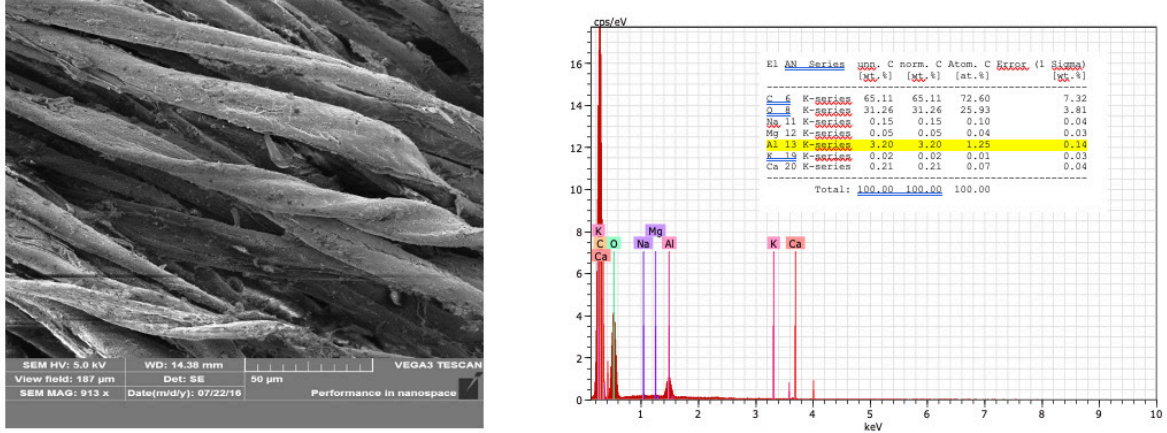
yanmış kumaşlarda hem bakterilere hem de mantarlara karşı belirgin bir inhibisyon etkisi gözlenmiştir. Antibakteriyel aktivite AATCC 100:2021 (Tekstil Materyallerinde Antibakteriyel Aprelerin Değerlendirilmesi) standardına, antifungal aktivite ise AATCC 30, Bölüm III:2021 (Tekstil Materyallerinin Küf ve Çürümeye Karşı Direnci) standardına göre belirlenmiştir. Elde edilen inhibisyon zon azalma oranları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Boyanmış havluların antimikrobiyel özellikleri

Mikroorganizme	Biyomordan	Metalik mordan	Azalma (%)	Etkinlik düzeyi
<i>Staphylococcus aureus</i>	mazi gomalağı	Al ³⁺	95,4	Çok yüksek
<i>Escherichia coli</i>	mazi gomalağı	Al ³⁺	93,7	Çok yüksek
<i>Candida albicans</i>	mazi gomalağı	Al ³⁺	92,3	Çok yüksek

2.5. SEM-EDX Analizleri

Kökboya ve mazi gomalağı ile boyanmış pamuklu havlularda SEM-EDX ile mordan maddelelerinin analizleri ve yüzey görüntüleri tespit edilmiştir. Ayrıca havluların ağır metal iyonları içerip içermedikleri tespit edilerek Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Sem görüntüsü ve edx grafiği.

2.6. HPLC-DAD Analizi

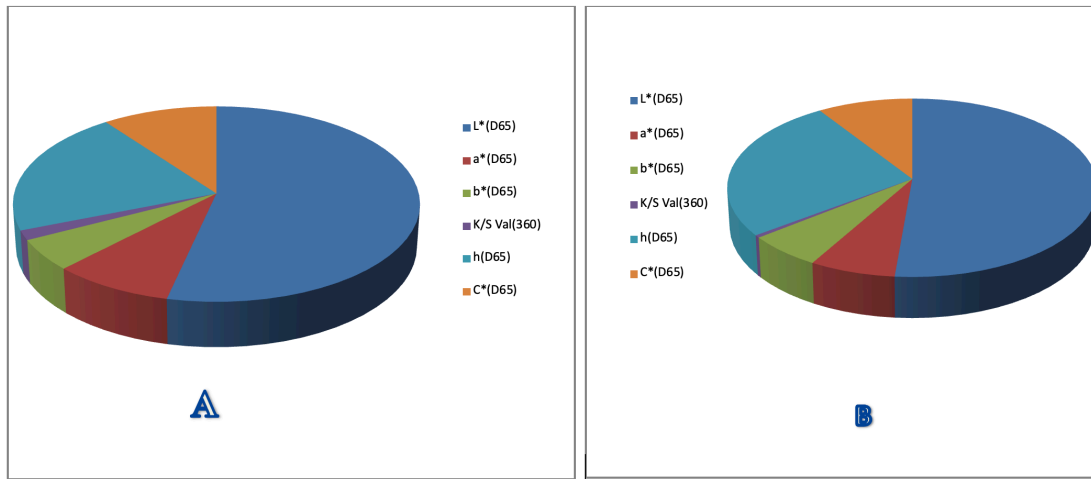
Kökboya ve mazi gomalağı içeren boyanmış kumaşlar HPLC-DAD ile analiz edilerek içerdikleri boyarmaddeler Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Boyanmış havluların içerdikleri boyarmaddeler ve boyarmadde kaynakları.

Boyanmış havlu	Tespit edilen boyarmadde	Boyarmadde kaynağı
Pembe renk	alizarin	Kökboya (<i>Rubia tinctorum</i>)
	purpurin	
	munjistin	
	rubiadin	
Pembe renk	gallik asit	Mazi gomalağı (<i>Quercus infectoria</i>)
	ellagiç asit	
	tanen	

2.7. Renk Ölçümleri

% 20 ve % 10 kökboya ve % 5 mazi gomalağı ve % 6 şap kullanılarak boyanmış havlu kumaşlar CIEL*a*b* ile renk ölçümleri yapılarak L*, a*,b*, K/S, C ve h değerleri ölçüldü ölçümler Şekil 3 de verilmiştir.



Şekil 3. A) % 10 kökboya, B) % 20 kökboya ile boyanmış havluların renk değerleri.

2.8. Renk Haslığı

Yıkama, sürtünme ve ışık haslıkları, ilgili ISO standartlarına göre belirlenmiştir. Buna göre, yıkama haslığı ISO 105-C06, sürtünme (crocking) haslığı ISO 105-X12 ve ışık haslığı ISO 105-B02 standartlarına göre test edilmiştir. Tüm test sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Boyanmış havluların haslık testleri.

Sample	Fastness to light	Rubbing fastness		Colorfastness to washing						Colorfastness to perspiration (acidic)						Colorfastness to perspiration (basic)							
				bleeding						bleeding						bleeding							
				dry	wet	CA	Co	PES	PA	PAC	Wo	Color change	CA	Co	PES	PA	PAC	Wo	Color change	CA	Co	PES	PA
Kökboya (%20)	4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	5	4-5	4-5	4-5	5	4	4-5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
Kökboya (%10)	3-4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4-5	4	4	4	4	4	4	4

3. Bulgular ve Tartışma

Elde edilen bulgular, kökboyanın (*Rubia tinctorum*) pamuklu havlu kumaşların renklendirilmesinde doğal, çevre dostu ve fonksiyonel bir alternatif sunduğunu ortaya koymuştur. Mazı gomalağı ilavesiyle birlikte hem renk dayanımı hem de mikrobiyal direnç artmıştır. SEM-EDX analizleri, kumaş yüzeyinde Al³⁺ iyonlarının ve tanen bileşenlerinin homojen şekilde dağıldığını göstermektedir. Ayrıca HPLC-DAD sonuçlarında alizarin, purpurin, piklerinin yanı sıra mazı gomalağından gelen gallik asit ve ellajik asit bileşenleri tespit edilmiş, bu da

antimikrobiyel etkinin artırılmış olduğunu göstermektedir.

Literatür karşılaştırmaları da bu bulguları desteklemektedir; özellikle kökboyanın alizarin ve purpurin içeriği nedeniyle selülozik liflerde yüksek renk verimi sağladığı önceki çalışmalarda rapor edilmiştir (Karadag & Pars, 2024; Ozdemir & Karadag, 2022). Bu çalışma, pamuk bazlı havlu kumaşlarda benzer sonuçlar elde edilmesi açısından literatür ile uyum içindedir. Ayrıca mazı gomalağının yüksek tanen içeriği sayesinde mordanlama etkinliğini artırdığı ve renk

dayanımını yükselttiği yönündeki çalışmalar (Torgan Güzel & Karadag, 2019; Torgan Güzel et al., 2020) bu araştırmanın sonuçları ile örtüşmektedir.

SEM-EDX analizlerinden elde edilen Al³⁺ ve tanen dağılımına ilişkin bulgular, mordan-boyarmadde komplekslerinin lif yüzeyine güçlü şekilde bağlandığını gösteren önceki çalışmaları desteklemektedir. Karadağ (2023) ve Özdemir (2024), metal iyonları ile doğal boyarmaddeler arasında oluşan komplekslerin renk dayanımını artırdığını belirtmiştir; bu çalışma da benzer bir etkiyi pamuklu havlularda doğrulamaktadır.

HPLC-DAD sonuçlarında hem antrakinon türü boyarmaddelerin hem de gallik ve elajik asit gibi fenolik bileşiklerin bulunması, antimikrobiyel aktivitenin artmasında sinerjik bir mekanizmaya işaret etmektedir. Pars et al. (2022) ve Jameel et al. (2023) tarafından bildirilen fenolik bileşiklerin antimikrobiyel rolü bu araştırma bulgularıyla doğrulanmaktadır.

Bu çalışma, doğal boyarmaddelerin yalnızca estetik değil, aynı zamanda fonksiyonel tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde de etkin şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Sonuçlar, biyolojik olarak aktif bileşenlerin lif yüzeyine entegre edilmesiyle akıllı tekstil uygulamalarına (örneğin antimikrobiyel havlu, spa tekstilleri, otel tekstilleri) yönelik yeni olanaklar sunduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, sürdürülebilir tekstil üretimi kapsamında doğal boya-biyo-mordan kombinasyonlarının endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini önemli bir katkı sağlamaktadır.

Bu bağlamda, çalışmada elde edilen haslık sonuçlarının literatürdeki diğer kökboya ve tanen bazlı mordantlama çalışmalarında bildirilen “iyi-çok iyi” aralığıyla örtüştüğü

görülmüştür (Karadag, 2022a; Karadag, 2022b). Özellikle ışık haslığındaki yüksek değerler, metal-tanen-antrakinon komplekslerinin stabil yapısına işaret eden çalışmalarla paralellik göstermektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, doğal bir boyar madde olan kökboya (*Rubia tinctorum*) kullanılarak pamuk esaslı havlu kumaşların renklendirilmesi ve aynı zamanda kumaşlara doğal antimikrobiyel özellik kazandırılması amaçlanmıştır. Boyama sürecinde mazı gomalağı (*Quercus infectoria*) biyo-mordan olarak kullanılmış ve boyama sonrası numunelerin renk performansı, haslık değerleri, kimyasal yapısı ve mikrobiyal dayanımı analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, kökboya ekstraktının pamuk liflerine yüksek bağlanma kapasitesine sahip olduğunu ve mazı gomalağı katkısının bu bağlanmayı güçlendirerek hem renk yoğunluğunu hem de renk kalıcılığını artırdığını göstermiştir. SEM-EDX ve FTIR analizleri, lif yüzeyinde mordan-boyarmadde komplekslerinin oluştuğunu, bu sayede daha dayanıklı ve homojen bir renklendirme elde edildiğini doğrulamıştır.

Antibakteriyel ve antifungal testler sonucunda, mazı gomalağı ile boyanmış numunelerin hem Gram-pozitif (*Staphylococcus aureus*) hem Gram-negatif (*Escherichia coli*) bakterilere, ayrıca *Candida albicans* mantarına karşı yüksek düzeyde inhibisyon etkisi gösterdiği belirlenmiştir.

Renk haslığı testleri (yıkama, sürtünme ve ışık) ISO standartlarına göre iyi-çok iyi düzeyde sonuçlar vermiştir. Bu, doğal boyar madde ve biyo-mordan kombinasyonunun endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini desteklemektedir. Ayrıca, kullanılan hammaddelerin tamamen bitkisel ve biyolojik ola-

rak parçalanabilir olması, bu yöntemi çevre dostu bir üretim alternatifi haline getirmektedir. Sonuç olarak, kökboya ve mazi goma-lağı kombinasyonu, sürdürülebilir tekstil üretimi için hem estetik hem fonksiyonel açıdan umut verici bir sistem sunmaktadır. Bu yaklaşım, enerji ve kimyasal tüketimini azaltan, toksik atık oluşturmayan ve Avrupa Yeşil Mutabakatı (EU Green Deal) ile uyumlu bir doğal boyama sürecinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. İlerleyen çalışmalarda, bu yöntemin farklı lif tiplerine (örneğin bambu, keten, modal) uygulanabilirliği, renk dayanımı optimizasyonu ve endüstriyel ölçekli sürdürülebilirlik analizi üzerine odaklanması önerilmektedir.

Bu araştırmanın sonuçları, gelecekte yapılacak çalışmalara önemli bir temel oluşturmaktadır. Özellikle doğal biyo-mordan-boyarmadde etkileşimlerinin daha ayrıntılı analiz edilmesi, doğal boyama süreçlerinin su/enerji tüketimi açısından değerlendirilmesi ve bu boyarmaddelerin fonksiyonel tekstil uygulamalarında (örneğin UV koruyucu veya antimikrobiyel ürünler) kullanımını için yeni araştırma alanları açmaktadır. Ayrıca çalışma, doğal pigmentlerin sürdürülebilir tekstil teknolojilerinde performans artırıcı çözümlerle birlikte kullanılmasına yönelik Ar-Ge çalışmalarını teşvik etmektedir.

Kaynakça

Abdulkadir Pars & Karadag, R. (2024). Sustainable bio-dyeing of cellulosic-based fabrics with anthocyanins from black carrot (*Daucus carota* L.). *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. <https://doi.org/10.2478/ftce-2024-0026>

Banu Yesim Buyukakinci & Karadag, R. (2022). Optimization of the natural dyes extraction (madder and valonia oak) and

cotton dyeing using microwave irradiation. *Textile & Leather Review*. <https://doi.org/10.31881/TLR.2022.42>

Cardon, D. (2007). *Natural dyes*. Archetype Publications Ltd.

Deveoglu, O., Karadag, R., Torgan, E., & Yildiz, Y. (2019). Examination of dyeing properties of the dyed cotton fabrics with barberry (*Berberis vulgaris* L.). *Journal of Natural Fibers*, 16(4), 559–574. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1558143>

Feiz, M., & Norouzi, H. (2014). Dyeing Studies of Wool Fibers with Madder (*Rubia Tinctorum*) and Effect of Different Mordants and Mordanting Procedures on Color Characteristics of Dyed Samples, *Fibers and Polymers*, 15, 2504–2514. DOI 10.1007/s12221-014-2504-x

Jahangiri, A., Ghoreishian, S. M., Akbari, A., Norouzi, M., Ghasemi, M., Ghoreishian, M., & Shafiabadi, E. (2018). Natural dyeing of wool by madder (*Rubia tinctorum* L.) root extract using tannin-based biomordants: Colorimetric, fastness and tensile assay. *Fibers and Polymers*, 19(10), 2139–2148. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-8069-3>

Jameel, M., et al. (2023). Extraction of natural products from agro-industrial wastes: A green and sustainable approach. In *Green and Sustainable Process Chemistry and Environmental Engineering Science* (pp. 197–216). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823349-8.00018-6>

Karadag, R. (2022a). Cotton dyeing with cochineal by just in time extraction, mordanting, dyeing, and fixing method in the textile industry. *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2108184>

- Karadag, R. (2022b). Sustainable and mass production of cotton dyeing with natural dye (weld) in the textile industry. *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.2002781>
- Karadag, R. (2023). Establishing a new international standard for natural dyed textile goods (Natural Organic Dye Standard, NODS). *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2162187>
- Karadag, R., & Pars, A. (2024). Physicochemical properties of warp knitted fabrics colored with madder and gall oak for sportswear. *Journal of Natural Fibers*, 21(1), 2378854. <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2378854>
- Karadag, R., & Yildiz, Y. (2021). Examination of dyeing properties of the dyed organic cotton knitting fabrics using yarrow (*Achillea biebersteinii* Afan and *Achillea millefolium* L.). *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1946881>
- Karadag, R., Buyukakinci, B. Y., & Torgan, E. G. (2022). Extraction and natural cotton dyeing of valonia oak and Anatolian buckthorn by microwave irradiation. *Journal of Natural Fibers*, 19(1), 159–172. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1731907>
- Karadag, R., Pars, A., & Ozen, M. S. (2024). Examination of laser radiation effect on silk fabrics dyed with different concentrations of cochineal using iron and alum mordants. *The Journal of The Textile Institute*. <https://doi.org/10.1080/00405000.2024.2361975>
- Mijas, G., Josa, M., Cayuela, D., & Riba-Moliner, M. (2022). Study of dyeing process of hemp/cotton fabrics by using natural dyes obtained from *Rubia tinctorum* L. and *Camelina officinalis*. *Polymers*, 14(21), 4508. <https://doi.org/10.3390/polym14214508> MDPI
- Ozdemir, M. B. (2024). A revealed comparative analysis of Buckthorn (*Rhamnus* sp.) as an economic and trade prospect. *Journal of Natural Fibers*, 21(1), 2428385. <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2428385>
- Ozdemir, M. B., & Karadag, R. (2022). Madder (*Rubia tinctorum* L.) as an economic factor under sustainability goals in the textile dyeing. *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2128968>
- Ozdemir, M. B., & Karadag, R. (2023). Anatolian acorn oak's economic potential in the application to the textile and leather industries. *Textile & Leather Review*. <https://doi.org/10.31881/TLR.2023.044>
- Ozdemir, M. B., Karadag, R., & Koseoglu, I. (2025). Agricultural production and international trade analysis of competitiveness between natural and conventional dyes in the textile industry. *Scientific Reports*, 15(1), 21596. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-05032-x>
- Pars, A., & Karadag, R. (2022). Applications of laser radiation on cotton fabrics dyed with gall oak (*Quercus infectoria* Olivier). *Journal of Textiles and Engineer*. <https://doi.org/10.7216/1300759920222912706>
- Pars, A., Karadag, R., Ozen, M. S., & Sancak, E. (2022). The effect of laser radiation in different mordant and ratios on silk fabrics dyed with weld (*Reseda luteola* L.). *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1993472>
- Torgan Güzel, E., & Karadag, R. (2019). Sustainability of organic cotton fabric dyeing

with a natural dye (gallnut) and analysis by multitechnique approach. *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1687064>

Torgan Güzel, E., Karadag, R., & Alkan, R. (2020). Durability, antimicrobial activity and HPLC analysis of dyed silk fabrics using madder and gall oak. *Journal of Natural Fibers*, 17(11), 1654–1667. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1588827>