
Çoşkun, G. & Tağı, S. Ö. (2020). Pamuklu Kumaşların Doğal Boyarmaddelerle Boyamasında Mikrodalga Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi. *Folklor Akademi Dergisi*. Cilt:3, Sayı: 4, 421 – 445.

Makale Bilgisi / Article Info

Geliş / Recieved: 28.10.2020

Kabul / Accepted: 13.11.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

PAMUKLU KUMAŞLARIN DOĞAL BOYARMADDELERLE BOYAMASINDA MİKRODALGA KULLANIMININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Gökçe ÇOŞKUN* & Sema ÖZKAN TAĞI**

Öz

Artan çevresel farkındalığın bir sonucu olarak, tekstil ürünlerinin doğal boyarmaddelerle renklendirilmesi ve boyama proseslerinde ekolojik üretim yöntem ve teknolojilerinin kullanılması her geçen gün daha çok önem kazanmaktadır. Hızlı, homojen ve etkili ısıtma sağlayan mikrodalga teknolojisi, tekstil yaş işlemlerinde çevre dostu alternatif yeni bir yöntem olarak ilgi çekmektedir. Mikrodalga teknolojisinin, pamuklu kumaşların kökboya ile renklendirilmesinde kullanımının konvansiyonel boyama ile kıyaslanması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, %100 pamuklu dokuma kumaşlar, kökboya (*Rubia tinctorum* L.) kullanılarak hem konvansiyonel yöntemle hem de farklı sürelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanmıştır. Boyamalar hem mordansız, hem de mordan (şap ve sirke) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyamalar sonucunda elde edilen kumaşlara renk ölçümleri ve sürtme haslığı testleri yapılmış ve sonuçlar, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları pamuklu kumaşların kökboya ile boyanmasında mordansız ve sirke mordanı ile boyamalarda mikrodalga yönteminin konvansiyonel boyamaya göre renk ve sürtme haslığı özellikleri bakımından üstün sonuçların yanı sıra zaman ve enerji tasarrufu sağlayan güçlü bir alternatif oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Doğal boyama, Mikrodalga, Pamuk, Kökboya (*Rubia tinctorum* L.).

* Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Sanat ve Tasarım Fakültesi Tekstil Tasarımı Bölümü 06830 Gölbaşı / Ankara gokce.coskun@hbv.edu.tr Orcid: 0000-0002-9156-2214

** Prof. Dr. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Sanat ve Tasarım Fakültesi Tekstil Tasarımı Bölümü 06830 Gölbaşı / Ankara sema.tagi@hbv.edu.tr Orcid: 0000-0002-2845-8262

ANALYZING THE EFFECTS OF MICROWAVE ON NATURAL DYEING OF COTTON FABRICS

Abstract

*As a result of increasing environmental awareness, the use of ecological production methods and technologies in dyeing processes and natural dyes for coloring textile products is becoming more and more important every day. Microwave technology, which provides fast, homogeneous and effective heating, attracts attention as an environmentally friendly alternative new method in textile wet processes. In this study, which aims to compare the use of microwave technology with conventional dyeing method in coloring cotton fabrics with madder (*Rubia tinctorum* L.), 100% cotton woven fabrics were dyed by using madder both with conventional method and microwave energy for different processing times. The dyeing were carried out with and without mordant (alum and vinegar). Color measurements and rubbing fastness tests were performed on the dyed fabrics and the results were evaluated comparatively. The results of the study showed that the microwave method in dyeing cotton fabrics with madder provides superior results in terms of color and rubbing fastness compared to conventional dyeing as well as a strong alternative that saves both time and energy.*

Keywords: *Natural dyeing, Microwave, Cotton, Madder (*Rubia tinctorum* L.).*

1. Giriş

İlkçağlardan beri tekstil malzemelerinin, son ürüne estetik değer katabilmek ve ticari olarak değer kazandırabilmek için çeşitli boyarmadde ve yöntemlerle renklendirildiği bilinmektedir. Sentetik boyarmaddelerin keşfedilip ticarileşmesine kadar olan süreçte bu işlemler sadece doğal kaynaklı renklendiricilerle gerçekleştirilmiştir. Kırmızı renk eldesinde kullanılan önemli bitkisel doğal boyarmadde kaynağı olan kökboya (*Rubia tinctorum* L.) bitkisinin, boyamacılıkta kullanılan kısımları kökleridir. Yapısındaki en önemli renklendirici maddeler, antrakinonlar, *Alizarin*, *Purpurin*, *Pseudopurpurin*, *Rubiadin* ve *Munjistindir*. Kökboyanın tanımlanabilen bu 6 komponenti, farklı absorpsiyon özelliklerine sahip olup, kökboya ile yapılan boyamada elde edilen kırmızı renk, bu bileşenlerin karışımıdır (Gulrajani, 2001:196; Deveoğlu ve Karadağ, 2011:23; Kumar ve Konar, 2011:29).

Doğal boyamacılıkta kullanılmış olan hayvansal ve bitkisel boyarmaddeler 19. yüzyılın sonlarında sentetik boyarmaddelerin sentezleri ile birlikte giderek azalmış ve hatta ortadan kalkma noktasına gelmiştir. Günümüzde ise sentetik boyarmaddelerin birçoğunun toksik, kanserojen ve atıklarının çevre kirliliğine neden olduğunun anlaşılmış olması doğal boyamacılığı yeniden gündeme taşımıştır (Karadağ, 2007). 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren çevre kirliliğinin ciddi boyutlara ulaşması, diğer endüstrilerle birlikte tekstil endüstrisini de etkilemiştir. Artan çevresel farkındalığın bir sonucu olarak tekstil renklendirme proseslerinde kimyasal, su ve enerji tüketiminin ve atık miktarının azaltıldığı üretim teknolojilerine ilgi artmaktadır. Bilinçli tüketiciler tercihlerini çevreye daha az zarar veren ürünlerden yana kullanmaktadır (Rüzgar 2019:1). Bu durum özellikle tekstil sektöründe en yüksek çevre kirliliğine sebep olan boya, baskı uygulamalarında daha ekolojik üretim yöntem ve teknolojilerinin önem kazanmasını sağlamaktadır.

Bilimsel araştırmalar ekolojik bir yaklaşımla modern teknikleri kullanarak renk verimi ve haslık özelliklerinin artırılması suretiyle doğal boyalarla renklendirme sonuçlarının iyileştirilebildiğini göstermektedir (İşmal, 2019: 42). Tekstil yüzeylerinin doğal boyarmaddeler ile renklendirilmesinde kullanılan alternatif teknolojilere, ultrason, plazma,

ozon, enzimler, gama ışınları, UV ışınları ve mikrodalga, yeni ve çevre dostu alternatif modern teknolojiler örnek olarak gösterilebilir.

Mikrodalga, elektromanyetik spektrumun radyo dalgaları ile kızıl ötesi ışınlar arasındaki bölümde kalan, frekansları 1 GHz ila 1000 GHz arasında, dalga boyları 0.1–100 cm olan elektromanyetik dalgalardır (Çay, 2010:30). Mikrodalga teknolojisi, yüksek frekansa dönüştürülen elektrik enerjisinin elektromanyetik dalga olarak maddenin içine dalıp, molekülleri (özellikle su moleküllerini) kutuplaştırarak titreştirmesine dayanır. Yüksek hızda gerçekleşen bu titreşim sonucunda radyo dalgasının taşıdığı enerji, madde içinde ısıya dönüşür (Oktay, 2009:52). En yaygın kullanım alanı gıda endüstrisi olan mikrodalga ile ısıtma teknolojisi, günümüzde endüstriyel ürünlerin kurutulması yada eritilmesi, kimyasal reaksiyonların hızlandırılması, plazma üretimi veya mineral prosesleri gibi amaçlarla pek çok farklı endüstride kullanım alanı bulmaktadır (Konak vd., 2009:20-21).

Mikrodalga radyasyonu, maddenin partiküllerine kolay nüfuz etme özelliği ile tüm partiküllerin aynı anda ısıtılmasını sağlayarak hızlı, homojen ve etkili ısıtma sağladığı için çevre dostu alternatif yeni bir yöntem olarak ilgi çekmektedir (Büyükkıncı, 2012:428; Özgen vd., 2018:66). Mikrodalga teknolojisinin tekstil sektöründe kullanımı ile ilgili uygulamalar ve akademik çalışmalar, ısıtma, kurutma, kondenzasyon, yüzey modifikasyonu, ön terbiye işlemleri, boyama, renklendirme veya apre sonrası fiksaj, yünlü kumaşların dezenfektasyonu gibi alanları kapsamaktadır (Özerdem vd., 2008:290).

Tekstil endüstrisinde mikrodalga kullanımı ile ilgili ilk gelişmelerden biri Ciba-Geigy, Ltd, şirketinin 1966 yılında aldığı (Ciba-Geigy, 1966) bir İngiliz patentidir. Patentte tekstil malzemelerinin reaktif boyalarla boyanmasında ve baskısında mikrodalga ısıtması önerilmekte ve mikrodalgaların hızlı homojen ısıtma sağlayarak homojen renklendirmeyi mümkün kıldığı iddia etmektedir (Griffin ve Hendrix, 1986:117). Tekstil boyama proseslerinde mikrodalga kullanımı ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların önemli bir bölümünün, boyama öncesinde kumaş yüzeylerine uygulanan bir ön işlem olarak (Sun vd., 2005; Kale ve Bhat, 2011; Adeel vd., 2018a; Kiran vd., 2018; Özgen vd., 2018; Xue, 2016; Ghaffar vd., 2019; Zhan vd., 2020) ve boya- baskı sonrası fiksaj yöntemi olarak (Evans ve Skelly, 1972; Mexatas vd., 1978; Hakeim vd. 2003; Abdel-Thalouth vd., 2014; Elmaaty vd., 2018) mikrodalga ışınlarından faydalanılan uygulamalardan oluştuğu gözlemlenmiştir.

Literatürde daha kısıtlı sayıda da olsa mikrodalga teknolojisinin tekstilde konvansiyonel boyamaya alternatif olarak önerildiği çalışmalar yer almaktadır. Bunlardan bazıları, polyesterin dispers boyanmasında (Berns ve Needles, 1979;Haggag vd., 1995;Xu ve Yang, 2002;Kim, 2003; Haghi, 2008; Saleh, 2013), yünlü kumaşların çeşitli sentetik boyarmaddelerle boyanmasında (Delaney, 1972; Zhao, 2017), pamuklu kumaşların reaktif, direkt ve küp boyarmaddelerle boyanmasında (Montazer ve Alibakhshi, 2007; Haggag vd., 2012; Lei vd., 2013; Adeel vd., 2018c; Irfan vd., 2018), polipropilen liflerinin boyanmasında (Yiğit ve Teker, 2011; Şahinbaşkan vd, 2017), PBT liflerinin boyanmasında (Öner vd., 2013; Yıldırım, 2015) mikrodalga yönteminin kullanıldığı çalışmalardır.

Son yıllarda literatürde daha ziyade tekstil yüzeylerinin doğal boyarmaddelerle renklendirilmesinde boyarmadde ekstraktının elde edilmesi ve boyama süreçlerinde mikrodalga enerjisinden faydalanılan çalışmalar (Chen vd., 2010; Elshemy, 2011; Chao, 2013; Ali vd., 2014; El-Khatib vd., 2014; Ali ve Khatib, 2016; Hussaan vd., 2017; Adeel vd., 2018b; Zuber vd., 2019; Adeel vd., 2020a; Adeel vd., 2020b; Adeel vd., 2020c; Eyüpoğlu, 2020; Karadağ vd., 2020; Kiran vd., 2020; Naveed vd., 2020) yer almakta ve bu çalışmalarda genel olarak mikrodalga yöntemi, konvansiyonel boyamaya alternatif olabilecek çevreci bir yöntem olarak sunulmaktadır. Çalışmaların daha ziyade yün ve ipek gibi protein liflerinin çeşitli bitkisel ve hayvansal kaynaklı boyarmaddelerle renklendirilmesi üzerine gerçekleştirildiği görülmüştür.

Literatürdeki çalışmalar genel anlamda değerlendirildiğinde, mikrodalga ile sağlanan üniform ısıtma sayesinde işlemin etkinliğinin, boya alımının ve boyama oranının arttığı, enerji ve zamandan tasarruf edildiği, konvansiyonel boyamaya alternatif bir teknik olduğu söylenebilir. Araştırmalar sırasında pamuklu kumaşların kökboya ile boyanmasında mikrodalga yönteminin etkilerinin incelendiği ayrıntılı bir parametre çalışmasına rastlanmamıştır.

Pamuklu kumaşların bitkisel kaynaklı bir doğal boyarmadde olan kökboya (*Rubia tinctorum L.*) ile mordansız ve mordanlı olarak hem konvansiyonel yöntemle hem de farklı sürelerde mikrodalga enerjisi verilerek boyandığı bu çalışmada, elde edilen kumaşlara renk ölçümleri ve sürtme haslığı testleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Ekolojik bir yöntem olarak tekstil yaş işlemlerinde giderek daha çok ilgi çeken ve özellikle doğal boyamacılıkta kullanımı son yıllarda akademik çalışmalara sıkça konu olan mikrodalga teknolojisinin, pamuklu kumaşların kökboya ile renklendirilmesinde kullanılarak konvansiyonel boyama ile kıyaslanması ile ilgili sonuçların akademik literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada, çözgü sıklığı 32 tel/cm, atkı sıklığı 27 tel / cm, gramajı 130 g/m² olan haşıl sökme ve ağartma işlemleri yapılmış bezayağı dokuma örgü raporuna sahip %100 pamuklu kumaşlar kullanılmıştır.

Bitkisel kaynaklı doğal boyarmadde olarak kullanılan kökboya, *Rubia tinctorum* L. bitkisinin kökleri öğütülüp toz haline getirilerek elde edilmiştir.

Kullanılan mordan maddeleri, şap olarak da bilinen alüminyum potasyum sülfat ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) ve üretici firma etiketine göre %4-5 asetik asit içeriğine sahip olan elma sirkesidir.

Mikrodalga enerjisi ile boyama işlemlerinde Samsung M 1610W model (600 W çıkış gücü – 2450 MHz çalışma frekansı) mikrodalga fırın kullanılmıştır.

Kumaşların renk ölçümleri X-rite SP60 model portatif spektrofotometre; sürtme haslığı testleri ise manuel krokmetre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

Deneyisel araştırma modeli kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada pamuklu kumaşlar, 60°C sıcaklıkta sabunlu suda 30 dakika yıkandıktan sonra soğuk durulama yapılarak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Her biri 15 x 15 cm boyutlarında kesilen kumaş numuneleri hassas terazide tartılarak ağırlıkları tespit edilmiştir. Kumaş ağırlığına göre 100:100 oranında bitki, 1:100 oranında su içerisinde, 1 saat kaynatılarak boyarmadde ekstraksiyonu hazırlanmıştır.

Hazırlanan ekstrakt kullanılarak konvansiyonel ve mikrodalga yöntemleri ile mordansız ve mordanlı (şap ve sirke) boyamalar

gerçekleştirilmiş, mordanlama işlemi “birlikte mordanlama yöntemi” ile yapılmıştır.

2.2.1. Konvansiyonel boyama işlemi

Her pamuklu kumaş numunesi için 1:100 flotte oranında 3 ayrı boya çözeltisi hazırlanmıştır.

Mordansız konvansiyonel boyama

İlk boya çözeltisine herhangi bir mordan maddesi ilave edilmeksizin numune 1 saat boyunca banyo içerisinde ara ara karıştırılarak kaynatılmıştır. Boyama sonunda kumaşa soğuk durulama işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Şap mordanlı konvansiyonel boyama

İkinci boya çözeltisi içerisine mordan maddesi olarak kumaş ağırlığının % 30’u kadar şap ilave edilmiştir. Şap çözelti içerisinde tamamen eridikten sonra kumaş boya banyosuna ilave edilmiş ve 1 saat boyunca aralıklarla karıştırılarak kaynatılmıştır. Boyama sonunda kumaşa soğuk durulama işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Sirke mordanlı konvansiyonel boyama

Üçüncü boya çözeltisinin içerisine mordan maddesi olarak kumaş ağırlığının % 30’u kadar sirke ilave edilmiştir. Çözelti iyice karıştırıldıktan sonra kumaş boya banyosuna ilave edilmiş ve 1 saat boyunca aralıklarla karıştırılarak kaynatılmıştır. Boyama sonunda kumaşa soğuk durulama işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

2.2.2. Mikrodalga yöntemiyle boyama işlemi

Her bir pamuklu kumaş numunesi için 1:100 flotte oranında boya çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerin tamamı oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra boyama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Boyama işlemlerinde uygulanan mikrodalga gücü, makinenin en yüksek güç ayarı olan 600 W olarak sabit tutulmuş, değişken parametre olarak boyama süreleri (5dk, 10dk, 15dk, 20dk, 25dk) kabul edilmiştir.

Mordansız mikrodalga boyama

Her bir boya çözeltisine bir kumaş numunesi daldırılıp herhangi bir mordan ilavesi yapılmaksızın mikrodalga fırında 5, 10, 15, 20 ve 25 dakikalık toplam 5 adet boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyamalar süresince her numune eşit aralık ve sürelerde 3 defa karıştırılmıştır. Boyama sonunda kumaşa soğuk durulama işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Şap mordanlı mikrodalga boyama

Her bir boya çözeltisine içerisine mordan maddesi olarak kumaş ağırlığının % 30'u kadar şap ilave edilmiştir. Şap çözelti içerisinde tamamen eridikten sonra her bir boya çözeltisine bir kumaş numunesi ilave edilmiştir. Hazırlanan numunelerle mikrodalga fırında 5, 10, 15, 20 ve 25 dakikalık toplam 5 adet boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyamalar süresince her numune eşit aralık ve sürelerde 3 defa karıştırılmıştır. Boyama sonunda kumaşa soğuk durulama işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Sirke mordanlı mikrodalga boyama

Her bir boya çözeltisine içerisine mordan maddesi olarak kumaş ağırlığının % 30'u kadar sirke ilave edilmiştir. Çözelti iyice karıştırıldıktan sonra her bir boya çözeltisine bir kumaş numunesi eklenmiştir. Hazırlanan numunelerle mikrodalga fırında 25, 10, 15, 20 ve 25 dakikalık toplam 5 adet boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyamalar süresince her numune eşit aralık ve sürelerde 3 defa karıştırılmıştır. Boyama sonunda kumaşa soğuk durulama işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

2.2.3. Renk ölçümleri

Boyanan tüm kumaşlara renk ölçümü yapılmıştır. Ölçümler her bir kumaş için 5 ayrı noktadan gerçekleştirilmiş olup elde edilen değerlerin ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Kumaşların renk değerleri CIE-Lab renk uzayında belirlendikten sonra

$$\Delta E = [(L1-L0)^2 + (a1-a0)^2 + (b1-b0)^2]^{1/2}$$

eşitliğinden faydalanılarak farklı teknikler ve sürelerle boyanmış kumaşların boyanmamış kontrol grubuna göre renk farkı hesaplanmıştır.

2.2.4. Sürtme haslığı testleri

Sürtme haslığı tayini için sürtme cihazın (krokmetre) alt kısmına boyalı kumaş numuneleri, üst kısmındaki sürtme ucuna ise refakat bezi (5x5cm boyutunda kesilmiş, kuru, boyasız bezayağı pamuklu kumaş) yerleştirilmiştir. Kuru numunelerin 10 cm'lik kısmı boyunca düz bir hat üzerinde 10 saniyede 10 defa ileri geri sürtünmesi sağlanmıştır. İşlem sonucunda test edilen numunelerin refakat bezini lekeleme derecesi, TS 423' e göre gri skala kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmadan elde edilen bulgular; boyama işlemlerinden, renk ölçümlerinden ve sürtme haslığı testlerinden elde edilen bulgular olmak üzere 3 başlık altında ele alınmıştır.

3.1.Boyama işlemlerinden elde edilen bulgular

Pamuklu kumaşların kökboya ile mordansız ve mordanlı olarak konvansiyonel ve farklı sürelerde mikrodalga yöntemiyle boyanması sonucu elde edilen kumaşların görüntüleri Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Pamuklu kumaşların boyama sonrası görüntüleri

Yöntem	1	2	3	4	5	0
	MW 5dk	MW 10dk	MW 15dk	MW 20dk	MW 25dk	KONVANS. 1 saat
A (Mordansız)						
B (Şap Mordanlı)						
C (Sirke Mordanlı)						

Tablo 1 incelendiğinde mikrodalga yöntemi ile boyamada süre artışı ile kumaşların boyanma miktarı arasında doğrusal bir ilişki olduğu, tüm numuneler için 5 dakikalık boyamalardan (A1, B1, C1) çok açık renkler elde

edildiği, süre arttıkça renklerin koyulaştığı gözlemlenmektedir. Boyama esnasında yapılan gözlemler, çözeltilerin 5 dakikaya yakın sürelerde kaynamaya başladığını göstermiştir. Kaynama yeni başladığında işlem sonlandırıldığı için bu sürede boyamanın gerçekleştirilememiş olması beklenen bir sonuçtur. Konvansiyonel boyamaya (A0, B0, C0) en yakın görüntülerin 25 dakikalık mikrodalga boyamalarından (A5, B5, C5) elde edildiği, hatta mordansız ve sirke mordanlı boyamada 20 dakikalık mikrodalga boyamasının bile (A4, C4) konvansiyonel boyamaya (A0, C0) oldukça yakın bir görüntü verdiği tespit edilmiştir. Şap mordanı kullanılan boyamalarda ise renklerin konvansiyonel boyamaya göre oldukça açık olduğu, 25 dakikalık boyamada bile (B5) konvansiyonel boyamanın görüntüsüne (B0) yaklaşamadığı görülmektedir. Bu durum şapın mordan maddesi olarak etkisini göstermesinde uygulanan sıcaklıktan ziyade uygulama süresinin daha etkili olduğunu düşündürmektedir.

Mikrodalga yöntemiyle yapılan boyamalar genel olarak homojen görüntüler vermiş olup bu durum, mikrodalga fırının ısıtma mekanizmasının yüzeyden içeriye doğru değil her noktada aynı anda ve eşit derecede ısı verme şeklinde olması ile ilişkilendirilmiştir. Deneylelerin her biri tek parça numune ile gerçekleştirildiğinden konvansiyonel boyamada da homojen bir görüntü elde edilmiştir. Ancak daha büyük miktarlarda kumaş boyamalarında mikrodalga konvansiyonel metoda göre homojen renk dağılımı açısından avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Mordansız (A), şap mordanlı (B) ve sirke mordanlı (C) gruplar incelendiğinde ise mordan kullanımının kumaşların renk tonlarında yarattığı farklılıklar açıkça görülmektedir. Mordansız (A) ve sirke mordanlı (C) boyamalarda renk tonları birbirine benzemekte ancak şap mordanı (B) kullanımında daha açık renk ve somon tonlarında boyamalar yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu durum, farklı mordan maddelerinin pamuk elyafı ile boyarmadde arasında farklı bağlar oluşmasına neden olması, buna bağlı olarak da farklı bağ enerjilerine sahip malzemelerin absorbe ettiği ve yansıttığı ışık miktarının değişiklik göstermesi (Mc Donald, 1997:45) ile açıklanabilir.

3.2. Renk ölçüm sonuçları

Pamuklu kumaşların kökboya ile farklı mordan maddeleri ve farklı boyama sürelerinde boyanmasında mikrodalga enerjisi kullanımının

konvansiyonel boyama yöntemi ile kıyaslanabilmesi için tüm numunelerin CIE-Lab renk uzayındaki renk ölçümlerinden elde edilen ortalama değerleri kullanılarak boyanmış kumaşların boyanmamış kumaşa göre renk farkı (ΔE) değerleri hesaplanmıştır. Ölçülen ortalama L^* a^* b^* renk değerleri ve hesaplanan ΔE değerleri Tablo 2-4'te sunulmuştur.

Tablo 2'de Konvansiyonel yöntemle (A0) ve mikrodalga yöntemiyle farklı sürelerde (A1-A5) gerçekleştirilen mordansız boyamalar ile renklendirilen kumaşların L^* (açıklık-koyuluk), a^* (kırmızılık-yeşillik), b^* (sarılık-mavilik) değerleri ve boyanmamış kumaşa göre ΔE renk farkı değerleri görülmektedir.

Tablo 2. Mordansız boyamalardan elde edilen renk değerleri

Numune kodu	Ortalama Renk değerleri	StdSp (\pm)	ΔE
A0	L	64,76	0,41
	a	24,27	0,22
	b	8,95	0,23
A1	L	76,74	0,83
	a	16,23	0,94
	b	4,98	0,25
A2	L	66,60	0,83
	a	23,05	0,72
	b	6,47	0,39
A3	L	64,36	0,76
	a	23,55	0,31
	b	6,93	0,20
A4	L	63,12	1,40
	a	23,89	0,79
	b	7,53	0,31
A5	L	61,83	0,86
	a	24,65	0,53
	b	7,09	0,11

A0: Konvansiyonel boyama

A3: Mikrodalga-15dk

A1: Mikrodalga-5dk

A4: Mikrodalga-20dk

A2: Mikrodalga-10dk

A5: Mikrodalga-25dk

Tablo 2’de yer alan verilere göre;

Mikrodalga yöntemi ile mordansız boyanan kumaşların L* (Lightness) değerlerinin boyama süresi arttıkça düşüş göstermesi, boyama süresi arttıkça renklerin koyulaştığını ifade etmektedir. Mikrodalgada 15 dakika boyanan A3 numunesinin L* değerinin konvansiyonel yöntemle boyanan kumaşın L* değerini yakaladığı, mikrodalgada 20 ve 25 dakika boyanan A4 ve A5 numunelerinin ise konvansiyonel boyamada elde edilenden daha koyu renklere sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Mikrodalga yöntemi ile mordansız boyanan kumaşların a* (kırmızılık-yeşillik) değerleri incelendiğinde boyama süresi arttıkça renkteki kırmızı nüansın düzenli olarak artış gösterdiği görülmektedir. Mikrodalgada 15 dakika ve 20 dakika boyanan A3 ve A4 numunelerinin kırmızılığının konvansiyonel yöntemle boyanan kumaşın a* değerine oldukça yakın; mikrodalgada 25 dakika boyanan A5 numunesinin kırmızılığının ise konvansiyonel boyamada elde edilenden daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Mikrodalga yöntemi ile mordansız boyanan kumaşların b* (sarılık-mavilik) değerleri incelendiğinde boyama süresi arttıkça kumaşlarda sarı nüansın arttığını ancak 25 dakika boyanan A5 numunesinde sarı nüansın düşmeye başladığı görülmektedir.

Hesaplanan standart sapma değerleri genel olarak tüm numunelerde 1’in altında ve düşüktür. Bu durum tüm numunelerde homojen bir boyama sağlandığını göstermektedir. Konvansiyonel boyamada standart sapmaların bir miktar daha düşük oluşu kaynatma işleminin kumaşlar açık formdayken yapılmasına, mikrodalga boyamalarda ise beher içerisinde kısmen daha sıkışık formda yapılmasına bağlanmıştır.

Kumaşların boyanmamış kumaş numunesine göre ΔE renk farkı değerleri incelendiğinde 15 dakika mikrodalgada boyanan A3 numunesinin ΔE değeri, konvansiyonel boyama ile elde edilen A0 numunesinin ΔE değerine oldukça yakın, 20 ve 25 dakika boyanan A4 ve A5 numunelerinin ΔE değerlerinin ise konvansiyonel boyadan daha yüksek olduğu görülmektedir.

Mordansız boyamalar için genel bir değerlendirme yapılacak olursa; mikrodalga kullanılarak 20 dakikada gerçekleştirilen boyamanın,

konvansiyonel yöntemde 1 saat süreyle kaynatılarak gerçekleştirilen boyamadan renk değerleri açısından daha iyi sonuç verdiğini söylemek mümkündür. Bu durumun boyama işleminde %65'in üzerinde zaman tasarrufu ve buna bağlı olarak önemli miktarda enerji tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 3'de konvansiyonel yöntemle (B0) ve mikrodalga yöntemiyle farklı sürelerde (B1-B5) gerçekleştirilen şap mordanlı boyamalar ile renklendirilen kumaşların L* (açıklık-koyuluk), a* (kırmızılık-yeşillik), b* (sarılık-mavilik) değerleri ve boyanmamış kumaşa göre ΔE renk farkı değerleri görülmektedir.

Tablo 3. Mordanlı (Şap) boyamalardan elde edilen renk değerleri

Numune kodu		Ortalama Renk değerleri	Std Sp (\pm)	ΔE
B0	L	63,48	0,64	44,78
	a	26,27	0,45	
	b	22,09	0,23	
B1	L	80,40	0,36	22,45
	a	11,34	0,38	
	b	13,74	0,77	
B2	L	72,36	0,85	33,09
	a	20,67	0,75	
	b	16,29	0,33	
B3	L	71,96	0,62	33,24
	a	20,92	0,75	
	b	15,94	0,24	
B4	L	70,13	1,05	34,41
	a	22,19	0,58	
	b	14,84	0,22	
B5	L	70,23	0,27	35,07
	a	22,25	0,52	
	b	16,07	0,19	

B0: Konvansiyonel boyama

B3: Mikrodalga-15dk

B1: Mikrodalga-5dk

B4: Mikrodalga-20dk

B2: Mikrodalga-10dk

B5: Mikrodalga-25dk

Tablo 3'te yer alan verilere göre;

Şap mordanı ile mikrodalgada boyanan kumaşların L* (Lightness) değerlerinin boyama süresi arttıkça düşüş gösterdiği, ancak 20 dakikalık boyama (B4) ile 25 dakikalık boyamanın (B5) L* değerleri arasında önemli bir fark olmadığı gözlemlenmektedir. Boyama süresi arttıkça renklerin bir miktar koyulaştığını ancak en yüksek sürede bile konvansiyonel yöntemle boyanan kumaşın L* değerine yaklaşılamadığını söylemek mümkündür.

Mikrodalgadaşap mordanı ile boyanan kumaşların a* (kırmızılık-yeşillik) değerleri incelendiğinde boyama süresi arttıkça renkteki kırmızı nüansın düzenli olarak artış gösterdiği görülmektedir. Ancak mikrodalga yöntemiyle boyanan hiçbir kumaşın kırmızılık değerinin konvansiyonel yöntemle boyanan kumaşa yaklaşmadığı görülmüştür.

Mikrodalgada şap mordanı ile boyanan kumaşların b* (sarılık-mavilik) değerleri incelendiğinde renklerdeki sarı nüansın zamana bağlı olarak düzenli bir değişim göstermediği dalgalanmalar yaşandığı görülmektedir. Kumaşların hiç birinin b* değeri konvansiyonel boyamadan elde edilen rengin b* değerine yakın değildir.

Hesaplanan standart sapma değerleri genel olarak tüm numunelerde 1'in altında ve düşüktür. Bu durum tüm numunelerde homojen bir boyama sağlandığını göstermektedir. Mikrodalgada yapılan boyamaların standart sapma değerleri konvansiyonel boyamaların standart sapma değerlerine yakın hatta bir miktar daha düşüktür. Bu durum mikrodalga enerjisinin homojen ısıtma mekanizmasına bağlı olarak beher içinde kırıyık formda bulunan kumaşın bile daha homojen boyanmasını sağladığını göstermektedir.

Kumaşların boyanmamış kumaş numunesine göre ΔE renk farkı değerleri incelendiğinde boyama süresi arttıkça ΔE değerinin arttığı, ancak 25 dakikalık boyamada bile konvansiyonel boyama ile elde edilen ΔE değerine ulaşamadığı görülmektedir.

Şap mordanı ile yapılan boyamalar için genel bir değerlendirme yapmak gerekirse; mikrodalga yöntemi ile istenen sonuçların alınamadığı, renk değerlerinin 25 dakikada bile konvansiyonel boyamadan elde edilen renklere yaklaşmadığı gözlemlenmiştir. Sürenin daha da artırılarak rengin koyulaştırılmaya çalışması mikrodalga yönteminden beklenen zaman ve enerji tasarrufu avantajlarını ortadan kaldıracığından, mikrodalga yönteminin

şap mordanı ile boyamalarda konvansiyonel yöntemle iyi bir alternatif olmadığı düşünülmektedir. Sonuçlar, şapın mordan maddesi olarak etkisini göstermesinde uygulanan sıcaklıktan ziyade uygulama süresinin daha etkili olduğu yönünde yorumlanmıştır.

Tablo 4'te Konvansiyonel yöntemle (C0) ve mikrodalga yöntemiyle farklı sürelerde (C1-C5) gerçekleştirilen sirke mordanlı boyamalar ile renklendirilen kumaşların L* (açıklık-koyuluk), a* (kırmızılık-yeşillik), b* (sarılık-mavilik) değerleri ve boyanmamış kumaşa göre ΔE renk farkı değerleri görülmektedir.

Tablo 4. Mordanlı (Sirke) boyamalardan elde edilen renk değerleri

Numune kodu	Ortalama Renk değerleri	Std Sp (\pm)	ΔE	
C0	L	62,41	1,27	39,13
	a	25,73	0,57	
	b	9,04	0,43	
C1	L	77,82	0,56	19,97
	a	14,60	0,57	
	b	4,60	0,56	
C2	L	68,87	1,29	30,47
	a	21,78	0,76	
	b	3,73	0,51	
C3	L	63,71	0,41	35,92
	a	24,15	0,31	
	b	4,52	0,29	
C4	L	63,51	0,70	36,60
	a	24,44	0,43	
	b	5,86	0,32	
C5	L	59,48	0,31	40,25
	a	24,39	0,40	
	b	8,20	0,48	

C0: Konvansiyonel boyama

C3: Mikrodalga-15dk

C1: Mikrodalga-5dk

C4: Mikrodalga-20dk

C2: Mikrodalga-10dk

C5: Mikrodalga-25dk

Tablo 4'te yer alan verilere göre;

Sirke mordanı ile mikrodalgada boyanan kumaşların L* (Lightness) değerlerinin boyama süresi arttıkça düşüş göstermesi, boyama süresi arttıkça renklerin koyulaştığını göstermektedir. Mikrodalgada 15 dakika boyanan C3 ve 20 dakika boyanan C4 numunelerinin L* değerlerinin konvansiyonel yöntemle boyanan kumaşın L* değerine yakın olduğu, mikrodalgada 25 dakika boyanan C5 numunesinin ise konvansiyonel boyamada elde edilenden daha koyu renklere sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Mikrodalgada sirke mordanı ile boyanan kumaşların a* (kırmızılık-yeşillik) değerleri incelendiğinde boyama süresi arttıkça renkteki kırmızı nüansın artış gösterdiği 15. dakikadan sonra kumaşın a* değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Konvansiyonel yöntemle boyanan kumaşın kırmızılık değerine mikrodalgada 15 dakikadan itibaren çok yaklaşmış ancak artışlar çok küçük olduğundan 25 dakikalık boyamada bile bu değer üzerinde çıkılamamıştır.

Mikrodalga yöntemi ile mordan olarak sirke kullanılarak boyanan kumaşların b* (sarılık-mavilik) değerleri incelendiğinde 15 dakikalık boyamadan itibaren rengin sarı nüansında düzenli bir artış gözlemlenmektedir. 25 dakika boyanan C5 numunesinin sarı nüansının konvansiyonel boyanan C0 numunesinin sarı nüansına yakın ancak bir miktar daha düşük olduğu görülmektedir.

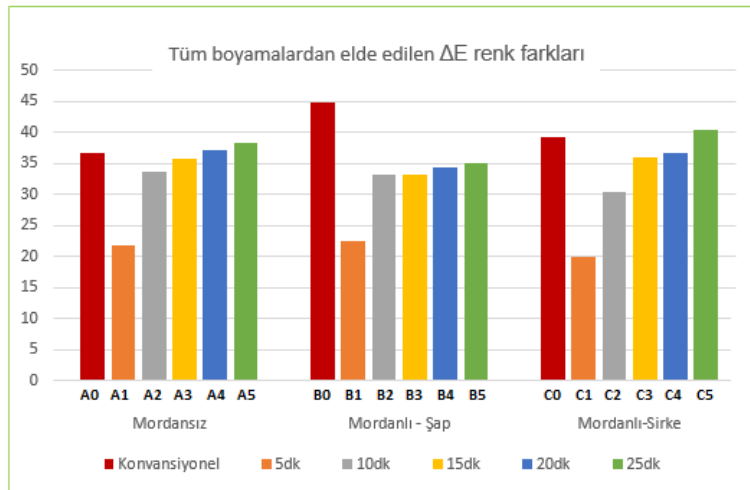
Hesaplanan standart sapma değerleri genel olarak tüm numunelerde oldukça düşüktür. Bu durum tüm numunelerde homojen bir boyama sağlandığını göstermektedir. Mikrodalgada yapılan boyamaların standart sapma değerleri konvansiyonel boyamalarınkine yakın hatta bir miktar daha düşüktür. Bu durum mikrodalga enerjisinin homojen ısıtma mekanizmasına bağlı olarak beher içinde kırışık formda bulunan kumaşın bile daha homojen boyanmasını sağladığını göstermektedir.

Kumaşların boyanmamış kumaş numunesine göre ΔE renk farkı değerleri incelendiğinde 20 dakika mikrodalgada boyanan C4 numunesinin ΔE değeri, konvansiyonel boyama ile elde edilen A0 numunesinin ΔE değerine oldukça yakın, 25 dakika boyanan C5 numunesinin ΔE değerinin ise konvansiyonel yöntemle boyanan C0'dan daha yüksek olduğu görülmektedir.

Sirke mordanlı boyamalar için genel bir değerlendirme yapılacak

olursa; mikrodalga kullanılarak 25 dakikada gerçekleştirilen boyamanın, konvansiyonel yöntemde 1 saat süreyle kaynatılarak gerçekleştirilen boyamadan renk farkı ve kırmızılık değerleri açısından daha iyi sonuç verdiğini söylemek mümkündür. Bu durumun boyama işleminde %60'a yakın zaman tasarrufu ve buna bağlı olarak önemli miktarda enerji tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır.

Mordansız ve mordan olarak şap ve sirke kullanılan boya çözeltileri ile konvansiyonel yöntemle yapılan ve mikrodalgada farklı sürelerde yapılan boyamalardan elde edilen renklerin boyanmamış kumaşa göre ΔE renk farkı değerleri aşağıdaki grafikte karşılaştırılmıştır.



Grafik 1. Tüm boyamalardan elde edilen kumaşların boyanmamış kumaşa göre ΔE renk farkı değerleri

Grafik 1 incelendiğinde boyanmamış kumaşa göre en yüksek renk farkının şap mordanlı konvansiyonel boyamadan elde edildiği ancak şap mordanlı mikrodalga boyamalarda bu renk farkı değerlerine oldukça uzak değerler elde edildiği görülmektedir. Bunu izleyen en yüksek renk farkı değerleri ise sirke mordanlı boyamalardan elde edilmiştir. Sirke mordanıyla 25 dakika mikrodalgada boyanan kumaşın renk farkı değerleri konvansiyonel boyamanın da üzerindedir. Mordansız boyamalarda ise mikrodalgada 25 dakika boyanan kumaşın renk farkı değeri sirke mordanı ile yapılan konvansiyonel boyamaya çok yakındır. Pamuklu kumaşların kökboya ile

mordansız olarak mikrodalgada boyanmasının sirke mordanlı konvansiyonel boyamaya denk sonuçlar vermesi hem mordan maddesi hem de zaman ve enerjiden tasarruf ederek tatmin edici sonuçlar elde etmenin mümkün olduğunu göstermektedir.

3.3.Sürtme haslığı test sonuçları

Boyanan kumaşlara, kuru halde iken uygulanan sürtme haslığı test sonuçları Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 5. Kuru sürtme haslığı test sonuçları

Yöntem	1	2	3	4	5	0
Mordan	MW 5dk	MW 10dk	MW 15dk	MW 20dk	MW 25dk	KONVANS. 1 saat
A (Mordansız)	2	3	3	2/3	3	2
B (Şap Mordanlı)	3/4	4	4	3/4	4	2
C (Sirke Mordanlı)	3	4	3/4	3/4	3/4	2

Tablo 5’teki veriler incelendiğinde konvansiyonel boyamalarda mordan kullanımının sürtme haslığı değerleri üzerinde etkili olmadığı ve numunelerin (A0, B0, C0) sürtme haslığı değerlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum mordansız boyamada, pamuğa afinitesi olmayan kökboyanın lifle bağ yapamamasına ve dolayısı ile sürtünme koşulları altında yüzeyden kolayca uzaklaşmasına bağlıdır. Hem lifle hem de boyarmaddeye afinitesi olan mordan maddesinin görevi, bu iki grup arasında kimyasal bağ oluşmasını sağlamaktır (Saxena ve Raja, 2014). Ancak Tablo 5’teki sonuçlar göstermektedir ki, bu çalışmada kullanılan mordan miktarı kimyasal bağların oluşması için yetersiz kalmıştır.

Tablo 5’te numunelerin sürtme haslıklarına mikrodalga enerjisinin etkileri incelendiğinde, konvansiyonel boyamalarda haslık değerleri düşük seviyelerde (2) iken mikrodalgada mordanlı olarak boyanan (B1-5, C1-5) numunelerin haslık değerlerinin orta ve iyi seviyede (3-4) olduğu

görülmektedir. Mikrodalgada mordansız boyanan numunelerde bile haslık değerlerinin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum mikrodalga enerjisinin ısıtma mekanizmasının moleküler seviyede titreşimler halinde ve her noktada eşit olarak gerçekleşmesi ile ilişkilendirilmiştir. Hızlı ısınan ve hareketlenen selüloz molekül zincirleri arasına boyarmadde ve mordan moleküllerinin kolayca nüfuz edip kovalent bağlar oluşturduğu böylece sürtünme etkisiyle boyarmaddenin liften uzaklaşmasının zorlaştığı düşünülmektedir.

Sürtme haslığı değerleri üzerinde mikrodalgada uygulanan boyama sürelerinin önemli bir etkisi olmadığı, tüm numunelerde 10. dakikadan itibaren maksimum haslık değerine ulaşıldığı görülmektedir. Bu durumun da mikrodalganın istenen sıcaklığa çok hızlı ve her yerde eşit olarak ulaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuçlar, mikrodalgada 10 dakikalık boyamalardan bile konvansiyonel yöntemle 1 saat boyama sonucunda elde edileden daha yüksek haslık değerleri elde edilebildiğini kanıtlamıştır.

4. Sonuç

Ekolojik hassasiyetler nedeniyle tekstil endüstrisinde, özellikle boyama işlemlerinde doğal kaynaklardan elde edilen boyarmaddelere yönelim vardır. Hızlı, homojen ve etkili ısıtma sağladığı için çevre dostu alternatif yeni bir yöntem olarak kabul edilen mikrodalga teknolojilerine olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Literatürde özellikle son 10 yılda tekstil mamullerinin doğal boyarmaddelerle renklendirilmesinde mikrodalga enerjisinden faydalanılan çalışmaların sayısı dikkat çekicidir. Dünyada en çok tüketilen doğal lif olan pamuktan elde edilen kumaşların doğal boyamada en çok kullanılan boyarmaddelerden biri olan kökboya (*Rubia tinctorum L*) ile renklendirilmesinde mikrodalga kullanımının etkilerinin incelenmesini ve konvansiyonel boyama yöntemi ile kıyaslanmasını amaçlayan bu çalışmanın akademik literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, %100 pamuklu dokuma kumaşlar bitkisel kaynaklı bir doğal boyarmadde olan kökboya ile mordansız ve mordanlı (şap ve sirke) olarak hem konvansiyonel yöntemle hem de farklı sürelerde mikrodalga enerjisi verilerek boyanmış, elde edilen kumaşlara renk ölçümleri ve sürtme haslığı testleri yapılarak sonuçlar, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Boyamalar sonrası elde edilen kumaşların görüntüleri değerlendirildiğinde mordansız ve mordanlı boyamalarda mikrodalgada boyama süresi arttıkça renklerin koyulaştığı, özellikle mordansız ve sirke mordanlı boyamalarda 20 ve 25 dakikalık mikrodalga boyama süreleriyle 1 saat kaynatma işlemi yapılan konvansiyonel boyamaya benzer görüntüler elde edildiği görülmüştür. Ayrıca mordan cinsinin renk tonlarını etkilediği şap mordanı ile boyanan numunelerin daha sarı nüanslı tonlar verdiği, şap mordanlı boyamalarda mikrodalga kullanımının konvansiyonel boyama kadar iyi sonuçlar vermediği tespit edilmiştir.

Renk ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, mordansız boyamada mikrodalga ile 20 dakikada, sirke mordanlı boyamada ise 25 dakikada, 1 saat kaynatma yapılan konvansiyonel boyamadan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumun boyama işleminde %60-65 civarında zaman tasarrufu ve buna bağlı olarak önemli miktarda enerji tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır. Şap mordanlı boyamalarda ise mikrodalga yönteminden arzu edilen sonuçların alınamaması, şapın mordan maddesi olarak etkisini göstermesinde uygulanan sıcaklıktan ziyade uygulama süresinin daha etkili olduğu yönünde yorumlanmıştır.

Sürtme haslığı test sonuçları değerlendirildiğinde konvansiyonel boyamalarda haslık değerleri düşük seviyelerde (2) iken mikrodalgada mordanlı olarak boyanan numunelerin haslık değerlerinin orta ve iyi seviyede (3-4) olduğu görülmüştür. Bu durum, mikrodalga enerjisi sayesinde çok düşük mordan miktarları ile bile konvansiyonel boyamaya kıyasla çok daha kısa sürede, çok daha iyi haslık sonuçları elde edilebileceğini kanıtlamıştır.

Değerlendirmeler sonucunda pamuklu kumaşların kökboya ile mordansız veya sirke mordanı ile boyanmasında mikrodalga teknolojisinin konvansiyonel boyama yöntemine hem renk hem de sürtme haslığı özellikleri bakımından güçlü bir alternatif olduğu düşünülmektedir. Mikrodalga enerjisi sayesinde mordan kullanmadan, zaman ve enerjiden tasarruf ederek renkleri mordanlı konvansiyonel boyamaya denk, sürtme haslıkları ise çok daha yüksek sonuçlar elde edebilmenin mümkün olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- ABDEL-THALOUTH, I., RAGHEB, A. A., REKABY, M., EL-HENNAWİ, H. M., SHAHİN, A. A., & HAGGAG, K. (2014). Application of microwave in textile printing of cellulosic fabrics. *Research Journal of Chemical Sciences* 4(9), 41-46.
- ADEEL, S., KHAN, S. G., SHAHİD, S., SAEED, M., KİRAN, S., ZUBER, M., ... & AKHTAR, N. (2018a). Sustainable dyeing of microwave treated polyester fabric using disperse yellow 211 Dye. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 62(1), 1-9.
- ADEEL, S., HUSSAAN, M., REHMAN, F. U., HABİB, N., SALMAN, M., NAZ, S., ... & AKHTAR, N. (2018b). Microwave-assisted sustainable dyeing of wool fabric using cochineal-based carminic acid as natural colorant. *Journal of Natural Fibers*. DOI: 10.1080/15440478.2018.1448317
- ADEEL, S., SAEED, M., ABDULLAH, A., REHMAN, F., SALMAN, M., KAMRAN, M., ... & IQBAL, M. (2018c). Microwave assisted modulation of vat dyeing of cellulosic fiber: improvement in color characteristics. *Journal of Natural Fibers*, 15(4), 517-526.
- ADEEL, S., NASEER, K., JAVED, S., MAHMMOD, S., TANG, R. C., AMİN, N., & NAZ, S. (2020a). Microwave-assisted improvement in dyeing behavior of chemical and bio-mordanted silk fabric using safflower (*Carthamus tinctorius* L) extract. *Journal of Natural Fibers*, 17(1), 55-65.
- ADEEL, S., REHMAN, F. U., HAMEED, A., HABİB, N., KİRAN, S., ZİA, K. M., & ZUBER, M. (2020b). Sustainable extraction and dyeing of microwave-treated silk fabric using arjun bark colorant. *Journal of Natural Fibers*, 17(5), 745-758.
- ADEEL, S., HABİB, N., ARİF, S., UR REHMAN, F., AZEEM, M., BATOOL, F., & AMİN, N. (2020c). Microwave-assisted eco-dyeing of bio mordanted silk fabric using cinnamon bark (*Cinnamomum Verum*) based yellow natural dye. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, 1-8.
- ALİ, N. F., EL-KHATİB, E. M., EL-MOHAMEDY, R. S. S., & RAMADAN, M. A. (2014). Antimicrobial activity of silk fabrics dyed with saffron dye using microwave heating. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 3(10), 140-146.
- ALİ, N. F., & EL-KHATİB, E. M. (2016). Green strategy for Dyeing Wool Fibers by madder Natural Dye. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(4), 635-642.
- BERNS, R. S., & NEEDLES, H. L. (1979). Microwave versus Conductive Heating Their Effect on the Solvent-assisted Dyeing of Polyester Fibre with Anthraquinonoid Disperse Dyes. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 95(6), 207-211.
- BÜYÜKAKINCI, B. Y. (2012). Usage of microwave energy in Turkish textile production sector. *Energy Procedia*, 14, 424-431.
- CHEN, M. Y., YUAN, D. H., & ZHANG, Y. P. (2010). Microwave dyeing of silk fabric with gardenia yellow. *Silk*, 8, 1-8.

Pamuklu Kumaşların Doğal Boyarmaddelerle Boyamasında Mikrodalga Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi

- CHAO, T. U. (2013). Microwave dyeing of gardenia yellow for cotton fabric. *Textile Dyeing and Finishing Journal*, 03.
- CİBA-GEİGY, LTD, British Patent 1022651, March 16, 1966.
- ÇAY, T. (2010). *Selülozik esaslı tekstil materyallerine apre maddelerinin uygulanması ve uygulama koşullarının optimizasyonu*. Yüksek lisans tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DELANEY, M. J. (1972). Pad-Batch-Microwave Dyeing of Wool. *Textile Chemist & Colorist*, 4(5), 29-32.
- EL-KHATİB, E. M., ALİ, N. F., & RAMADAN, M. A. (2014). Environmentally friendly dyeing of silk fabrics using microwave heating. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, 3, 757-764.
- EYÜPOĞLU, Ş. (2020). Yabani Ekin Çiçeğinden Elde Edilen Doğal Boya ile Keten Kumaşın Farklı Yöntemlere Göre Boyanma Özelliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8: 317- 325
- DEVEOĞLU, O., KARADAĞ, R. 2011. Genel Bir Bakış: Doğal Boyarmaddeler. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1): 21-32.
- ELMAATY, A.T., ABDELAZİZ, E., NASSER, D., ABDELFATTAH, K., ELKADİ, S., & EL-NAGAR, K. I. (2018). Microwave and Nanotechnology Advanced Solutions to Improve Ecofriendly Cotton's Coloration and Performance Properties. *Egyptian Journal of Chemistry*, 61(3), 493-502.
- ELSHEMY, N. S. (2011). Unconventional natural dyeing using microwave heating with cochineal as natural dyes. *Research Journal of Textile and Apparel*, 15(4), 26-36.
- EVANS, D. G., & SKELLY, J. K. (1972). Application of microwave heating in dye fixation. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 88(12), 429-433.
- GHAFFAR, A., ADEEL, S., HABİB, N., JALAL, F., HAQ, A., MUNİİR, B., ... & JAMİL, Q. (2019). Effects of microwave radiation on cotton dyeing with Reactive Blue 21 dye. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(3), 1-5.
- GRIFFİN, W. L., & HENDRİX, W. A. (1986). Microwave heating and drying in textile processing-present and future. *IEEE Transactions on Industry Applications*, (1), 115-120.
- GULRAJANİ, M. L. 2001. Present Status of Natural Dyes, *Indian .journal of Fiber and Textile Research*, 26: 191-201.
- HAGGAG, K., HANNA, H. L., YOUSSEF, B. M., & EL-SHİMİY, N. S. (1995). Dyeing polyester with microwave heating using disperse dyestuffs. *American Dyestuff Reporter*, 84(3), 22-37.
- HAGGAG, K., ELSHEMY, N. S., & NASEF, N. A. (2012). Enhancement of Cotton and Cotton/Wool Blend Dyeability by Microwave Heating. *Research Journal of Textile & Apparel*, 16(1), 34-45.

- HAGHİ A.K., (2008). An experimental study on dyeing of polyester with microwave heating <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/9/824/an-experimental-study-on-dyeing-of-polyester-with-microwave-heating1.asp> (Erişim: 10.10.2020)
- HAKEİM, O. A., NASSAR, S. H., & HAGGAG, K. (2003). Greener printing of natural colour using microwave fixation. *Indian Journal of Fiber & Textile Research*, 28, 216-220.
- HUSSAAN, M., IQBAL, N., ADEEL, S., AZEEM, M., JAVED, M. T., & RAZA, A. (2017). Microwave-assisted enhancement of milkweed (*Calotropis procera* L.) leaves as an eco-friendly source of natural colorants for textile. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 5089-5094.
- IRFAN, M., ZHANG, H., SYED, U., & HOU, A. (2018). Low liquor dyeing of cotton fabric with reactive dye by an eco-friendly technique. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1480-1487.
- İŞMAL, Ö. E. (2019). Doğal boya uygulamalarının değişen yüzü ve yenilikçi yaklaşımlar. *Yedi*, (22), 41-58.
- KALE, M. J., & BHAT, N. V. (2011). Effect of microwave pretreatment on the dyeing behaviour of polyester fabric. *Coloration Technology*, 127(6), 365-371.
- KARADAĞ, R. (2007). *Doğal Boyamaçılık*, T. C Kültür ve Turizm Bakanlığı
- KARADAG, R., BUYUKAKINCI, B. Y., & TORGAN, E. (2020). Extraction and Natural Cotton Dyeing of Valonia Oak and Anatolian Buckthorn by Microwave Irradiation. *Journal of Natural Fibers*, 1-14.
- KİRAN, S., ADEEL, S., REHMAN, F. U., GULZAR, T., JANNAT, M., & ZUBER, M. (2018). Ecofriendly dyeing of microwave treated cotton fabric using reactive violet H3R. *Global NEST Journal*, 21(1), 43-47.
- KİRAN, S., HASSAN, A., ADEEL, S., QAYYUM, M. A., YOUSAF, M. S., ABDULLAH, M., & HABİB, N. (2020). Green dyeing of microwave treated silk using coconut coir based tannin natural dye. *Industria Textila*, 71(3), 227-234.
- KONAK, İ.K., CERTEL, M., HELHEL, S. (2009). Gıda Sanayisinde Mikrodalgı Uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 4(3) 20-31
- KUMAR S., A., KONAR, A., 2011, *Dyeing of Textiles with Natural Dyes*, Dr. Emriye Akcakoca Kumbasar (Ed.), ISBN: 978-953-307-783-3, InTech, DOI: 10.5772/21341. <http://www.intechopen.com/books/natural-dyes/dyeing-of-textiles-with-natural-dyes> (Erişim: 10.10.2020)
- LEİ, N. N., GONG, D. L., LİNG, X. R., & SHİ, Y. D. (2013). Researches on microwave dyeing cotton fabrics. *In Advanced Materials Research*. 627, 343-347
- MCDONALD, R. (1997). *Colour physics for industry*. (2nd ed) Society of Dyers and Colourists. United Kingdom, 534 p.
- METAXAS, A. C., CATLOW, N., & EVANS, D. G. (1978). Microwave assisted dye fixation. *Journal of Microwave Power*, 13(4), 342-350.

Pamuklu Kumaşların Doğal Boyarmaddelerle Boyamasında Mikrodalga Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi

- MONTAZER, M., & ALİBAKHSİ, F. (2007, June). Microwave assisted dyeing of cellulose with direct dyes. *In 9th Asian Textile Conference*, Taiwan. 28-30
- NAVEED, R., BHATTİ, I. A., ADEEL, S., ASHAR, A., SOHAIL, I., KHAN, M. U. H., ... & NAZİR, A. (2020). Microwave-Assisted Extraction and Dyeing of Cotton Fabric with Mixed Natural Dye from Pomegranate Rind (*Punica Granatum L.*) and Turmeric Rhizome (*Curcuma Longa L.*). *Journal of Natural Fibers*, 1-8. DOI: 10.1080/15440478.2020.1738309
- OKTAY, A. (2009). Mikrodalga Endüstrisi ve Gıda Sektöründeki Uygulamaları. *Gıda Teknolojisi* 13(12): 52-53.
- ÖNER, E., BÜYÜKAKINCI, Y., & SÖKMEN, N. (2013). Microwave-assisted dyeing of poly (butylene terephthalate) fabrics with disperse dyes. *Coloration Technology*, 129(2), 125-130.
- ÖZERDEM, A., TARAKÇIOĞLU, I., & ÖZGÜNEY, A. (2008). Mikrodalga Enerjisinin Reaktif Baskılı Pamuklu Kumaşların Fiksajında Kullanılabilirliği. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 18(4). 289-296.
- ÖZGEN, H., CİHANGİROVA, M., & ŞAHİNBAŞKAN, B. Y. (2018). Pamuklu Örm Kumaşların Reaktif Boyarmaddeler ile Boyanmasına Mikrodalga Enerjisi Yardımı İle Uygulanan Enzimatik Ön İşlemlerin Etkisi. *Bartın Üniversitesi Uluslararası Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 65-72.
- RÜZGAR, A. (2019). *Rotasyon ve dijital reaktif baskıların çevresel etkilerinin yaşam döngüsü analizi tekniğiyle karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- SAHİNBAŞKAN, B., KOÇAK, E. D., MERDAN, N., & AKALIN, M. (2017). Dyeing of polypropylene blends by using microwave energy. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 12(2), 20-27.
- SAXENA, S., RAJA, A.S.M. (2014). *Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues*. (Ed.) MUTHU, S.S. Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing. (pp. 37-80), Springer.
- SUN, H., LİN, L., JİANG, X., & BAİ, X. (2005). The improvement of dyeability of flax fibre by microwave treatment. *Pigment & Resin Technology*. 34(4), 190-196.
- XU, W., & YANG, C. (2002). Hydrolysis and dyeing of polyester fabric using microwave irradiation. *Coloration Technology*, 118(5), 211-214.
- XUE, Z. (2016). Study of dyeing properties of wool fabrics treated with microwave. *The Journal of the Textile Institute*, 107(2), 258-263.
- YILDIRIM, F. F. (2015). *PTT ve PBT lifli kumaşların boyanma ve haslık özelliklerinin karşılaştırılması* Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- YİĞİT, E. A., & TEKER, M. (2011). Disperse dyeability of polypropylene fibres via microwave and ultrasonic energy. *Polymers and Polymer Composites*, 19(8), 711-716.

- ZHAN, L., LI, W., WANG, G., ZHAO, X., LI, Y., & WANG, N. (2020). Effect of Low Temperature Microwave Drying on Properties of Dyed Cashmere Fibers. *Fibers and Polymers*, 21(3), 564-570.
- ZHAO, X. (2017). Research on microwave pad dyeing process for wool fabric. *Research Journal of Textile and Apparel*. 21(4): 263-275
- ZUBER, M., ADEEL, S., REHMAN, F. U., ANJUM, F., MUNEEB, M., ABDULLAH, M., & ZIA, K. M. (2019). Influence of microwave radiation on dyeing of bio-mordanted silk fabric using neem bark (*Azadirachta indica*)-based tannin natural dye. *Journal of Natural Fibers*, 17(10), 1410-1422.