

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**SELÜLOZİK ESASLI KARIŞIM KUMAŞLARIN DOĞAL
BOYARMADDELER İLE RENKLENDİRİLMESİ:
YANIT YÜZEY YÖNTEMİ İLE PROSES OPTİMİZASYONU**

ESRA MERT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Şener AKPINAR
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Ahmet Beyazıt OCAKTAN

BALIKESİR, ARALIK - 2025

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Selülozik Esaslı Karışım Kumaşların Doğal Boyarmaddeler ile Renklendirilmesi: Yanıt Yüzey Yöntemi ile Proses Optimizasyonu**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Esra MERT

Bu tez çalışması SYK Tekstil San. ve Tic. A.Ş. tarafından (PG-02-25-SYK-00) nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**SELÜLOZİK ESASLI KARIŞIM KUMAŞLARIN DOĞAL BOYARMADDELER
İLE RENKLENDİRİLMESİ: YANIT YÜZEY YÖNTEMİ İLE PROSES
OPTİMİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ESRA MERT
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)**

BALIKESİR, ARALIK - 2025

Tekstil, yoğun su ve kimyasal kullanımıyla bilinen, yüksek çevresel etki potansiyeline sahip sektörlerdendir. Günümüzde sürdürülebilirliğin giderek daha fazla önem kazanmasıyla birlikte, çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi önemli bir gereksinim olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan tüketici bilinci ile birlikte ekolojik ve fonksiyonel tekstil ürünlerine olan talep de artmaktadır. Bu nedenle sentetik elyaf ve boyarmaddelerin yaygın kullanımına alternatif olarak sürdürülebilir selülozik elyaf ve doğal boyarmaddeler ile yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bu bağlamda, çevresel ayak izi düşük, fonksiyonel değer sunan çözümlere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada; %78 pamuk, %21 kenevir, %1 elastan içerikli dokuma kumaş; zeytin yaprağı (*Olea europaea* L.) doğal boyarmaddesi ile biyomordanlar eşliğinde renklendirilmiştir. Biyomordan olarak, yüksek fenolik ve flavonoid içeriği ile bilinen nar kabuğu (*Punica granatum* L.), meşe palamudu (*Quercus ithaburensis*) ve limon kabuğu (*Citrus* spp.) kullanılmıştır. Boyamalarda ek olarak iyonik bir bileşik olan kaya tuzu kullanılmıştır. Birinci aşamada Taguchi metodu ile mordan türü, mordanlama yöntemi, mordan konsantrasyonu ve kaya tuzu konsantrasyonunun negatif iyon salınımı üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiştir. En iyi sonucu veren kombinasyonlar tespit edildikten sonra Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) ile mordan ve kaya tuzu konsantrasyonunun optimum değerleri tespit edilmiştir. YYY ile yapılan çalışmada negatif iyon salınımı fonksiyonel özelliğinin yanı sıra renk verimi (K/S) de optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde doğal boyamacılıkta kullanılan biyomordan türü, mordanlama yöntemi ve kaya tuzu kullanımının negatif iyon salınımını artırarak elektrostatik dengenin korunmasına katkı sağladığı tespit edilmiştir. Negatif iyon salınımı üzerine yapılan bu bütüncül değerlendirme, çevreci ve fonksiyonel tekstillerin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Doğal boyama, kenevir, negatif iyon salınımı, renk verimi, Taguchi metodu, yanıt yüzey yöntemi.

Bilim Kod / Kodları : 90628

Sayfa Sayısı : 85

ABSTRACT

DYEING OF CELLULOSIC BLENDED FABRICS WITH NATURAL DYES: PROCESS OPTIMIZATION BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

MSC THESIS

ESRA MERT

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)

BALIKESİR, DECEMBER - 2025

Textiles are sectors with high environmental impact potential, known for their intensive use of water and chemicals. As sustainability becomes increasingly important, the development of environmentally friendly products is a crucial requirement. With rising consumer awareness, the demand for ecological and functional textile products is also increasing. Therefore, research using sustainable cellulosic fibers and natural dyes has accelerated as an alternative to the widespread use of synthetic fibers and dyes. In this context, solutions that offer functional value with a low environmental footprint are needed. In this study, a woven fabric containing 78% cotton, 21% hemp, 1% elastane was colored with the natural dyestuff olive leaf (*Olea europaea* L.) in conjunction with biomordants. Pomegranate peel (*Punica granatum* L.), acorn (*Quercus ithaburensis*), and lemon peel (*Citrus* spp.), known for their high phenolic and flavonoid content, were used as biomordants. Rock salt, an ionic compound, was also used in the dyeing process. In the first stage, the effects of mordant type, mordanting method, mordant concentration, and rock salt concentration on negative ion release were systematically investigated using the Taguchi method. After identifying the combinations that yielded the best results, the optimum values for mordant and rock salt concentration were determined using Response Surface Methodology (RSM). In addition to the functional properties of negative ion release, the RSM study also optimized color yield (K/S). When the obtained results were evaluated, it was determined that the type of biomordant used in natural dyeing, the mordanting method, and the use of rock salt contributed to maintaining electrostatic balance by increasing the release of negative ions. This holistic evaluation of negative ion release contributes to the development of eco-friendly and functional textiles.

KEYWORDS: Natural dyeing, hemp, negative ion release, color yield, Taguchi method, response surface method.

Science Code / Codes : 90628

Page Number : 85

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi.....	1
1.2 Çalışmanın Amaçları.....	1
1.3 Çalışmadaki Kısıtlar ve Varsayımlar	2
1.4 Çalışmanın Özgün Katkısı	2
2. DOĞAL BOYAMACILIK VE NEGATİF İYON SALINIMI	4
3. LİTERATÜR TARAMASI	8
3.1 Doğal Boyama Literatür Taraması.....	8
3.2 Negatif İyon Salınımı Literatür Taraması	37
4. DENEY TASARIMI	40
4.1 Deney Tasarımının Temel Kavramları ve Tarihçesi.....	40
4.2 Deney Tasarımı Yöntemleri	44
4.2.1 Faktöriyel tasarım yöntemi	45
4.2.2 Taguchi yöntemi	48
4.2.3 Yanıt yüzey yöntemi	52
4.3 Deney Tasarımı Yöntemlerinin Karşılaştırılması	55
5. UYGULAMA	57
5.1 Problem Tanımı.....	57
5.2 Materyal ve Metot	58
5.3 Deney Tasarımı ve Sonuçlar	62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
7. KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1: Bir sürecin veya sistemin genel modeli	40
Şekil 4.2: Japonya ve Amerika’da deney tasarımının gelişimi	42
Şekil 4.3: Deney tasarımının uygulama aşamaları	44
Şekil 4.4: Geleneksel kayıp fonksiyonu.....	50
Şekil 4.5: Taguchi kayıp fonksiyonu	50
Şekil 4.6: Merkezi kompozit tasarım deney uzayı.....	53
Şekil 4.7: Yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım deney uzayı	54
Şekil 4.8: Box-Behnken tasarım deney uzayı	55
Şekil 5.1: Ham kumaş görseli	58
Şekil 5.2: a) Zeytin Yaprağı (<i>Olea europaea</i> L.), b) Nar Kabuğu (<i>Punica granatum</i> L.), c) Meşe Palamudu (<i>Quercus ithaburensis</i>), d) Limon Kabuğu (<i>Citrus</i> spp.), e) Kaya Tuzu.....	59
Şekil 5.3: Ağartma (kasar) proses grafiği	59
Şekil 5.4: Ön işlemlili kumaş görseli	60
Şekil 5.5: Doğal boyama proses grafiği	60
Şekil 5.6: Ön ve son mordanlama proses grafiği	60
Şekil 5.7: Birlikte mordanlama proses grafiği	61
Şekil 5.8: Negatif iyon salınımı ölçüm cihazı	61
Şekil 5.9: Spektrofotometre cihazı	62
Şekil 5.10: Taguchi deney tasarımı sonucu elde edilen renkler.....	64
Şekil 5.11: Taguchi deney tasarımı ortalama etki değerleri.....	65
Şekil 5.12: Taguchi deney tasarımı gürültü/şiddet (S/N) değerleri	65
Şekil 5.13: Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen renkler	69
Şekil 5.14: Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimizasyon sonucu.....	72
Şekil 5.15: İşletme koşullarına uyarlanmış faktör seviyeleri	72

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Literatür taraması özeti.....	29
Tablo 4.1: 3 faktörlü ve 2 seviyeli tam faktöriyel tasarım.....	46
Tablo 4.2: Kombinasyonların toplam etkileri.....	46
Tablo 4.3: 2 seviyeli, 4 faktörlü, 1/2 kesirli kısmi faktöriyel tasarım	48
Tablo 4.4: L9 Ortogonal dizi planı	51
Tablo 4.5: 3 faktörlü merkezi kompozit tasarım deney planı	54
Tablo 4.6: Deney tasarımı yöntemlerinin karşılaştırılması.....	56
Tablo 5.1: Kullanılan kumaşın teknik özellikleri	58
Tablo 5.2: Taguchi metodu proses parametreleri ve seviyeleri.....	63
Tablo 5.3: Taguchi metodu deney planı	63
Tablo 5.4: Taguchi metodu negatif iyon salınımı test sonuçları	64
Tablo 5.5: Faktör önem sıralamaları raporu.	66
Tablo 5.6: Taguchi metodu negatif iyon salınımı doğrulama deneyleri.....	67
Tablo 5.7: Yanıt Yüzey Yöntemi proses parametreleri ve seviyeleri.....	68
Tablo 5.8: Yanıt Yüzey Yöntemi deney planı	68
Tablo 5.9: YYY negatif iyon salınımı ve renk verimi test sonuçları	69
Tablo 5.10: Negatif iyon salınımı ANOVA tablosu.....	71
Tablo 5.11: Renk verimi ANOVA tablosu	71
Tablo 5.12: YYY doğrulama deneyleri	73

SEMBOL LİSTESİ

ΔE	: Toplam renk farklılığı
$^{\circ}C$: Santigrat derece
a^*	: CIELab renk uzayında kırmızı-yeşil eksen değeri
b^*	: CIELab renk uzayında sarı-mavi eksen değeri
C^*	: CIELab renk uzayında rengin kroma (doygunluk) değeri
dk	: Dakika
g/L	: Gram/litre
h°	: CIELab renk uzayında renk tonu açısı
K/S	: Renk verimi
$L(y)$: Kayıp fonksiyonu
L^*	: CIELab renk uzayında açıklık-koyuluk eksen değeri
$M: L$: Malzeme: likör oranı (kuru malzeme kütlesi: banyo hacmi)
ppm	: Milyonda bir birim
sn	: Saniye
Y	: Yanıt değişkeni
YYY	: Yanıt Yüzey Yöntemi
α	: Eksenel noktanın merkez noktadan uzaklığı
β_i	: Regresyon denklemi katsayıları
ϵ	: Regresyon denkleminde artık terim
S/N	: Sinyal/gürültü oranı

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez sürecim boyunca bilgi, deneyim ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneilerin gerçekleştirilmesinde desteklerini esirgemeyen, başta SYK Tekstil Ar-Ge Merkezi yöneticileri İpek YILDIRAN ve Dr. Yasemin DÜLEK olmak üzere tüm yöneticilerime, değerli ekip arkadaşım Buğçe SEVİNÇ'e ve süreç boyunca bilgi, emek ve yardımlarıyla katkı sunan tüm SYK Tekstil çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Negatif iyon salınımı testlerinin gerçekleştirilmesinde sağladığı rehberlik için Prof. Dr. Cem GÜNEŞOĞLU'na ve Berphia firma yöneticisi Said BAKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim sevgili annem Zekiye MERT, babam Şahin MERT, kardeşim Eray MERT ve nişanlım Emre YÜŞEN'e sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2025

Esra Mert

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi

Tekstil sektörü, yüksek miktarda su ve kimyasal madde kullanımı nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından sürdürülebilir üretim modellerine geçişte en kritik sektörlerden biridir. Bu nedenle, sentetik elyaf ve boyarmaddeler yerine sürdürülebilir, çevre dostu hammaddeler ile üretim yöntemlerinin tercih edilmesi önem kazanmaktadır. Son yıllarda, çevreye duyarlı tekstil tasarımlarında sürdürülebilir selülozik elyaflar ve doğal boyarmaddelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Doğal boyarmaddeler ise, çoğunlukla elyafa kalıcı olarak tutunabilmek için “mordan” adı verilen yardımcı maddelere ihtiyaç duymaktadır. Geleneksel yöntemlerde demir sülfat, bakır sülfat ve potasyum alüminyum sülfat (şap) gibi metal tuzları yaygın olarak kullanılmaktadır. Şap diğer metal tuzlarına göre daha güvenli kabul edilse de metal tuzlarının toksisite riski doğal boyamacılığın çevresel yararlarını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, pamuk/kenevir/elastan karışımı dokuma kumaşın zeytin yaprağı doğal boyarmaddesi ile boyanmasında metal tuzları yerine polifenolce zengin biyomordanlar (nar kabuğu, meşe palamudu ve limon kabuğu) ve yardımcı kimyasal olarak mineral içeriği yüksek, iyonik yapıda bir bileşik olan kaya tuzu kullanılmıştır. Nem ve sürtünme altında negatif iyon salınımı yapan fonksiyonel tekstil ürünlerinin geliştirilmesi amacıyla, bu salınımı artıran koşulların tespiti için sistematik çalışmalar yürütülmüştür. Tekstil ürünlerinin kullanıcı konforu ve hissedilen ferahlık etkisini destekleyen bir fonksiyonel özellik olan negatif iyon salınımı (iyon/cm³) Taguchi metodu ve Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak maksimize edilmiştir. Endüstride kullanımı giderek artan pamuk/kenevir karışımı kumaşların doğal boyarmaddelerle renklendirilmesinin yanı sıra, bu kumaşlara negatif iyon salınımı gibi işlevsel özelliklerin kazandırılması, yenilikçi ve sürdürülebilir tekstil kumaşlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

1.2 Çalışmanın Amaçları

Bu çalışmanın amacı, pamuk/kenevir/elastan karışımı dokuma kumaşın çevre dostu ve sürdürülebilir yöntemlerle renklendirilmesini sağlamak, metal tuzları yerine polifenolce zengin biyomordanlar (nar kabuğu, meşe palamudu ve limon kabuğu) ile boyama sürecini gerçekleştirerek su ve kimyasal ayak izini azaltmak, ayrıca kaya tuzu gibi alternatif yardımcı maddelerle fonksiyonel etkiyi artırmaktır. Bununla birlikte, doğal boyanmış kumaşların nem ve sürtünme altında negatif iyon salınımı gibi fonksiyonel özellikler kazanmasını sağlayarak, bu salınımı en üst düzeye çıkaran parametreleri Taguchi ve Yanıt Yüzey

yöntemleri ile belirlemek ve böylece yenilikçi, çevreye duyarlı ve işlevsel tekstil ürünlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

1.3 Çalışmadaki Kısıtlar ve Varsayımlar

Bu çalışma, uygulama koşulları, hammadde erişilebilirliği ve maliyet sınırlamaları nedeniyle belirli kısıtlar altında gerçekleştirilmiştir. Doğal boyarmadde ve mordan seçiminde, yalnızca endüstriyel ölçekte tedarik edilebilen hammaddeler tercih edilmiştir. Bu durum, ticari olarak erişimi sınırlı ancak potansiyel olarak daha etkili olabilecek bazı doğal kaynakların değerlendirilmesini kısıtlamıştır. Ayrıca, test maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle Yanıt Yüzey Yöntemi'nde merkez noktadan yalnızca tek ölçüm alınabilmektedir. Doğal boyama sürecine etki eden birçok faktör bulunmasına rağmen (sıcaklık, süre, pH vb.), deney sayısını uygulanabilir düzeyde tutmak amacıyla yalnızca belirlenen parametreler (mordan türü, mordanlama yöntemi, mordan konsantrasyonu ve kaya tuzu konsantrasyonu) değişken olarak ele alınmış, diğer tüm faktörler sabit tutulmuştur.

1.4 Çalışmanın Özgün Katkısı

Literatür taramasında, doğal boyarmaddelerin kullanıldığı boyama süreçlerinde yapılan optimizasyon çalışmalarının genellikle renk verimi üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Fonksiyonel özellikler ise daha sınırlı sayıda çalışmada, özellikle antibakteriyel etkiler bağlamında ele alınmıştır. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, negatif iyon salınımına ilişkin bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bir diğer yönden, yapılan çalışmalarda optimizasyonun çoğunlukla doğal boyama süreci ile sınırlı kaldığı, farklı mordanlama yöntemlerinin ise genellikle belirli koşullar altında test edildiği görülmüştür. Bu çalışmada, doğal boyama süreci deney tasarımı yöntemleriyle sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir. Taguchi yöntemi kullanılarak mordan türü, mordanlama yöntemi, mordan konsantrasyonu ve kaya tuzu konsantrasyonunun negatif iyon salınımına etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, negatif iyon salınımını en iyileyen uygun kombinasyonlar belirlenmiştir. Sürecin devamında, renk verimi ve negatif iyon salınımını maksimize eden optimum mordan konsantrasyonu ve kaya tuzu konsantrasyonu seviyeleri Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Kullanılan yöntem açısından bu yaklaşım boyama sürecinin farklı parametrelerinin eş zamanlı ve sistematik olarak değerlendirilmesini mümkün kılarak, optimizasyon çalışmalarında daha bütüncül ve karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, çalışmada kullanılan kumaş, boyarmadde ve mordan kombinasyonunun özgün yapısı çalışmanın yenilikçi yönünü güçlendirmektedir.

Tüm bu bulgular, doğal boyarmadde kullanımının yaygınlaşmasına katkıda bulunmanın yanı sıra, çevre dostu ve sürdürülebilir boyama tekniklerinin geliştirilmesi için önemli bir temel oluşturmaktadır.

2. DOĞAL BOYAMACILIK VE NEGATİF İYON SALINIMI

Sanayileşmenin bir sonucu olarak, doğal kaynakların bugünün ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalması ve toplumda artan çevre bilinci ile birlikte sürdürülebilirlik kavramı gün geçtikçe daha da önemli hale gelmektedir. Çevrenin korunması ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakma yolunda sürdürülebilir hammadde ve üretim yöntemlerinin benimsenmesi, işletmeler için üstünde durulması gereken bir husustur (Özcan ve Özgül, 2019). Dünya ticaret hacminde yüksek paya sahip olan tekstil sektörü, en çok su ve enerji tüketimine sahip sektörlerdendir. Sektörün geleceğini belirlemede doğal kaynakların daha az kullanıldığı, atık yönetimini ön planda tutan proseslere olan ihtiyaç artmıştır (Topoyan, 2022). Bu bağlamda sektörde önemini yitiren doğal boyama uygulamaları tekrar odaklanılan bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

İnsanoğlunun kumaşları renklendirme ihtiyacı M.Ö. 5000’li yıllara dayanmaktadır. Bu yıllarda dokumacılığın başlamasıyla birlikte kumaşların renklendirilmesinde pigmentlerden faydalanılmıştır. Fakat mekanik olarak kumaşa bağlanan pigmentler, yıkama ve sürtme ile kolayca sökülebilmektedir. Tunç Çağı’na gelindiğinde ise, bitki özlerinin su ile ekstrakte edilerek elyafa aktarılması ile boyamaların gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Ancak, doğal boyarmaddelerin tek başına kumaş yüzeyine tutunmada yetersiz kalması, bu dönemde yapılan boyamaların suya ve ışığa karşı dayanımlarının düşük olmasına sebep olmuştur. Hindistan’da M.Ö. 2000’li yıllarda bir tesadüf sonucu mordanlı boyamanın bulunması ile birlikte doğal boyamacılığın kökleri atılmıştır. Takip eden yıllarda, Anadolu’da da doğal boyama uygulamaları gelişim göstermeye başlamış, o dönemde üretilen halı-kilim ve kumaş örneklerinden bazıları günümüze kadar ulaşmıştır (Karadağ, 2001). 19.yüzyıla kadar hayvansal ve bitkisel kaynaklardan elde edilen doğal boyarmaddeler sıklıkla kullanılmıştır. 1856’da sıtma hastalığının tedavisi için kinin elde etmeye çalışan İngiliz kimyager William Henry Perkin’in tesadüfi olarak ilk sentetik boyarmaddeyi keşfetmesi ile birlikte doğal boyarmaddelerin kullanımı azalmıştır. Daha iyi haslık özellikleri ve parlak renkler elde etmeye olanak sağlayan sentetik boyarmaddeler, maliyet ve zaman açısından da doğal boyarmaddelerden üstündür. Bu avantajları nedeniyle 20.yüzyılın başlarından itibaren yeni bir endüstri doğmuş, doğal boyarmaddelerin kullanımı bitme noktasına gelmiştir (Topoyan, 2022). 1980’li yıllardan sonra toksik, kanserojen etkileri ve çevre kirliliğine sebep olması nedeniyle sentetik boyarmaddelere alternatif olarak çevre dostu doğal boyarmaddelerin kullanımı tekrar gündeme gelmiştir. Günümüzde ise artan çevre bilinci ile birlikte,

endüstride doğal boyarmaddelerin kullanımına yönelik çalışmalar yaygınlaşmaya başlamıştır (Karadağ, 2007).

Doğal boyamacılığın başlıca bileşenlerini renklendirici kaynağı, özütleme yöntemleri ve boyama süreci oluşturmaktadır. Doğal boyarmaddeler bitkilerin kök, yaprak, çiçek, tohum vb. çeşitli kısımlarından elde edilmektedir. Doğal boyamacılığın yaygın olarak yapıldığı bölgelerde yapılan araştırmalar sonucu 123 bitki türünün boyarmadde eldesinde kullanıldığı görülmüştür. Sappan ağacı, sandal ağacı, indigo, kına, çay, zeytin yaprağı, zerdeçal, kökboya, soğan kabuğu, myrobalan, kadife çiçeği vb. bu doğal boyarmadde kaynaklarına örnek gösterilebilir (Erdem İşmal, 2019; Topoyan, 2022; Yılmaz, 2019).

Doğal boyama sürecinde boyarmadde alımını ve fiksajını iyileştiren, renk ve haslık özelliklerini geliştiren maddelere (mordan) ihtiyaç duyulmaktadır. Mordanlar lif ile doğal boyarmadde arasında bağ oluşturarak suda çözünen doğal boyarmaddenin çözünemez hale gelip kumaşa tutunmasını sağlamaktadır. Geleneksel mordan maddeleri olan metal tuzları, demir, bakır, alüminyum, kalay, krom gibi ağır metallerin tuzlarıdır ve toksik etkilere sahiptir. Geçmişte bu tuzlar yaygın bir şekilde kullanılırken, günümüzde çevresel konuların önem kazanmasıyla birlikte, potasyum alüminyum sülfat (şap), alüminyum sülfat, demir sülfat gibi diğerlerine nazaran daha güvenli metal mordanlar sınırlı olarak kullanılmaya devam edilmektedir. Son dönemlerde metal tuzlarına alternatif olarak metal iyonları, tanenler, tannik asit vb. yapılar açısından zengin bitkisel kaynaklı biyomordanlar ile yapılan çalışmalar artış göstermiştir (Erdem İşmal, 2019; Yılmaz, 2019). Nar kabuğu, meşe palamudu, limon kabuğu, asetik asit, tartarik asit, sumak, biberiye, yeşil çay, siyah çay biyomordanlara örnek verilebilir (Benli, 2024).

Mordanlama süreci, mordanların uygulanma sırasına göre üç farklı (ön, birlikte ve son mordanlama) şekilde gerçekleştirilebilir. Ön mordanlama yönteminde kumaş önce mordanlanır, ardından boyanır. Birlikte mordanlamada boyarmadde ve mordan eş zamanlı olarak uygulanır. Son mordanlamada ise boyama tamamlandıktan sonra kumaş mordan maddesiyle sabitlenir. Doğal boyamalarda renk verimi, renk koordinatları ve haslık özellikleri boyarmadde ile birlikte kullanılan mordan türü ve mordanlama yöntemine göre farklılık göstermektedir (Erdem İşmal, 2019).

Doğal boyama süreçlerinde kullanılan doğal elyafların her biri fiziksel ve kimyasal özellikleri gereği farklı sonuçlar meydana getirmektedir. Günümüzde doğal boyama çalışmalarında pamuk, yün, ipek ve keten gibi doğal elyafların kullanıldığı görülmektedir (Taylan ve Atlıhan, 2018). Sürdürülebilirlik çalışmalarındaki artış ile birlikte yeni lif araştırmaları da hız kazanmış, kenevir, bambu, portakal, ananas vb. birçok yenilikçi lif kullanılmaya başlanmıştır (Kurtuldu ve Erdem İşmal, 2019). Biyobozunur, alerjik ve toksik etkilere sahip olmayan kenevir lifi insanlık tarihinde yetiştirilmiş ilk bitkilerdendir ve bu dönemde üretilen kumaşların %80'inin hammaddesini oluşturmaktadır. 20.yüzyıl başlarında teknolojinin gelişmesi ile birlikte pamuk lifi ile daha ince iplikler üretilmeye başlanmış, kenevir yerini pamuk lifine bırakmıştır. Günümüzde, pamuğun yetiştirilmesi sırasında fazla miktarda su ve pestisit kullanımı, daha sürdürülebilir bir lif olan kenevirin kumaş karışımlarına tekrar dahil edilmesi yönündeki çalışmalar hız kazanmıştır (Acar ve Dönmez, 2019).

Sürdürülebilir elyafların kullanımı ve doğal boyamacılık uygulamalarının yanı sıra, güncel araştırmalar antibakteriyel, antioksidan, negatif iyon salınımı gibi fonksiyonel özelliklerin kumaşlara kazandırılması yönünde de artış göstermiştir.

Hava kalitesini değerlendirmek için kullanılan faktörlerden biri olan negatif oksijen iyonları insan sağlığı ve ekolojisi üzerinde önemli etkiye sahiptir (Xiao et al., 2023; Zhang et al. 2011). Gittikçe artan hava kirliliği insanların yaşam kalitesini, fiziksel ve ruhsal sağlığını tehdit etmektedir. Negatif oksijen iyonları, güneş ışığı, kozmik ışınlar, bitki bazlı enerji kaynakları veya diğer yapay enerji kaynakları tarafından üretilen küçük parçacık boyutuna sahip negatif yüklü gaz iyonlarıdır. Orman, şelale vb. atmosferlerde $0,5 \times 10^3 - 10 \times 10^3$ iyon/cm³'e kadar yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Hava sıcaklığı ve bağıl nem gibi faktörlere bağlı olarak konsantrasyonu artıp azalabilmektedir (Xiao et al., 2023).

Negatif iyon salınımı yapan tekstil ürünlerinin çalışma prensibi ise, kumaş yüzeyinde bulunan iyonik yapıdaki doğal katkıların hava ve özellikle su buharı (nem) ile temas ettiğinde iyonlaşarak, anyon (negatif iyon) üretmesidir. Cilt yüzeyinde bulunan nem veya ortamdaki su molekülleri anyonun elektrik alanına girdiğinde, kutuplaşma etkisi ile H⁺ ve OH⁻ iyonlarını meydana getirmektedir. H⁺ iyonu OH⁻ iyonuna kıyasla hızlı hareket etmekte ve kalıcı kutbun katot yönünde hareket etmektedir. Bir elektron alarak H₂ dönüşmekte ve havaya karışmaktadır. OH⁻ iyonu ise diğer su molekülleri ile birleşerek H₃O₂⁻

oluşturmaktadır. Ve havada nem bulunduğu sürece bu değişim devam etmektedir. Yapılan çalışmalar negatif iyon salınımı yapan tekstillerin gece kullanıldığında uyku kalitesini desteklediğini ve bağışıklık sistemi üzerinde olumlu etkileri olduğunu bildirmektedir. Tekstil ürünlerine negatif iyon salınımı özelliği iki şekilde kazandırılabilir. Birincisi anyon katkı maddesinin lif üretimi esnasında kullanılması ile anyon liflerinin elde edilmesi, ikincisi ise kumaşa sonradan uygulanan terbiye/ bitim işlemleri ile katkı maddesinin kumaşa çektirme, emdirme veya kaplama yöntemleriyle uygulanmasıdır (Wang and Li, 2010).

Doğal boyama uygulamalarında elyaf, boyarmadde ve mordan arasındaki bağların oluşma şekli iyonik yapıların dağılımını etkilemektedir. Bu nedenle polifenolce zengin biyomordanların ve iyonik yapıdaki kaya tuzunun selülozik esaslı kumaşların doğal boyanmasında birlikte kullanımının değerlendirilmesi ve boyama sürecinin negatif iyon salınımını etkileyebilecek bir yaklaşım olarak incelenmesi yeni bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllarda tüketicilerin bilinç düzeyinin artması ile birlikte sağlıklı yaşamı destekleyen fonksiyonel tekstil ürünlerine yönelik talep artmaktadır. Negatif iyon salınımı yapan tekstillere ilişkin çalışmalar yapıldıkça bu tekstillerin geniş bir kullanım alanı ve gelişme potansiyeline sahip olacağı öngörülmektedir (Wang and Li, 2010).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması bölümünde, tez konusunun kapsamı doğrultusunda doğal boyama süreçlerinde kullanılan optimizasyon yöntemleri, bu yöntemlerde yer alan girdi ve çıktı parametreleri değerlendirilmiştir. 2014-2025 yılları arasında yapılan doğal boyama çalışmalarına odaklanılmıştır. Çıktı parametresi olarak belirlenen negatif iyon salınımının tekstil ürünlerinde değerlendirilmesine ilişkin yeterli sayıda kaynağa ulaşabilmek amacıyla, tarama kapsamı 2010 yılından itibaren olacak şekilde genişletilmiştir.

3.1 Doğal Boyama Literatür Taraması

Budeanu et al. (2014), farklı incelikte kenevir ipliğinin kullanıldığı üç adet kenevir kumaşın renklendirilmesinde kırmızı pancar, soğan kabuğu ve siyah çay doğal boyarmadde ekstraksiyonlarının kullanımını araştırmıştır. Yapılan renk ölçümleri doğrultusunda en yoğun renklerin kırmızı pancar ile yapılan boyamalardan elde edildiği, siyah çay ve soğan kabuğu ile daha yumuşak tonların yapılabildiği tespit edilmiştir. Çalışma kenevir kumaşların renklendirilmesinde soğan kabuğu, kırmızı pancar ve siyah çayın potansiyel doğal boyarmaddeler olduğunu ortaya koymaktadır.

Haji et al. (2018), yaptıkları çalışmada yabancı kızılçık ağacı (*Berberis vulgaris* L.) odunundan ekstrakte edilen doğal boyarmadde ile pamuklu kumaşın boyanabilirliğini araştırmış ve boyama prosesini optimize etmeyi amaçlamıştır. Doğal boyarmaddenin pamuk liflerine bağlanabilmesi için sitrik asit kullanarak karboksilik asit fonksiyonel grupların oluşması sağlanmıştır. Sitrik asit ile işlem görmüş pamuklu kumaş, kazandığı kırışma direncinin yanı sıra antibakteriyel özellik sergilemiştir. Maksimum boyama verimini sağlayan sitrik asit ile çapraz bağlama prosesi yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Yöntemle boyamada etkili üç önemli faktörün (sitrik asit konsantrasyonu, sodyum hipofosfit konsantrasyonu ve süre) etkileri analiz edilmiştir.

Inprasit et al. (2018), çalışmalarında neem bitkisinden doğal boyarmadde ve antibakteriyel ajan ekstrakte etmiştir. Kenevir kumaşın boyanabilirliği ve antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Renk verimi ve dayanıklılığını artırmak amacıyla %2 alüminyum potasyum sülfat kullanılarak ön mordanlama yapılmıştır. Boyama sonrası kumaş kızıl kahve bir görünüm kazanmıştır. Boyarmadde konsantrasyonu, boyama sıcaklığı ve süresi için üçer

seviye belirlenmiştir ve sistematik olarak değiştirilerek deney planı oluşturulmuştur. Yapılan denemeler sonucunda en iyi renk veriminin %5 boyarmadde konsantrasyonu, 100°C, 60 dakikada elde edildiği tespit edilmiştir. Renk haslığı testleri incelendiğinde (yıkama, su, deniz suyu, ter) "iyi" ile "mükemmel" arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir. Neem yapraklarından elde edilen antibakteriyel ekstrakt, kumaşlarda *S. aureus*'a karşı yüksek koruma sağlamış ve 15 yıkama sonunda antibakteriyel etkinliğin %36,17 oranında korunduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, antibakteriyel etkinin kalıcılığını doğrulamaktadır.

Chipot (2019), yaptığı çalışmada çay, nar kabuğu ve myrobalan doğal boyarmaddeleri ile kenevir kumaşın boyanabilirliğini incelemiştir. Kenevir esaslı kumaş için yıkama haslığını iyileştiren bir proses oluşturmak çalışmanın temel amacıdır. Boyama koşullarının optimize edilmesi için tam faktöriyel tasarım kullanılmış, bağımsız değişkenler boyarmadde türü, mordan türü, boyarmadde konsantrasyonu ve mordanlama yöntemi olarak seçilmiştir. Çalışmada mordan olarak tartarik asit, alüminyum potasyum sülfat (şap) ve kalay klorür kullanılmıştır. Dört bağımsız değişkenin iki veya üç seviyede kombinasyonlarıyla toplam 54 deney yapılmıştır. Seçilen değişkenlerin renk verimi üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığını belirlemek için varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre, tüm p değerleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). Optimum proses koşulları %20 boyarmadde konsantrasyonu, mordan olarak şap ve ön veya son mordanlama yöntemi olarak tespit edilmiştir. Numunelerin yıkama dayanımı için 20 yıkama yapılmış, 10 ve 20 yıkamadan sonra renk değişimi (renk verimi, delta E) açısından incelenmiştir. Görsel analiz sonuçlarına göre, incelenen numunelerin hiçbirinde tamamen solma gözlenmemiştir. Ancak, yalnızca nar kabuğu ile boyanan numunelerde gözle görülür bir renk farkı tespit edilmiş ve bu farkın endüstri toleranslarından yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Jaaben et al. (2019), kına (*Lawsonia inermis*) yapraklarından doğal boyarmadde ekstraksiyon prosesinin yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Girdi değişkeni olarak ekstraksiyon pH'ı, banyo oranı (M: L) ve süre (dk) seçilmiş, değişkenlerin renk verimine (K/S) etkileri incelenmiştir. K/S değerleri ekstrakte edilen boyarmadde ile renklendirilmiş pamuklu kumaşlar üzerinden ölçülmüştür. Optimum proses koşulları pH 6,64, 1:44 banyo oranında 78 dakika olarak tespit edilmiştir. ANOVA test sonuçlarına göre seçilen girdi değişkenlerinin renk verimini (K/S) önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Optimum koşullarda boyanan pamuklu kumaşların yıkama, ışık ve sürtme haslıkları kabul edilebilir değerlerde bulunmuştur.

Khalid et al. (2019) kadife çiçeğinden (*Tagetes erecta*) doğal boyarmadde ekstraksiyonu ve ekstrakte edilen doğal boyar madde ile pamuklu kumaşın boyanmasında su sertliğinin etkisini araştırmışlardır. Doğal boyarmadde ekstraksiyonunun ve kumaşlara uygulanmasının optimize edilmesi için yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır. Boyama süresi (dk), sıcaklık (°C) ve sert su konsantrasyonu (ppm) girdi değişkenleri olarak seçilmiş ve parametrelerin renk verimi üzerindeki etkileri ortaya koyulmuştur. Mordanlama tekniği olarak ön ve son mordanlama uygulanmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Mordanlama işlemi optimize edilen boyama koşullarında %5 konsantrasyonda şap ve demir sülfat kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Düşük su sertliği ve boyama süresindeki artışın renk verimini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Çalışmada doğal boyarmaddenin ekstraksiyon süresi de optimize edilmiş olup girdi değişkenleri su sertliği ve ekstraksiyon süresi olarak seçilmiş, renk verimi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Ekstraksiyon sürecinde su sertliği ve ekstraksiyon süresindeki artış renk verimi üzerinde olumsuz etki göstermiştir.

Grifoni et al. (2020), %100 kenevir kumaşın *Rubia tinctorum* L. (Kök Boya), *Castanea sativa* Mill. (Kestane), *Allium cepa* L. (Soğan), *Dittrichia viscosa* W. Greuter (Inula) ve *Haematoxylum campechianum* L. (Kütük Ağacı) bitkilerinin sulu özütleri ile boyanabilirliğini araştırmıştır. Kestane ve soğan tarımsal atık olarak değerlendirilirken, inula doğal olarak yaygın bulunması nedeniyle seçilmiş ve kök boya ile kütük ağacı gibi geleneksel boyalarla karşılaştırılmıştır. Kumaşlar, 70°C'de %40 şap ve %10 krem tartar içeren çözeltide 1 saat mordanlanmıştır. Ardından, farklı konsantrasyonlardaki bitkisel özütlerde 70°C'de 1 saat boyunca boyama işlemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kumaşa bağlanan boyar madde miktarı bitki türüne göre farklılaşmaktadır. Kütük ağacı, kestane ve inula en yüksek boya bağlanma kapasitesine sahipken, kök boya en düşük verimi göstermiştir. Kestane ve soğan ile boyanan kumaşların en yüksek UV koruma faktörüne (UPF) ulaştığı görülmüştür. Tüm bitki türleri için boyarmadde konsantrasyonundaki artışın UPF seviyelerini arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışma çevre dostu boyama yöntemlerinin kenevir kumaşa uygulanabilirliği ve UV koruma sağlama potansiyelini göstermektedir.

Inprasit et al. (2020), nar kabuğu ekstraktı ile kenevir dokuma kumaşın boyanabilirliğini araştırmış, boyama sonrası uygulanan emdirme işleminin kumaşların antibakteriyel özelliklerine etkisinin olup olmadığını incelemiştir. Çalışmada tek faktörlü deney tasarımı ile boyarmadde konsantrasyonu, boyama süresi ve sıcaklığının renk verimine etkisi

ölçülerek optimum boyama koşulları tespit edilmiştir. Deney planında öncelikle %2, 4, 6, 8 ve 10 olmak üzere 5 farklı konsantrasyonda 60°C' de 60 dk boyama yapılmıştır. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça renk veriminin arttığı, fakat %6 ve %10 boyarmadde konsantrasyonları arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. İkinci parametre olarak boyama süresi 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 120 dakika olmak üzere değiştirilmiş ve 60 °C, %6 boya konsantrasyonunda kumaşlara uygulanmıştır. 60 dakikadan uzun süren boyamaların renk veriminde değişiklik meydana getirmediği tespit edilmiştir. Son olarak %6 boyarmadde konsantrasyonunda 60 dakika olacak şekilde 60, 70, 80, 90 ve 100 °C olmak üzere beş farklı sıcaklıkta denemeler yapılmış, 80 °C' ye kadar renk veriminin arttığı, 80 °C' den sonra kumaşların doyuma ulaştığı ve renk veriminde anlamlı bir fark meydana gelmediği görülmüştür. Tüm bu sonuçlar doğrultusunda optimum boyama koşulları 80 °C, 60 dakika ve %6 boyarmadde konsantrasyonu olarak bulunmuştur. Çalışmanın devamında, metanol ile elde edilen antibakteriyel ajanlar optimum koşullarda boyanmış numunelere emdirilmiş ve sonuçlar, antibakteriyel etkinin arttığını ve 20 yıkama boyunca kalıcılığını koruduğunu göstermiştir.

Budeanu (2021), ekolojik bir boyama süreci geliştirmek amacıyla muhabbet çiçeği (*Reseda luteola* L.) ve kök boyadan (*Rubia tinctorum* L.) elde edilen doğal boyarmaddelerle deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında enzimatik işlem ve ağartma işleminin doğal boyama renk verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Mordan maddesi olarak alüminyum sülfat kullanmıştır. Muhabbet çiçeği ve kök boyanın farklı kombinasyon ve konsantrasyonlarda kullanılması ile 16 adet boyama gerçekleştirilmiş, renk paleti ortaya koyulmuştur. Çalışma, doğal boyalarla ekolojik ve endüstriyel olarak uygulanabilir bir tekstil boyama yöntemi geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Yan et al. (2021), *Buddleja Officinalis* ile kenevir kumaşın boyanabilirliğini araştırmıştır. Mordan olarak potasyum alüminyum sülfat (şap), demir sülfat, bitki külü, sakız reçinesi ve *Chaenomeles speciosa* meyvesi kullanmıştır. Renk ve haslık özelliklerini metal ve doğal mordanlar kullanarak, farklı mordanlama yöntemleri ile değerlendirmiştir. Çalışmada optimum boyama koşullarını bulmak için Taguchi metodundan faydalanmış, L9 ortogonal dizisine göre deney planı oluşturmuştur. Boyama sıcaklığı, boyama süresi ve pH girdi değişkenleri olarak seçilmiş, K/S renk verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre en önemli faktör pH, en az önemli faktör ise boyama süresi olarak tespit edilmiştir. Optimum sonuç pH 5'te ve 60 °C' de 90 dk boyama yapıldığında elde edilmiştir.

Mordanlama koşulları, boyama sıcaklığı ve süresi ile aynı olacak şekilde ön, son ve birlikte mordanlama yöntemlerinin etkileri test edilmiştir. Mordan kullanılmadan boyanan kenevir kumaşı sarımsı bir ton alırken, reçine zankı, bitki külü, $KAl(SO_4)_2$ ve *Chaenomeles speciosa* ile mordanlanan kumaşlarda soluk ila koyu sarı tonları görülmüştür. $FeSO_4$ mordanı ise koyu sarı-yeşil ton elde edilmesini sağlamıştır.

Yang et al. (2021), *Rubia wallichiana*'nın geleneksel kök boyası ve etil alkol ile işlenmiş sulu özüt kalıntısını, metalik ve biyomordanlar kullanarak pamuk ve kenevir kumaşların boyanabilirliğini araştırmıştır. Farklı boyama yaklaşımlarının ve koşullarının etkilerini değerlendirmek amacıyla tek yönlü varyans analizi ve gruplar arası farklılıkların belirlenmesi için Duncan'ın yeni çoklu aralık testi uygulanmıştır. Tek yönlü varyans analizi, ekstrakt türü, mordan türü ve kumaş türü gibi faktörlerin boyama performansı üzerindeki genel etkilerini anlamak için kullanılmıştır. Bu analiz ile hangi faktörlerin boyama sonuçları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yarattığı belirlenmiştir. Duncan'ın yeni çoklu aralık testi ile bu farkın hangi gruplar arasında bulunduğu daha detaylı bir şekilde incelenmiş ve boyama performansı açısından üstünlük gösteren kombinasyonlar tanımlanmıştır. Çalışmada metal mordan olarak %10 konsantrasyonda şap ve kalay klorür ve biyomordan olarak 20 g/L *C. Speciosa* ve 12 g/L sakız reçinesi kullanılmıştır. Mordanlama 80°C'de 30 dakika boyunca ön, birlikte ve son mordanlama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ANOVA sonuçları, faktörlerin boyama performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğunu göstermiştir. Duncan'ın yeni çoklu aralık testine göre ise biyomordanların kök boya boyama özelliklerini iyileştirdiği ve etil alkol ile işlenmiş sulu özüt kalıntısının geleneksel boyaya kıyasla daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, pamuk ve kenevir kumaşlarının boyama sonuçları arasında da anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir.

Bamidele ve Haar (2022), literatürde yün ve ipek boyamada kullanılan sorgum doğal boyarmaddesinin selülozik lif olan kenevirde uygulanabilirliğini ve yıkama haslığını değerlendirmiştir. Boyama öncesinde, %10 mazı meşesi ve %5 alüminyum asetat, %8 nar kabuğu ve %5 alüminyum asetat ile yalnızca %5 alüminyum asetat kullanarak üç farklı ön mordanlama işlemi uygulamıştır. Boyanan numunelerin yıkama haslığı değerlendirilmiş olup, kenevir kumaşta sorgum doğal boyarmaddesi kullanımının zayıf renk haslığına neden olduğu ortaya koyulmuştur.

Chitichotpanya et al. (2022), yaptıkları çalışmada kutlamalarda kullanılan kadife çiçeklerinin (*Tagetes erecta*) doğal boyarmadde olarak kullanılmasıyla sürdürülebilir bir yaklaşım ortaya koymayı amaçlamışlardır. Çelenk atıklarından elde ettikleri doğal boyarmaddeyi kenevir esaslı kumaşların renklendirmesinde kullanmış, renk verimi (K/S) değerinin maksimizasyonu için yanıt yüzey yönteminden faydalanarak 20 adet deney tasarlamışlardır. Girdi değişkenlerini sıcaklık, süre ve pH olarak belirlemiş, parametrelerin optimum değerleri sıcaklık 99,98 °C, pH 4,23 ve süre 82,64 dk olarak tespit edilmiştir. Tahmin edilen K/S değeri 11.95 iken bu koşullar altında gerçekleştirilen boyama sonucu K/S değeri 10,54 olarak ölçülmüştür. Biyomordan olarak tannik asit kullanmış, ön, birlikte ve son mordanlamanın renk verimi (K/S) ve haslık test sonuçları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ön mordanlamanın renk verimini artırdığı ve tüm mordanlama yöntemlerinin ıslak sürtme haslığını iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Ltaief et al. (2022), fenolik ve flavonoid içeriğe sahip *Limoniastrum monopetalum* yapraklarını pamuklu kumaşın renklendirilmesinde doğal boyarmadde olarak kullanmışlardır. Boyarmadde ekstraksiyon ve boyama sürecini optimize eden yanıt yüzey yöntemine göre iki ayrı deney tasarlamışlardır. Boyarmadde ekstraksiyon sürecinde boyarmadde absorpsiyon değerinin tahmini için girdi parametreleri olarak süre, sıcaklık, pH ve boyarmadde konsantrasyonu seçilmiştir. Optimum koşullar ise 80 g/L boyarmadde konsantrasyonu, pH 9, 40°C'de 15 dk, boyarmadde absorpsiyon değeri 1,135 olarak tespit edilmiş, deney sonucu absorpsiyon değeri ise 1,06 olarak ölçülmüştür. Ekstrakte edilen çözelti ile gerçekleştirilen boyama deney setinde ise girdi değişkenleri olan pH, sıcaklık ve sürenin optimize edilmesi sonucu maksimum renk verimini tespit etmeye çalışmışlardır. Optimum koşullar pH 8,9, 100°C ve 43 dk olarak bulunmuş renk mukavemeti ise 3,88 olarak tespit edilmiştir. Ek olarak kumaşlar nar kabuğu, şap ve kitosan ile mordanlama işlemine tabii tutularak K/S değerleri ölçülmüş ve en iyi renk verimini nar kabuğu ile mordanlanmış kumaş numunesinde elde edilmiş, en iyi haslık sonuçlarına ise mordanlama yapılan kumaşlarda ulaşılmıştır.

Manyim et al. (2022), yaptıkları çalışmada pamuklu dokuma kumaşın *Euclea divinorum* doğal boyarmaddeyle renklendirilmesinde Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) ile boyama koşullarının optimize edilmesini amaçlamıştır. *Euclea divinorum* sulu ekstraktı kullanılarak sıcaklık (°C), süre (dk) ve pH girdi değişkenlerinin bağıl renk verimi (K/S) üzerindeki etkileri araştırılmış, optimum boyama koşulları 82°C, 68 dk ve pH 3,3, renk verimi ise 0,609

olarak tespit edilmiştir. Belirlenen boyama koşullarındaki renk verimini artırmak için kumaşlar ön, birlikte ve son olmak üzere üç farklı yöntemde mordanlama işlemine tabii tutulmuştur. Mordan maddesi olarak şap, bakır sülfat, kalay klorür, demir sülfat ve hidroklorik asit kullanılmıştır. Tüm metal mordanların renk verimini artırdığı, ön mordanlamanın ise diğer mordanlama yöntemlerine göre renk verimi yüksek kumaşların eldesine olanak sağladığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak *Euclea divinorum* boyarmaddesi ve metal mordan kullanılarak yapılan boyamaların kahverengi rengin çeşitli tonlarının eldesinde toksik sentetik boyarmaddelere sürdürülebilir bir alternatif olacağı görülmüştür.

Mijas et al. (2022), döngüsel ekonomi kapsamında, tohum ve yağ üretimi ile kâğıt endüstrilerinden çıkan tekstil dışı endüstriyel kenevir atığının doğal boyarmaddelerle boyanabilirliğini incelemiştir. Çalışmada doğal boyarmadde olarak yaygın kullanıma sahip kök boya (*Rubia Tinctorum* L.) ve aynısefa (*Calendula Officinalis*), mordan olarak ise tanen ve şap kullanılmıştır. Mordan türü, mordanlama yöntemi ve su sertliğinin etkileri tam faktöriyel tasarım kullanılarak analiz edilmiştir.

Özomay ve Akalın (2022), kenevir kumaşı renklendirmede cüce mürver (*Sambucus Ebulus* L.) doğal boyarmaddesini kullanmış, doğal ve kimyasal mordanların boyama üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Çalışmada %100 kenevir kumaş, biri doğal olmak üzere 3 farklı mordan maddesiyle farklı konsantrasyonlarda mordanlanmıştır. Toplamda 15 adet deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin renk verimi ve farklılıkları karşılaştırılmış, ayrıca ışık ve yıkama haslığı test sonuçları değerlendirilmiştir. Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemi kullanılarak optimum sonucu veren koşullar tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda doğal mordan kullanımının renk farkı ve renk verimliliği açısından daha iyi sonuçlar verdiği ortaya koyulmuştur.

Rotich et al. (2022), pancar (*Beta vulgaris*) kabukları ve posasından elde ettikleri doğal boyarmadde ile pamuklu kumaşın boyanabilirliğini incelemiştir. Çalışmalarında ekstraksiyon ve boyama koşullarını merkezi kompozit tasarım ile optimize etmiştir. Ekstraksiyon sürecinde girdi parametreleri ekstraksiyon süresi (dk) ve katı-sıvı oranı (M: L) olarak belirlenmiş, betalain içeriği (mg/ 100 g) ve ekstraksiyon verimi (%) üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen boya ekstraktı ile gerçekleştirilen boyamalarda ise, pH, boyama sıcaklığı (°C) ve süre (dk) gibi proses parametrelerinin renk verimi üzerindeki etkisi incelenerek optimum boyama koşulları belirlenmiştir. Optimum boyama koşullarında, üç

farklı mordanlama yöntemi (ön, birlikte, son) ve 5 farklı mordan (alüminyum-tannik asit, demir sülfat, bakır sülfat, potasyum dikromat) ile uygulanarak renk şiddeti ve haslık özellikleri değerlendirilmiştir. Mordanlama sonucunda, özellikle bakır sülfat ve alüminyum-tannik asit uygulamaları ile elde edilen numunelerde renk şiddetinde artış gözlenmiş; haslık özelliklerinde ise genel olarak yüksek performans elde edilmiştir.

Slama et al. (2022), çalışmalarında ceviz (*Juglans regia*) kabuklarının pamuklu kumaşın boyanmasında doğal boyarmadde olarak kullanım olanaklarını araştırmıştır. Boyamalar mikrodalga enerjisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Katyonlaştırıcı ajan yüzdesi (%), pH, boyama süresi (dk) ve mikrodalga gücünün (W) renk verimi ve renk koordinatları (L*, a*, b*, C* ve h*) üzerindeki etkisi incelenmiş ve bu parametreler yanıt yüzey yöntemi ile optimize edilmiştir. Optimum boyama koşulları; pH 6,23, katyonlaştırıcı ajan oranı %6,5, mikrodalga gücü 690 W ve boyama süresi 4,5 dakika olarak tespit edilmiştir. Çalışmada bakır sülfat, kalay klorür, tannik asit, mimoza ve demir sülfat kullanılarak ön mordanlama gerçekleştirilmiştir. Ön mordanlama yöntemiyle mordanlanmış katyonize pamuklu kumaşlarda renk verimi, artan şiddet sırasına göre kalay klorür, tannik asit, mimoza, demir sülfat ve bakır sülfat şeklindedir. Çalışmanın bir diğer önemli katkısı mikrodalga destekli boyama yöntemi sayesinde işlem süresi kısaltılarak enerji tasarrufu sağlanmış ve çevre dostu bir üretim yaklaşımı geliştirilmiştir.

Zhou et al. (2022), *Glochidion ericarpum* Champ yaprak ekstraktı (GECLE) kullanarak pamuklu kumaşlar üzerinde çevre dostu bir boyama ve bitim prosesi geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, doğal kaynaklı trimetil kitosan (TMC) ile pamuk yüzeyinde pozitif yük oluşturarak, negatif yüklü GECLE moleküllerinin lif yüzeyine adsorpsiyonunu artırılması hedeflenmiştir. Boyama işlemi ultrason destekli elektrostatik birlikte çöktürme yöntemiyle gerçekleştirilmiş; bu yöntemle hem renk verimi hem de fonksiyonel özellikler artırılmıştır. Boyama banyosunun pH'ı, sıcaklığı ve GECLE konsantrasyonu gibi parametreler dikkate alınarak Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimizasyon yapılmıştır. Teorik olarak en yüksek K/S değeri 10,25 olarak, 9,36 g/L GECLE konsantrasyonu, pH 1,63 ve 61,7 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca, adsorpsiyon kinetiği modelleriyle işlem verimliliği değerlendirilmiş ve ultrason kullanımının adsorpsiyon verimliliğini 60 °C'de %13,5, 80 °C'de ise %23,8 oranında artırdığı, işlem süresini ve enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Ek olarak, 10 g/L GECLE ile işlem görmüş kumaşların %95 oranında *Escherichia coli*'ye karşı antibakteriyel etki gösterdiği ve 5 yıkama sonrasında bu

etkinin %80'in üzerinde kaldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda kumaşların UV geçirgenliği de önemli ölçüde azalmış ve “mükemmel” düzeyde UV koruma sağlamıştır. Elde edilen bulgular, TMC ve GECLLE arasındaki elektrostatik etkileşim sayesinde lif ile boyarmadde arasında kalıcı bağların oluştuğunu ve ultrason teknolojisinin doğal boyama süreçlerinde sürdürülebilir bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

Bhourri et al. (2023), *Corchorus olitorius* boya ekstraktı kullanarak tekstilde yeşil boyama prosesi geliştirmeyi hedeflemiştir. Boyarmadde, etanol kullanılarak ultrasonik ekstraksiyon yöntemiyle elde edilmiştir. Boyama süreci, boyarmadde banyosunun pH'ı, sıcaklığı (°C) ve boyama süresi (dk) gibi parametreler dikkate alınarak Yanıt Yüzey Yöntemi ile optimize edilmiştir. En uygun boyama koşulları 90 °C sıcaklık, pH 9 ve 90 dakika süre olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda elde edilen boyanmış pamuklu kumaşların renk şiddeti (K/S) teorik olarak 2,3779 olarak hesaplanmış ve elde edilen deney sonuçları ile modelin doğruluğu teyit edilmiştir. Ek olarak, renk verimi ve dayanıklılığını artırmak için üç farklı mordanlama yöntemi (ön, birlikte, son) ve üç farklı metal mordan (alüminyum sülfat, demir sülfat, bakır sülfat) kullanılmıştır. Tüm mordanlar için %1 konsantrasyon kullanılmıştır. Ön mordanlama yöntemiyle ve özellikle alüminyum sülfat ile işlem gören kumaşların en yüksek renk şiddetine ve yıkama, ışık, sürtme haslıklarına ulaştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, mordan uygulamasının boyarmadde ile lif arasında daha güçlü ve kalıcı bağlar kurulmasına olanak tanıdığını göstermektedir.

Chitichotpanya et al. (2023), çevreye zararlı kimyasallar kullanılmadan, anti-UV ve antibakteriyel özelliğe sahip kenevir kumaşların geliştirilmesinde *Diospyros mollis* Griff meyvesinden elde edilen sulu ekstraktı kullanmıştır. Boyama prosesini optimize etmek ve parametre etkileşimlerini değerlendirmek için yanıt yüzey yönteminden faydalanmıştır. Girdi değişkenleri olarak pH, boyarmadde konsantrasyonu, boyama sıcaklığı ve mordan konsantrasyonu belirlenmiş, süreçte renk verimini maksimum seviyeye çıkarmak hedeflenmiştir. Optimum boyama koşulları pH 4, boyarmadde konsantrasyonu %200, boyama sıcaklığı 92 °C ve mordan konsantrasyonu %5,4 olarak tespit edilmiştir. Boyama banyosunun pH'ının yükselmesiyle renk verimi azalırken, boyama sıcaklığının artması boyarmaddenin elyaf tarafından tutulma oranını artırmıştır. Elde edilen numuneler siyah renkte olup, renk haslıkları genel olarak +4 seviyesinde tespit edilmiştir. Boyanan kumaşlar, hem *S. aureus* hem de *E. coli* bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite göstermiştir. Ayrıca,

kumaşların UPF değerleri 40+ olarak ölçülerek mükemmel UV koruma sağladığı ortaya koyulmuştur.

Dass et al. (2023), *Curcuma longa* (zerdeçal) kökünden elde edilen doğal boyarmaddenin pamuklu kumaş üzerindeki uygulanabilirliğini araştırmış ve boyama parametrelerini optimize etmiştir. Sıcak suyla gerçekleştirilen ekstraksiyon sonucunda %24 oranında boya verimi elde edilmiştir. Boyama işleminden önce pamuklu kumaşlara %5 oranında mordan uygulanmıştır. Boyama koşullarının belirlenmesinde; boya konsantrasyonu (0.5–2.5 g/dm³), sıcaklık (50–100 °C) ve süre (20–70 dakika) değişkenleri ayrı ayrı optimize edilmiş, her bir parametre değerlendirilirken diğerleri sabit tutulmuştur. Bu yaklaşım, çalışmanın tek değişkenli deney tasarımıyla yürütüldüğünü ortaya koymaktadır. En yüksek boya alımı; 2.0 g/dm³ konsantrasyon, 90 °C sıcaklık ve 60 dakikalık süre koşullarında elde edilmiştir. Mordansız kumaşlar daha yüksek boya emme kapasitesi gösterirken, mordan uygulaması renk doygunluğunu artırmıştır.

Haji ve Vadood (2023), kök boya (*Rubia tinctorum*) ve muhabbet çiçeği (*Reseda luteola* L.) gibi doğal boyarmaddeler ile potasyum alüminyum sülfat (şap) kullanarak pamuklu kumaşların boyanabilirliğini incelemiştir. Boyanan numunelerin renk koordinatları (L*, a*, b*) ölçülmüş ve bu koordinatların tahmini için farklı modelleme yaklaşımları uygulanmıştır. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre bahsedilen üç malzemenin de boyalı kumaş örneklerinin renk koordinatları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Her bir malzemenin konsantrasyonu ile renk koordinatı arasındaki ilişki regresyon yöntemi, yapay sinir ağı (ANN), bulanık mantık ve destek vektör makinesi (SVM) kullanılarak ayrı ayrı modellenmeye çalışılmıştır. Renk koordinatlarını öngören yapay zekâ modellerinin doğruluğunu artırmak amacıyla genetik algoritma (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve gri kurt optimizasyonu (GWO) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, ANN modeli ile GWO kombinasyonunun L* ve b* değerlerinin tahmininde en yüksek doğruluğu sağladığı, a* değeri için ise en iyi sonucun ANN ve PSO kombinasyonu ile elde edildiği belirlenmiştir.

Ketema ve Worku (2023), pamuklu kumaşa antibakteriyel aktivite kazandırmak için ısırgan otu bitki yapraklarından elde edilen doğal boyarmaddenin kullanım olanaklarını araştırmıştır. Çalışmada boyarmadde ekstraksiyonu ve pamuklu kumaş boyama süreci merkezi kompozit tasarım kullanılarak optimize edilmiştir. Ekstraksiyon sürecinin optimizasyonunda, malzeme/sıvı oranı (g/L) ve ekstraksiyon süresi (dk) temel değişkenler

olarak belirlenmiş; bu faktörlerin ekstraksiyon verimi (%) üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Maksimum verim (%30,517), 10 g kuru toz konsantrasyonu ile 34,636 dakikada gerçekleştirilen ekstraksiyon sonucu elde edilmiştir. Boyama işlemi öncesinde kumaşlar metal (alüminyum sülfat) ve biyomordanlar (sodyum aljinat ve myrobalan) kullanılarak mordanlanmıştır. Pamuklu kumaşın boyama sürecinin optimizasyonunda, boyama süresi (dk), sıcaklık (°C) ve boyarmadde konsantrasyonu (g/L) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiş; bu parametrelerin kumaşın renk şiddeti (K/S) değeri üzerindeki etkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, optimum boyama koşulları 16,943 g/L boyarmadde konsantrasyonu, 50 °C sıcaklık ve 40 dakika süre olarak belirlenmiş; bu koşullarda elde edilen maksimum K/S değeri 1,53 olmuştur. ANOVA analizi sonuçlarına göre, boyama süresi ve sıcaklığının renk şiddeti (K/S) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmazken, boyarmadde konsantrasyonunun artmasıyla birlikte renk veriminin anlamlı düzeyde arttığı belirlenmiştir. Haslık testleri incelendiğinde sodyum aljinat ile mordanlanan numunelerin yıkama, sürtme ve ışık haslığı açısından diğer mordanlara kıyasla daha üstün performans gösterdiği tespit edilmiştir. Optimum boyama koşullarında boyanmış pamuklu kumaşların antibakteriyel etkinliği, *Staphylococcus aureus* (gram pozitif) ve *Escherichia coli* (gram negatif) bakterilerine karşı AATCC 100 yöntemi ile değerlendirilmiştir. ANOVA analizi sonuçlarına göre, *E. coli* üzerindeki antibakteriyel etkinlik açısından boyama süresi ve sıcaklığının istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı, ancak boyarmadde konsantrasyonunun artmasının bakteri azaltma oranını belirgin şekilde artırdığı tespit edilmiştir. *S. aureus* için optimum antibakteriyel etki 14,477 g/L konsantrasyon, 50 °C sıcaklık ve 40 dakika süre ile %96,5 bakteri azaltımı; *E. coli* için ise 14,714 g/L konsantrasyonla %98 oranında azaltım olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, antibakteriyel etkinlik yıkama dayanımı açısından da incelenmiş ve 10 yıkamaya kadar *S. aureus* için %91, *E. coli* için %94 oranında etkinliğin korunduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, ısırgan otu yaprağı ekstraktının pamuklu kumaşlara yalnızca renklendirme değil, aynı zamanda kalıcı antibakteriyel özellik kazandırmada da etkili olduğunu göstermektedir.

Ltaief et al. (2023), *Citrullus colocynthis* yapraklarından elde edilen sulu ekstraktı pamuklu kumaşların renklendirilmesinde kullanmıştır. Boyama denemeleri farklı süre (30–60 dk), sıcaklık (60–100 °C) ve pH (5–9) değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Boyama süreci yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Renk verimi (K/S) ve boya banyosu tükenme oranı (%E) değerlendirme kriterleri olarak ele alınmıştır. Modelin renk verimi ve tükenme oranına ilişkin R² değerleri sırasıyla %97 ve %91 olarak hesaplanmış; bu da

modelin güvenilirliğini ortaya koymuştur. Bulgular, pH'ın her iki çıktı üzerinde de en önemli etkiye sahip olduğunu, sıcaklık-pH ve sıcaklık-zaman etkileşimlerinin ise çıktılar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı farklar oluşturduğunu göstermiştir. Optimum boyama koşulları; 91 °C sıcaklık, pH 7 ve 30 dakikalık süre olarak tespit edilmiştir. Katyonikleştirme ve biyomordan uygulamalarının boyama üzerindeki etkilerini analiz edebilmek amacıyla, boyama işlemi öncesinde pamuklu kumaşlar katyonikleştirilmiş veya nar kabuğu ve hurma çekirdeği kullanılarak ön mordanlamaya tabi tutulmuştur. Katyonikleştirme ve ön mordanlama işlemleri, renk verimi ve tükenme sonuçlarını anlamlı düzeyde iyileştirmiştir. Ayrıca, boyalı kumaşlar yıkama, sürtme ve ışık haslığı açısından iyi düzeyde performans göstermiştir.

Soybaş (2023), çalışmasında kenevir elyafı ile sürdürülebilir dokuma kumaş tasarımları gerçekleştirmiştir. Pamuk kenevir karışımı iplik ve kumaşları doğal boyarmaddeler ile renklendirerek 6 farklı tasarım ortaya koymuştur. İplik ve kumaşları renklendirmeden önce şap (potasyum alüminyum sülfat), demir II sülfat ve bakır II sülfat (göztaşı) kullanarak ön mordanlama işlemine tabii tutmuştur. Doğal boyarmadde olarak zerdeçal, adaçayı, nar, ceviz kabuğu ve kök boya kullanmıştır. Boyamalar ön mordanlama yöntemine göre 1/30 banyo oranında gerçekleştirilmiş, özütlenen boyarmadde ile iplikler 100°C'de 1 saat kaynatılmıştır. Zerdeçal şap ile sarı, adaçayı şap ile açık sarı, adaçayı demir sülfat ile yeşil-gri, nar demir sülfat ile gri, ceviz kabuğu bakır II sülfat ile bakır tonlu kahverengi ve ceviz kabuğu demir II sülfat ile kahverengi renk elde edilmiştir.

Sayar (2023), antibakteriyel özelliğe sahip zerdeçal (*Curcuma longa*) ve kekik (*Thymus*) bitkisini kullanarak mordansız ve potasyum alüminyum sülfat ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) ile ön mordanlama yapılmış %100 pamuklu kumaşın doğal boyamasını gerçekleştirmiştir. Yapılan boyamalarda sırasıyla sarı ve kahve renk tonlarında kumaşlar elde etmiştir. Boyaması gerçekleştirilen kumaşların CIELab renk değerleri, haslık (tükürük, yıkama, sürtme) ve antibakteriyel aktivite tayinini ölçmüştür. Kumaşların haslık test sonuçlarının kabul edilebilir seviyeye çıkartılabilmesi için farklı flotte oranlarında boyamalar gerçekleştirmiştir. Antibakteriyel aktivite test sonucuna göre kullanılan boyarmaddelerin gram negatif (*E. Coli*) ve gram pozitif (*S.aureus*) bakterilere karşı koruma sağladığını ortaya koymuştur.

Siddiqua et al. (2023), Marwa (*Murraya exotica*) bitkisinden doğal boyarmadde ekstrakte ederek, bu ekstraktı pamuklu kumaşların renklendirilmesinde değerlendirmiştir. Ekstraksiyon ve boyama süreçleri, Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) ile optimize edilmiştir. Boyarmadde ekstraksiyonu sırasında süre (dk), alkali konsantrasyonu (M) ve malzeme/sıvı oranı (M: L) parametreleri dikkate alınmış; farklı koşullarda boyanan kumaşların renk verimi (K/S) değerleri ölçülerek en uygun şartlar belirlenmiştir. Elde edilen optimum ekstrakt, ardından pamuklu kumaşın boyama işlemine aktarılmış ve bu aşamada boyama sıcaklığı (°C), süre (dk) ve tuz konsantrasyonu (g/L) gibi faktörler optimize edilmiştir. Çalışmada ayrıca %2 konsantrasyonda şap ($K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$), bakır sülfat ($CuSO_4$) ve demir sülfat ($FeSO_4$) kullanılarak ön, birlikte ve son mordanlama yöntemleri uygulanmıştır. Mordanlama denemeleri sonucunda, en yüksek renk verimi %2 bakır sülfat ile gerçekleştirilen birlikte mordanlama yöntemiyle sağlanmıştır. Elde edilen numuneler yıkama, sürtme ve ışık haslığı testlerine tabi tutulmuş; sonuçlar genel olarak 4 ile 4-5 arasında değişen, iyi düzeyde haslık değerleri göstermiştir.

Phromphen (2023), çalışmasında muz kabuğu atıklarından tanen elde etmeyi ve elde edilen taneni, kadife çiçeği doğal boyarmaddesi ile pamuklu kumaşların boyanmasında doğal bir mordan olarak kullanmayı amaçlamıştır. Çalışmada ön, birlikte ve son olmak üzere üç farklı mordanlama yöntemi uygulanmıştır. Muz kabuğundan tanen ekstraksiyonu üç farklı sıcaklık ve sürede gerçekleştirilmiş, maksimum tanen konsantrasyonunu veren koşullar 90 °C'de 60 dk olarak tespit edilmiştir. Maksimum tanen içeriğini veren ekstrakt, boyama işleminde mordanlama parametrelerini optimize etmek için kullanılmıştır. Mordanlama sıcaklığının optimizasyonu için numuneler 60 dk boyunca 30, 60 ve 90 °C'de ön ve son mordanlamaya tabii tutularak renklendirilmiştir. Mordanlama sıcaklığındaki artış, renk verimini olumlu yönde etkilemiş; ancak 60°C'nin üzerindeki sıcaklık artışlarının K/S değerinde anlamlı bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir. Belirlenen sıcaklıkta 60, 90 ve 120 dakika süreyle mordanlama işlemleri gerçekleştirilmiş ve optimum mordanlama süresi tespit edilmiştir. K/S (renk yoğunluğu) ve L (açıklık) değerlerine göre yapılan değerlendirmede, 120 dakika sonunda kumaşların en iyi renk performansını gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle, 60°C'de 120 dakika süreyle mordanlama işlemi optimum koşul olarak seçilmiştir. Birlikte mordanlama yönteminde ise mordan-boya oranı (1:1, 1:2, 2:1), sıcaklık ve süre parametreleri birlikte değerlendirilmiş; optimum koşullar 30°C sıcaklık, 2:1 mordan-boya oranı ve 90 dakika süre olarak belirlenmiştir. Mordanlama işlemi, pamuklu kumaşların yıkama haslığını anlamlı şekilde artırmış, ışık haslığında ise sınırlı bir iyileşme sağlamıştır.

Abubakar et al. (2024), yaban mersininden (*Vaccinium corymbosum*) doğal boyarmadde ekstraksiyonu gerçekleştirmiş ve elde ettikleri ekstraktı kullanarak pamuklu kumaşın boyama sürecini optimize etmiştir. Çalışmada boyarmadde konsantrasyonu (0,1, 0,15, 0,20, 0,25 ve 0,3 g/cm³), boyama sıcaklığı (60, 70, 80, 90 ve 100 °C) ve boyama süresi (30, 40, 50, 60 ve 70 dk) temel parametreler olarak seçilmiş, her biri için beş seviye oluşturulmuştur. Optimum boyarmadde konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla numuneler 95–100 °C’de 30 dakika süreyle boyanmış ve maksimum renk verimi sağlayan konsantrasyon (0,25 g/cm³) optimum değer olarak seçilmiştir. Optimum boyarmadde konsantrasyonu kullanılarak seçilen sıcaklıklarda boyamalar tekrarlanmış, en yüksek renk veriminin elde edildiği sıcaklık (90 °C) optimum sıcaklık olarak seçilmiştir. Maksimum boyama emiliminin sağlandığı süre (70 dk) optimum süre olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, *Vaccinium corymbosum* doğal boyarmaddesinin pamuklu kumaşların renklendirilmesinde kullanılarak sürdürülebilir tekstil üretimine katkı sağlayacağını ortaya koymuştur.

Aftab et al. (2024), doğal boyarmadde kaynağı olarak karanfilin (*Syzygium aromaticum* L.) pembe çiçek tomurcuklarını pamuklu kumaşı renklendirmede kullanmıştır. Çalışmada biyomordan olarak nar kabuğu (*Punica granatum* L.) ve kök boya (*Rubia tinctorum* L.), sumak; kimyasal mordan olarak ise potasyum alüminyum sülfat, demir sülfat ve tartarik asit kullanmıştır. Boyama süresi (dk), sıcaklığı (°C), pH ve tuz konsantrasyonu (g/100 mL) maksimum renk verimini elde etmek için merkezi kompozit tasarım kullanılarak optimize edilmiştir. Çalışmada optimizasyonun yanı sıra renk veriminin tahminlenmesi için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Yapay sinir ağı modeli, renk veriminin tahmininde %98,20 açıklayıcılık (R²) ve 0,0118 hata değeriyle, yanıt yüzey yöntemine göre daha üstün bir performans sergilemiştir. Bu çalışma, mikrodalga yardımcı ekstraksiyon ve biyomordan kullanımı ile çevre dostu bir doğal boyama prosesi ortaya koymaktadır.

Batool et al. (2024), şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) yapraklarından elde edilen doğal boyarmadde ile pamuklu kumaşın doğal boyama sürecini incelemiştir. Boyama süresi (15–85 dk), sıcaklık (30–90 °C), tuz konsantrasyonu (1–10 g/100 mL) ve boyarmadde miktarı (30–90 ml) olmak üzere dört temel boyama parametresi tek faktörlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ile değerlendirilmiş ve her bir parametrenin renk verimi (K/S) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 60 °C’de 45 dakikalık boyama süresi, 6 g/100 mL tuz çözeltisi konsantrasyonu ve 50 mL boya özütü kullanılarak gerçekleştirilen

boyama en yüksek renk verimini sağlamış ve optimum boyama koşulları olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında boyanan numunenin çeşitli tonlarını üretmek için biyomordan olarak kına (*Lawsonia inermis* L.), soğan kabuğu (*Allium cepa* L.), nar kabuğu (*Punica granatum* L.), zerdeçal (*Curcuma longa* L.) ve altın duş kabuğu (*Cassia fistula* L.); kimyasal mordan olarak ise demir sülfat (FeSO_4), tannik asit ($\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_4$), potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ve bakır sülfat (CuSO_4) kullanılmıştır. Farklı mordan türleri ve konsantrasyonlarının, ön ve son mordanlama yöntemleriyle elde edilen K/S değerleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmış; elde edilen renk verimleri, aralarındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla ANOVA ile değerlendirilmiştir.

Darmawan et al. (2024), *Cudrania javanensis*, *Clitoria ternatea* ve *Hibiscus sabdariffa* çiçeklerinden elde edilen ekstrakt ile pamuklu kumaşın boyama sürecini araştırmıştır. Öncelikle üç boyarmadde için de sitrik asit kullanılarak ön, birlikte ve son mordanlama yöntemlerinin etkinliği ortaya koyulmuş, en yüksek renk veriminin ön mordanlama yoluyla elde edildiği tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında ön mordanlama işlemi için mordanlama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve süresi (dk) *Cudrania javanensis* boyarmaddesi kullanılarak merkezi kompozit tasarım (CCD) ile optimize edilmiş, yanıt olarak renk verimi (K/S) değerlendirilmiştir. Mordanlama işlemi için optimum koşullar 65°C ve 82 dk olarak tespit edilmiştir.

Elsoghlar et al. (2024), zeytin (*Olea europaea* L.) ve hünnap (*Ziziphus spina-christi* L.) yapraklarını doğal boyarmadde kaynağı olarak değerlendirmiştir. Ultrasonik banyoda metanol ile elde edilen zeytin ve hünnap yaprağı ekstraktları %75 zeytin, %25 hünnap olmak üzere karıştırılarak pamuklu kumaşın doğal boyamasında kullanılmıştır. Mikrodalga fırında 1 saatten fazla farklı boyarmadde konsantrasyonlarında (2, 4, 6, 8 ve 10 g/L) boyamalar gerçekleştirilerek renk verimi (K/S) ölçülmüş, 6 g/L boyarmadde konsantrasyonundan sonra renk veriminde bir değişiklik olmadığı ortaya koyulmuştur. Boyamada pH asitten alkaliye gittikçe renk veriminin azaldığı, en yüksek renk verimi ve haslıkların pH 2' de elde edildiği tespit edilmiştir. Çalışmada, zeytin yaprağından elde edilen ekstrakt ultra yüksek performanslı sıvı kromatografisi (UPLC) ile analiz edilmiş; toplam 12 bileşik tanımlanmıştır. Bu bileşikler arasında, antioksidan ve antienflamatuvar özellikleriyle bilinen oleuropein, başlıca bileşik olarak öne çıkmıştır. Oleuropein bileşiğinin yapısal özellikleri,

zeytin yaprağının liflerle güçlü bağ kurmasını ve yüksek renk haslığı sağlamasını destekleyerek, doğal boyama uygulamaları için etkili bir alternatif haline getirmiştir.

Hussain et al. (2024), boyarmadde olarak kırmızı pancardan (*Beta vulgaris*) ve biyomordan olarak nar kabuğundan (*Punica granatum*), mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemiyle ekstrakt elde etmiştir. Ekstraksiyon sürecinde tek faktörlü deneyler gerçekleştirilerek en uygun koşullar belirlenmiştir. Çalışmada birlikte mordanlama yöntemi tercih edilmiştir. Boyama sıcaklığı (°C), pH ve solvent/katı oranı (ml/g) üç ana parametre olarak seçilmiş, Box Behnken deney tasarımı yöntemi kullanılarak pamuk ve ipek kumaşlar için renk verimi (K/S) optimize edilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda pamuk kumaşların renk verimi üzerinde sıcaklık ve pH gibi faktörlerin etkileşimlerinin daha fazla etkili olduğu; ipek için en etkili parametrenin pH olduğu görülmüştür.

Chouytan et al. (2024), kenevir ipliklerinin indigo ve lak doğal boyarmaddeler ile renklendirilmesini araştırmıştır. Doğal boyaların düşük olan renk verimi ve yıkama dayanımını artırmak için ipliklere boyama öncesi merserizasyon ve katyonizasyon işlemi uygulanmıştır. Çalışmada, her doğal boyarmadde için yalnızca merserizasyon, yalnızca katyonizasyon, her ikisi birden ve hiçbir işlem uygulanmayan toplam 8 numune hazırlanmıştır. Merserizasyon işlemi liflerin yüzeyini pruzsüzleştirerek boyarmadde alımını arttırırken, katyonizasyon işlemi ise liflerin yüzey yükünü değiştirerek boyarmadde ile etkileşimini güçlendirmiştir. Sonuç olarak, her iki işlemin de renk derinliği ve haslık özelliklerini iyileştirdiği, merserize edilmiş kenevir ipliklerin ise diğerlerine göre %34 daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Li ve Sun (2024) yaptıkları çalışmada kenevir lifinin gardenya pigmenti ile ultrason destekli boyamasını araştırmıştır. Tek faktörlü deneylerle ultrasonik frekans, mordan konsantrasyonu, boyama sıcaklığı ve süresinin renk verimi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Yapılan denemeler sonucunda boyama süresinin boyarmadde alımını etkilemediği tespit edilmiştir. Boyamaya etki eden diğer faktörlerin sırasıyla mordan konsantrasyonu, ultrasonik güç ve boyama sıcaklığı olduğu ortaya koyulmuştur. Bu nedenle yanıt yüzey yöntemi ile yapılan optimizasyon çalışmasında girdi değişkenleri mordan konsantrasyonu, ultrasonik güç ve boyama sıcaklığı olarak seçilmiştir. Çıktı olarak boyarmadde alım yüzdesinin değerlendirildiği, 12 tanesi faktör, 5 tanesi merkez noktadan olmak üzere 17 adet deney gerçekleştirilmiştir. Optimum proses koşulları, ultrasonik güç %85, boyama sıcaklığı

77 °C, süre 60 dakika ve mordan konsantrasyonu 15 g/L olarak tespit edilmiştir. Bu koşullarda %57,32 oranında parlak sarı renkte bir kumaş elde edilmiştir. Elde edilen numunenin verim ve haslık (su, yıkama ve ışık) sonuçlarında olumsuz bir etki gözlemlenmemiştir. Yapılan antibakteriyel test sonucuna göre gardenya ile renklendirilmiş kenevir lifinin gram pozitif bakterilere karşı antibakteriyel etkinliğinin arttığı, gram negatif bakterilere karşı ise belirgin bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ile ultrason destekli boyama işleminin etkisi değerlendirilmiş, ultrasonik enerjinin daha fazla bağ çözerek lif ayrılması ve incelmeye olanak sağlayacağı ve sonucunda renk veriminin konvansiyonel boyamalara göre daha yüksek olacağı ortaya koyulmuştur.

Mulyaningtyas et al. (2024), yaptıkları çalışmada manyok yaprağını pamuklu kumaşın boyanmasında doğal boyarmadde kaynağı olarak değerlendirmiştir. Partikül boyutu ve ekstraksiyon sıcaklığının boyarmadde verimi üzerindeki etkisi, klorofil konsantrasyonu esas alınarak faktöriyel düzende kurgulanan rastsal bir deney tasarımı ile optimize edilmiştir. Alüminyum sülfat metal mordanı kullanılarak ön, birlikte ve son mordanlama yöntemlerinin etkileri analiz edilmiştir. Mordan konsantrasyonu ve mordanlama yönteminin rastsal olarak seçildiği bir deney planı oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar ANOVA kullanılarak yorumlanmış, pamuklu kumaş üzerinde en iyi ve en canlı sarı rengi veren yöntemin 40g/L konsantrasyonda mordan kullanılarak birlikte mordanlama yöntemi ile elde edildiği ortaya koyulmuştur.

Nguyen et al. (2024), pamuklu kumaşı boyamada *Diospyros mollis* Griff meyvesinden elde edilen ekstraktı kullanmıştır. Çalışmada boyama işlemi sonrasında kumaşların hava geçirgenliği, nem ve su buharı emilimi, birim alan başına düşen ağırlığı, termal stabilitesi, yüzey morfolojisi ve antibakteriyel özellikleri değerlendirilmiştir. Boyama sıcaklığı, süresi ve ekstrakt konsantrasyonu gibi işlem parametreleri, % bakteri öldürme oranı esas alınarak antibakteriyel etkiyi maksimize edecek şekilde, yanıt yüzey yöntemiyle optimize edilmiştir. En yüksek antibakteriyel etkiyi sağlayan koşullar 56,36 °C, 90 dk ve 89/100 (v/v) ekstrakt/su oranı olarak tespit edilmiştir. Bu koşullarda boyanan kumaşların *S.aureus* (gram pozitif) ve *E.coli* (gram negatif) bakterilerine karşı %99,9 antibakteriyel direnç gösterdiği görülmüştür.

Pars (2024), tarımsal atık niteliğindeki Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* subsp. *Pallasiana*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) kozalaklarını doğal boyarmadde kaynağı olarak kullanarak

kenevir kumaşın boyanabilirliğini araştırmıştır. Her bir boyarmadde için altı farklı konsantrasyonda, 100°C’de 60 dakika süreyle boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyarmadde konsantrasyonu arttıkça renk veriminin yükseldiği belirlenmiş, en yüksek renk verimi %30 Anadolu karaçamı ile boyanan numunede tespit edilmiştir. Elde edilen numunelerin yıkama, sürtme ve ışık haslık değerleri genel olarak 4-5 seviyesinde ölçülmüştür. Sentetik boyarmaddeler yerine tarımsal atık niteliğindeki çam kozalaklarının kullanımı, sürdürülebilir üretim ilkesini destekleyen bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir.

Srisuk et al. (2024), çalışmalarında doğal boyarmadde olarak jackfruit ağacı özütünü kullanmış ve kumaşları tannik asit ile alüminyum potasyum sülfat kullanarak ön mordanlama işlemine tabi tutmuştur. Mordanlama için kızılötesi, ultrasonik ve mikrodalga olmak üzere üç farklı teknik karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İki farklı mordan ve iki farklı konsantrasyon seviyesi, üç farklı mordanlama tekniği kullanılarak toplam 12 deneyden oluşan bir set oluşturulmuştur. Mordanlama yapılmayan numune kontrol numunesi olarak seçilmiştir. Elde edilen numuneler; renk ölçümleri (K/S ve ΔE), kristalinlik indeksi (CI), verim, renk haslığı (yıkama, sürtme ve ışık) ve UV koruma faktörü (UPF) açısından değerlendirilmiştir. Mikrodalga ile mordanlama, kumaş yapısına en az zarar veren ve en kısa sürede tamamlanan yöntem olarak tespit edilmiştir. Ancak, renk yoğunluğu açısından değerlendirildiğinde, kızılötesi ve ultrasonik mordanlamaya kıyasla daha düşük renk verimi sağlamıştır. Kızılötesi mordanlama, kumaşın kristalin yapısına en fazla zarar veren yöntem olarak belirlenmiş, ancak renk verimi ultrasonik mordanlama ile benzer bulunmuştur. Tüm numuneler, renk haslığı ve UV koruma açısından kabul edilebilir değerlere sahiptir.

Tegegne et al. (2024), doğal bir renklendirici olan *Justica schimperiana* yaprağını kullanarak, pamuklu kumaşların boyanması ve onlara antibakteriyel özellik kazandırılması için çevre dostu bir yaklaşım geliştirmiştir. Boyamalarda mordan maddesi olarak bakır sülfat, demir sülfat ve şap kullanılmış, birlikte mordanlama yöntemi uygulanmıştır. Boyarmadde konsantrasyonu, boyama süresi ve sıcaklığının, renk verimi (K/S) üzerindeki etkisi Box-Behnken tasarımı ile optimize edilmiştir. %50 boyarmadde konsantrasyonu ile 72 °C ve 45 dakikada yapılan boyamada maksimum renk mukavemeti (3,28) elde edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, sıcaklık, boyama süresi ve boya konsantrasyonu gibi tüm parametrelerin renk verimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte liflerin boya alma kapasitesi yükselmiş ve daha yoğun renkler elde edilmiştir. Boyama süresinin uzaması, boya tükenmesi dengeye ulaşana kadar renk

veriminde artış sağlamıştır. Ayrıca, boya banyosundaki boya konsantrasyonunun artırılması, liflere daha fazla boya molekülünün tutunmasına olanak tanıyarak daha yüksek K/S değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur. Kullanılan tüm mordan maddeleri genel olarak kumaşların yıkama, ışık ve sürtme haslıklarını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Çalışmanın devamında, boyanmış kumaşlara ekstrakt ile apre işlemi uygulanmış ve S.aureus (Gram pozitif) ile E. coli (Gram negatif) bakterilere karşı antibakteriyel etki sağlandığı tespit edilmiştir.

Vithushika et al. (2024), yaptıkları çalışmada mavi kelebek sarmaşığı (*Clitoria ternatea*), tavus kuşu çiçeği (*Caesalpinia pulcherrima*) ve kadife çiçeği (*Tagetes erecta*) ile pamuklu kumaşın boyanabilirliğini araştırmıştır. Çiçeklerden boyarmadde ekstraksiyonu, mikrodalga enerjisi kullanılarak su, sitrik asit ve kabartma tozu çözeltileri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Boyama öncesinde mordan maddesi olarak sirke, kabartma tozu, tuz ve krem tartar kullanılmıştır. 80 °C’de 1 saat süreyle mordan işlemine tabi tutulan pamuklu kumaşlar, ardından 24 saat süreyle boya banyosunda bekletilerek boyanmıştır. Kontrol grubu olarak mordanlanmamış boyalı kumaşlar kullanılmıştır. Denemeler, iki faktörlü faktöriyel tasarımıyla tasarlanmıştır. Boyanan kumaşlara üç ardışık yıkama uygulanmış ve her yıkama sonrasında renk koyuluk–açıklık değeri ölçülmüştür. Elde edilen veriler, SAS 9.1 istatistik yazılımı kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve yıkamanın renk üzerine anlamlı bir etkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Anlamlı fark tespit edilen durumlarda, hangi yıkama işlemleri arasında bu farkın oluştuğunu belirlemek amacıyla Duncan’ın Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmış ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Wik ve Ellertsson Sandberg (2024), denim üretiminde pamuk elyafının yüksek enerji, su ve kimyasal kullanımı gibi olumsuz çevresel etkilerini azaltmak amacıyla, alternatif bir elyaf olarak kenevirin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, %50 kenevir ve %50 pamuk karışımından oluşan iplikler kullanılarak, ağartıcı kullanılmadan doğal indigo ile sürdürülebilir boyama yöntemleri incelenmiştir. Çalışmada, farklı ön işlem yöntemlerinin iplik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Referans numune konvansiyonel ön işleme tabi tutulurken, diğer numuneler kimyasallı ve kimyasalsız olarak farklı süre ve sıcaklıklarda ultrasonik banyoda işlenmiştir. Ön işlem tamamlandıktan sonra tüm numuneler doğal indigo ile boyanarak farklı ön işlem koşullarının etkileri (ipliklerin ağırlık değişimi, renk haslığı, mikroskobik yapısı, büküm, verim ve renk ölçümleri) değerlendirilmiştir. İndigo doğa boyarmaddesi ile boyanan numunelerin renk derinliğinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Xu et al. (2024), *Caesalpinia sappan* L. ve *Galla chinensis* doğal boyarmaddelerini kullanarak pamuklu kumaşların boyanabilirliğini değerlendirmiş ve ardışık çiftli boyama yöntemiyle renk skalasını genişletmeyi amaçlamıştır. Çalışmada boyama sıcaklığı, boyama süresi, pH, mordan türü ve konsantrasyonu gibi parametreler tek faktörlü deneylerle optimize edilmiştir. Spektrofotometrik renk ölçüm parametreleri (L^* , a^* , b^* , C^* , h° ve K/S) boyama sonuçlarını karakterize ederek boyama mekanizmasını ve renk değişim modellerini araştırmak için kullanılmıştır. Alüminyum ve demir tuzları kullanılarak ön, birlikte ve son mordanlama yöntemlerinin etkisi analiz edilmiş; en iyi renk verimi ve renk haslıkları, Al^{3+} ile ön mordanlama ve Fe^{2+} ile son mordanlama koşullarında elde edilmiştir. Ardışık boyama yöntemiyle toplam 100 farklı renk ve 14 ayrı ton elde edilmiş, renk haslığı değerleri (yıkama, sürtme ve ışık) 4–5 seviyelerine ulaşmıştır. Çalışma, ardışık çiftli boyamanın doğal boyalarla elde edilebilecek renk spektrumunu genişlettiğini ve sürdürülebilir üretim hedefleriyle uyumlu bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Zhang et al. (2024), *Portulaca oleracea* L. (semizotu) ekstraktının pamuklu kumaşın ekolojik boyanmasında doğal boya olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve lakkaz enzimi ile boyama etkinliğini artırmayı amaçlamıştır. Doğrudan yapılan boyama işleminde düşük renk verimi elde edilirken ($K/S = 0,66$), lakkaz katalizi sonrasında K/S değeri 4,41'e yükselmiş ve boya alım oranı %14,54'ten %33,69'a çıkmıştır. Boyama sürecine etki eden parametreler (boyama süresi, sıcaklık, pH ve enzim konsantrasyonu) tek faktörlü deneylerle incelenmiş ve ardından ortogonal deney tasarımı ile optimize edilmiştir. Optimum boyama koşulları, pH 8,0, 90 °C sıcaklık, 4 saat boyama süresi ve 1 u/mL lakkaz konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. Lakkaz, ekstrakt içindeki fenolik bileşenleri polimerleştirerek pamuk lifleriyle güçlü bağlar oluşturmuş; böylece renk verimi ve haslık özellikleri artmıştır. Boyanmış kumaşlarda yıkama, ışık ve sürtme haslıkları 4–5 seviyesinde, UV koruma değeri ise 230 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, lakkaz destekli doğal boyama sistemlerinin çevre dostu tekstil üretimi için etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Olvera-Quintanar et al. (2025), pamuklu kumaşların doğal yöntemlerle mor tonlarda boyanmasını sağlamak amacıyla Meksika koşinili (*Dactylopius coccus* Costa) kullanarak boyama parametrelerinin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Geleneksel boyama yöntemleri incelenerek, boyama üzerinde sekiz faktörün (boyama kabının malzemesi, mordanlama türü, şap konsantrasyonu, boyarmadde konsantrasyonu, yardımcı mordan

konsantrasyonu, boyama sıcaklığı, boyama süresi ve meşe mazısı kullanımı) etkili olabileceği öngörülmüştür. Bu faktörlerin boyama işlemi üzerindeki birincil etkileri Plackett–Burman deney tasarımı ile analiz edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, en etkili faktörün birlikte mordanlama yöntemi olduğu belirlenmiş; bunu sırasıyla koşnil konsantrasyonu, mordan yardımcı maddesi konsantrasyonu ve boyama süresi takip etmiştir. Yıkama yöntemi ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Çalışmanın devamında, boyarmadde konsantrasyonu, yardımcı mordan miktarı ve boyama süresi, her bir yardımcı mordan için ayrı ayrı yanıt yüzey yöntemi ile optimize edilmiştir.

Xu et al. (2025), yaptıkları çalışmada oolong çayı üretimi sırasında ortaya çıkan çay saplarını doğal boyarmadde kaynağı olarak değerlendirmiş, organik pamuklu kumaşın boyanması ve kumaşa fonksiyonel özellikler kazandırılmasını hedeflemişlerdir. Çalışmada, boyama koşullarının (pH, sıcaklık ve süre) renk verimi (K/S değeri) üzerindeki etkisi Box–Behnken deney tasarımı ile araştırılmış ve optimum boyama koşulları belirlenmiştir. Her bir faktörün uygulanabilir aralıkları tek faktörlü deneylerle belirlenmiştir. Optimum boyama koşulları pH 7.9, 90 °C ve 80 dakika olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, kitosan ile ön mordanlama işleminin kumaşın boyanabilirliği ve fonksiyonelliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mordanlanmış ve mordanlanmamış kumaşlar tespit edilen optimum koşullarda boyanarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kitosan kullanımının boya emilimini artırarak daha yüksek renk yoğunluğu ve renk haslığı sağladığını göstermiştir. Kitosanla işlem gören kumaşlarda %90'ın üzerinde antibakteriyel aktivite, 25.3 UV koruma indeksi ve %90'ın üzerinde antioksidan etki elde edilmiştir. Bu bulgular, tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve çevre dostu tekstil üretimi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Literatür taramasına ilişkin özet tablo Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Literatür taraması özeti

Yazar/Yıl	Konu	Metot	Girdi	Çıktı
Budeanu et al. / 2014	Farklı kenevir kumaşların soğan kabuğu, kırmızı pancar ve siyah çay ile doğal boyanması <i>Berberis vulgaris</i> L. doğal boyarmaddesi ile pamuklu kumaşın boyanabilirliği	-	-	-
Haji et al. / 2018	Neem özütü kullanarak kenevir kumaşın boyanabilirliği ve antibakteriyel özelliklerinin incelenmesi	Yanıt Yüzey Yöntemi	Sitrik asit konsantrasyonu (%), sodyum hipofosfit konsantrasyonu (%) ve süre (s)	Renk verimi (K/S)
Inprasit et al. / 2018	Kenevir kumaşın doğal boyarmaddeler ile optimum çevre dostu boyanmasının geliştirilmesi	-	Boyarmadde konsantrasyonu (%), boyama sıcaklığı (°C) ve boyama süresi (dk)	Renk verimi (K/S)
Chipot / 2019	Kına yapraklarından doğal boyarmadde ekstraksiyon prosesinin optimizasyonu	Tam Faktöriyel Tasarım	Boyarmadde türü, mordan türü, boyarmadde konsantrasyonu (%), mordanlama yöntemi	Renk verimi (K/S)
Jaaben et al. / 2019	Sert suyun <i>Tagetes erecta</i> çiçekleriyle pamuklu kumaşın doğal boyanmasına etkisinin araştırılması	Yanıt Yüzey Yöntemi	Banyo Oranı (M:L), pH ve süre (dk)	Renk verimi (K/S)
Khalid et al. / 2019		Yanıt Yüzey Yöntemi	Su sertliği (ppm), boyama süresi (dk), boyama sıcaklığı (°C) ve ekstraksiyon süresi (dk)	Renk verimi (K/S)

Tablo 3.1 (devam)

Yazar/Yıl	Konu	Metot	Girdi	Çıktı
Grifoni et al. / 2020	Farklı kökenli bitkilerden elde edilen sulu özütlerle kenevir kumaşın boyanabilirliği ve UV koruma özelliğinin incelenmesi	-	-	-
Inprasit et al. / 2020	Kenevir kumaşın nar kabuğu ekstraktı ile optimum boyama koşullarının tespiti ve antibakteriyel özelliklerinin incelenmesi	Tam Faktöriyel Tasarım	Boyarmadde konsantrasyonu (%), sıcaklık (°C) ve süre (dk)	Renk verimi (K/S)
Budeanu / 2021	Muhabbet çiçeği (<i>Reseda Luteola</i> L.) ve kök boya (<i>Rubia Tinctorum</i> L.) ile kenevir kumaşın boyanabilirliği üzerine deneysel çalışma	-	-	-
Yan et al. / 2021	<i>Buddleja officinalis</i> ile kenevir kumaşın boyama prosesinin optimizasyonu	Taguchi	Boyama sıcaklığı (°C), boyama süresi (dk) ve pH	Renk verimi (K/S)
Yang et al. / 2021	<i>Rubia wallichiana</i> kök boyasının sulu özüt kalıntılarının yeniden kullanımı	Tek Yönlü Varyans Analizi, Duncan Yeni Çoklu Aralık Testi	Boyarmadde türü, elyaf türü ve mordan türü	Renk verimi (K/S)
Bamidele ve Haar / 2022	Kenevir kumaşın sorgum ile boyanmasında yıkama haslığının değerlendirilmesi	-	-	Yıkama Renk Haslığı

Tablo 3.1 (devam)

Yazar/Yıl	Konu	Metot	Girdi	Çıktı
Chitichotpanya et al. / 2022	<i>Tagetes erecta</i> atıkları ile kenevir kumaşın renklendirilmesi	Yanıt Yüzet Yöntemi	Sıcaklık (°C), süre (dk), pH	Renk verimi (K/S)
Ltaief et al. / 2022	<i>Limoniastrum monopetalum</i> yapraklarından doğal boyarmadde ekstraksiyon ve pamuklu kumaşın boyama proses optimizasyonu	Yanıt Yüzet Yöntemi	Boyarmadde konsantrasyonu (%), sıcaklık (°C), süre (dk) ve pH; Sıcaklık (°C), süre (dk), pH	Boyarmadde absorbans değeri; Renk verimi (K/S)
Manyim et al. / 2022	Pamuklu kumaşın <i>Euclea divinorum</i> ekstraktı ile boyanması	Yanıt Yüzet Yöntemi	Sıcaklık (°C), süre (dk), pH	Renk verimi (K/S)
Mijas et al. / 2022	Kenevir kumaşın kök boya ve aynısefa ile boyama proses optimizasyonu	Tam Faktöriyel Tasarım	Mordan türü, mordanlama yöntemi ve su sertliği	Renk verimi (K/S)
Özomay ve Akalın / 2022	Cüce mürver ile kenevir kumaşın renklendirilmesi	Gri İlişkisel Analiz (GRA)	Mordan türü, mordan konsantrasyonu	Renk Verimi (K/S)
Rotich et al. /2022	Pancar kabuğu ve posası ekstraktı ile pamuklu kumaşın boyanması	Merkezi Kompozit Tasarım	Ekstraksiyon süresi (dk), katı-sıvı oranı (M:L); pH, boyama sıcaklığı (°C) ve süre (dk)	Betalain içeriği (mg/ 100g), Ekstraksiyon Verimi (%); Renk Verimi (K/S)
Zhou et al. /2022	GECLC kullanılarak pamuklu kumaşların çevre dostu boyanması ve bitim işlemleri	Yanıt Yüzey Yöntemi	Boyarmadde konsantrasyonu (g/L),pH, sıcaklık (°C)	Renk Verimi (K/S)
Bhourri et al. /2023	<i>Corchorus olitorius</i> ekstraktı ile tekstilde yeşil boyama prosesi geliştirilmesi	Yanıt Yüzey Yöntemi	Boyarmadde konsantrasyonu (g/L),pH, sıcaklık (°C)	Renk Verimi (K/S)

Tablo 3.1 (devam)

Yazar/Yıl	Konu	Metot	Girdi	Çıktı
Chitichotpanya et al. / 2023	Anti-UV ve antibakteriyel kenevir kumaşların geliştirilmesinde <i>Diospyros mollis</i> Griff ekstraktı kullanımı Zerdeçal kökü doğal	Yanıt Yüzey Yöntemi	Boyarmadde konsantrasyonu (g/L), mordan konsantrasyonu (%), pH, sıcaklık (°C)	Renk Verimi (K/S)
Dass et al. /2023	boyarmaddesi ile pamuklu kumaşların boyanabilirliği Kök boya ve muhabbet çiçeği ile pamuklu kumaşların boyanabilirliği	Tam Faktöriyel Tasarım	Boyarmadde konsantrasyonu (g/L), sıcaklık (°C), süre (dk)	Renk Verimi (K/S)
Haji ve Vadood / 2023	Kök boya ve muhabbet çiçeği ile pamuklu kumaşların boyanabilirliği	Yapay Sinir Ağı (ANN)	Boyarmadde konsantrasyonu (g/L), mordan konsantrasyonu (%)	Renk Koordinatı (L*, a*, b*, C*, h*)
Ketema ve Worku /2023	Isırgan otu yaprağı boyarmaddesi ile pamuklu kumaşlara antibakteriyel özellik kazandırılması	Merkezi Kompozit Tasarım	Malzeme/sıvı oranı (g/L), ekstraksiyon süresi (dk); Boyama süresi (dk), sıcaklık (°C) ve boyarmadde konsantrasyonu (g/L)	Ekstraksiyon Verimi (%); Renk Verimi (K/S)
Ltaief et al. / 2023	<i>Citrullus colocynthis</i> ekstraktı ile pamuklu kumaşların renklendirilmesi Kadife çiçeği ile pamuklu kumaşın boyanmasında muz kabuğu ile mordanlama sürecinin optimizasyonu	Yanıt Yüzey Yöntemi	Boyama süresi (dk), boyama sıcaklığı (°C), pH	Renk Verimi (K/S), Boya banyosu tükenme oranı (%)
Phromphen / 2023	boyanmasında muz kabuğu ile mordanlama sürecinin optimizasyonu	Tek Faktörlü Deney Tasarımı	Mordanlama sıcaklığı (°C) ve mordanlama süresi (dk)	Renk parametreleri (L*, a*, b*, K/S)

Tablo 3.1 (devam)

Yazar/Yıl	Konu	Metot	Girdi	Çıktı
Sayar / 2023	Antibakteriyel özellikli bitkilerle dokuma kumaşların boyanması	-	-	-
Soybaş / 2023	Kenevir ve karışımlarının farklı teknikler ile tekstil tasarımında kullanımı üzerine deneysel bir çalışma	-	-	-
Siddiqua et al. / 2023	Marwa bitkisinden doğal boyarmadde ekstraksiyonu ve pamuklu kumaş boyama sürecinin optimizasyonu	Yanıt Yüzey Yöntemi	Boyama sıcaklığı (°C), süre (dk) ve tuz konsantrasyonu (g/L)	Renk verimi (K/S)
Abubakar et al. / 2024	<i>Vaccinium corymbosum</i> ekstraktı kullanılarak pamuklu kumaşın boyama sürecinin optimizasyonu	Tek Faktörlü Deneysel Tasarım	Boyarmadde konsantrasyonu (g/cm ³), boyama sıcaklığı (°C) ve boyama süresi (dk)	Renk verimi (K/S)
Aftab et al. / 2024	Pamuklu kumaşların karanfil ekstraktı ile mikrodalga destekli doğal boyanmasında	Yanıt Yüzey Yöntemi ve Yapay Sinir Ağları	Boyarmadde hacmi (ml), süre (dk), sıcaklık (°C), pH ve tuz konsantrasyonu (g/100 mL)	Renk verimi (K/S)
Batool et al. / 2024	YYY ve YSA ile proses optimizasyonu Şeker pancarı yaprakları ile boyanan pamuklu kumaşların boyama koşullarının optimizasyonu	Tek Yönlü Varyans Analizi	Boyama süresi (dk), sıcaklık (°C), tuz konsantrasyonu (g/100 mL) ve boyarmadde miktarı (ml)	Renk verimi (K/S)

Tablo 3.1 (devam)

Yazar/Yıl	Konu	Metot	Girdi	Çıktı
Chouytan et al. / 2024	İndigo ve lak kullanılarak boyanan kenevir ipliklerinin merserizasyon ve kationizasyon işlemleri ile renk verimi ve haslık özelliklerinin iyileştirilmesi Cudrania javanensis	-	-	-
Darmawan et al. / 2024	Boyarmaddesiyle Boyanan Pamuklu Kumaşlarda Ön Mordanlama Koşullarının Optimizasyonu Zeytin ve hünnap doğal	Merkezi Kompozit Tasarım	Mordanlama sıcaklığı (°C) ve mordanlama süresi (dk)	Renk verimi (K/S)
Elsoghlar et al. / 2024	boyarmaddeleri ile pamuklu kumaşların renklendirilmesi		Boyarmadde konsantrasyonu (g/L), pH	Renk Verimi (K/S)
Hussain et al. / 2024	Kırmızı pancar ve nar kabuğu ile pamuk ve ipek kumaşın doğal boyama sürecinin optimizasyonu	Box Behnken	Boyama sıcaklığı (°C), pH ve solvent/katı oranı (ml/g)	Renk verimi (K/S)
Li ve Sun / 2024	Kenevir liflerinin ultrasonik doğal boyanmasında gardenya pigmentinin kullanımı	Yanıt Yüzey Yöntemi	Ultrasonik frekans (%), boyama sıcaklığı (°C), mordan konsantrasyonu (g/L)	Boyarmadde alım yüzdesi (%)
Mulyaningtyas et al. /2024	Manyok yapraklar ile pamuklu kumaşın boyama prosesinin optimizasyonu	-	-	-

Tablo 3.1 (devam)

Yazar/Yıl	Konu	Metot	Girdi	Çıktı
Nguyen et al. / 2024	Diospyros mollis Grif ekstraktı ile boyanmış pamuklu kumaşların boyama ve antibakteriyel davranışlarını etkileyen faktörler	Yanıt Yüzey Yöntemi	Boyama süresi (dk), sıcaklık (°C), boyarmadde konantrasyonu (v/v)	Antibakteriyel etki (% bakteri öldürme oranı)
Pars / 2024	Kenevir kumaşının anadolu karaçam ve sarıçam ile boyanabilirliğinin araştırılması	-	Boyarmadde konantrasyonu (%)	Renk verimi (K/S)
Srisuk et al. / 2024	Kenevir kumaşın doğal boyamasında kızılötesi, ultrasonik ve mikrodalga destekli mordanlama yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi	-	-	-
Tegegne et al. / 2024	<i>Justica schimperiana</i> yaprağı ile pamuklu kumaşın doğal boyanması, kumaşlara antibakteriyel özellik kazandırılması	Box-Behnken	Boyarmadde konantrasyonu (%), boyama süresi (dk) ve boyama sıcaklığı (°C)	Renk Verimi (K/S)
Vithushika et al. / 2024	Farklı bitki ve mordan kaynakları boyanmış pamuklu kumaşlarda renk ve yıkama dayanımının incelenmesi	İki Faktörlü Deney Tasarımı	Mordan türü, boyarmadde türü	Renk açıklık-koyuluk değeri (L*)

Tablo 3.1 (devam)

Yazar/Yıl	Konu	Metot	Girdi	Çıktı
Wik ve Ellertsson /2024	Denimde pamuk/kenevir ipliğın kullanımı: Farklı ön işlemlerin iplik ve indigo boyama üzerindeki etkilerinin incelenmesi	-	-	-
Xu et al. / 2024	<i>Caesalpinia sappan</i> L. ve <i>Galla chinensis</i> kullanılarak pamuklu kumaşların boyanması ve ardışık çiftli boyama yönteminin değerlendirilmesi	Tek Faktörlü Deneş Tasarımı	Boyama süresi (dk), sıcaklık (°C), pH, mordan türü, mordan konsantrasyonu (g/L)	Renk parametreleri (L*, a*, b*, C*, h°, ΔE, K/S)
Zhang et al. / 2024	<i>Portulaca oleracea</i> L. ekstraktının pamuklu kumaşın ekolojik boyanmasında kullanımı ve lakkaz kataliziyle etkinliğinin artırılması	Tek Faktörlü ve Ortogonal Deneş Tasarımı	Boyama süresi (dk), sıcaklık (°C), pH, enzim konsantrasyonu (u/mL)	Renk verimi (K/S)
Olvera-Quintanar et al. / 2025	Koşinil ile pamuklu kumaşların boyanmasında farklı mordanların etkisi ve proses optimizasyonu	Plackett–Burman ve Yanıt Yüzey Yöntemi	Boyarmadde konsantrasyonu (%), yardımcı mordan konsantrasyonu (%), boyama süresi (dk)	Renk verimi (K/S)
Xu et al. / 2025	Oolong çay sapı atıklarının pamuklu kumaşın boyanmasında kullanımı ve optimizasyon	Box Behnken	Sıcaklık (°C), süre (dk), pH	Renk verimi (K/S)

Doğal boyama süreci ile ilgili yapılan literatür taraması sonucunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, doğal boyarmaddelerle gerçekleştirilen boyama süreçlerinde optimizasyon çalışmalarının ağırlıklı olarak renk verimi üzerine yoğunlaştığı, fonksiyonel özelliklere ise sınırlı şekilde yer verildiği görülmüştür. Özellikle doğal boyama uygulamaları ile negatif iyon salınımı elde edilmesine ilişkin herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, mordan türü ve uygulama yöntemlerine dair çalışmaların çoğu sınırlı parametrelerle yürütülmüştür.

3.2 Negatif İyon Salınımı Literatür Taraması

Wang ve Li (2010), negatif iyon salınımı yapan tekstillerin sağlıkla ilgili işlevlerini, üretilme ve değerlendirilme alanlarını derlemiştir. Negatif iyonların çalışma mekanizması, aktivite prensiplerini incelemiş, negatif iyon üreten malzemeleri (doğal uranyum, toryum içeren maddeler, deniz yosunu karbonu, mercan fosili, mineraller vb.) araştırmıştır. Bunun yanı sıra, anyon liflerinin üretilme yöntemlerine (yüzey kaplama ve modifikasyon, eğirme, kopolimerizasyon ve terbiye teknikleri) değinmiştir. Ayrıca negatif iyon salınımı test metodlarını (el ovma ve FCL) incelemiştir.

Zhang et al. (2011), çalışmalarında farklı karışım oranlarında modifiye polyester negatif oksijen iyonları lifi ve viskon lifinden oluşan karışım iplikler kullanılarak farklı konstrüksiyonlarda iki seri kumaş geliştirmiştir. Kumaşlardan salınan negatif oksijen iyonu miktarının ölçülmesinin yanı sıra bu kumaşların giyilebilirliği araştırılmıştır. Konstrüksiyondaki negatif oksijen iyonu salınımı yapan lif miktarı arttıkça, salınan negatif iyon konsantrasyonunun da arttığı tespit edilmiştir. Negatif oksijen iyonlu tekstillerin giyildiğinde veya yatak örtüsü olarak kullanıldığında vücut ısısı enerjisi ve cilt ile kumaş arasındaki sürtünme ile negatif iyon salınımının artacağını, cilt ile giysiler arasında negatif iyon hava tabakası oluşturarak serbest radikallerin neden olduğu çeşitli zararların ortadan kaldırılabileceği ortaya koyulmuştur.

Yen et al. (2012), yaptıkları çalışmada polietilen tereftalat dokusuz yüzeyi bambu aktif kömürü akrilik reçine ile farklı oranlarda karıştırarak kaplamıştır. Elde edilen dokusuz yüzeylerin fiziksel, konfor ve fonksiyonel özellikleri analiz edilmiştir. Bu kapsamda eğilme rijitliği, yüzey aşınma direnci, yırtılma ve çekme mukavemeti, ısı tutma kapasitesi, negatif iyon salınımı ve koku giderme özellikleri test edilmiştir. Ayrıca yüzey morfolojisi (SEM) ve ısıl kararlılık (TGA) da incelenmiştir. Bambu aktif kömürünün negatif iyon salınımı, ısıl

konfor ve koku giderme fonksiyonel özelliklerini belirgin bir şekilde artırdığı ortaya koyulmuştur.

Sun et al. (2013), kumaşların negatif iyon salınımını değerlendirmek için sürtünme esaslı bir test cihazı geliştirmiştir. Testlerde farklı zaman dilimlerinde negatif iyon oluşum miktarı ölçülmüş, sıcaklık ve nemin etkisi analiz edilmiştir. Ayrıca sürtünme hızı, uygulanan basınç gibi test parametrelerinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Iordache et al. (2020), yarı değerli taş parçacıkları (turmalin, monazit, opal), seramik, kömür, zirkonyum tozları ve bu minerallerin karışımını içeren negatif iyon yayma özelliğine sahip sentetik liflerin geliştirilmesinde kullanılan üretim yaklaşımlarını, bu minerallerin kullanım oranlarının lif yapısına etkilerini, polimerdeki homojen dağılım sorunlarını ve bu liflerin negatif iyon salım performanslarını incelemiştir.

Mira et al. (2020), polyester kumaşı farklı parçacık boyutlarına sahip turmalin türleri ile işlemiştir. Turmalin banyosu 20 ve 50 g/L derişimlerinde hazırlanmıştır. Kumaşlara aplikasyonu emdirme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, elde edilen numunelerin akrilik reçinesi ile bağlanan alternatifleri de çalışılmıştır. 20 g/L derişimde yapılan uygulamalarda parçacık boyutunun negatif iyon salınımını anlamlı düzeyde etkilemediği belirlenmiştir. Ancak 50 g/L'de 30 µm parçacık boyutu ile yapılan uygulamanın 3 µm parçacık boyutuyla yapılan uygulamaya göre negatif iyon salınımını iki kattan fazla arttırdığı görülmüştür. Reçine uygulamasının her iki durumda da negatif iyon salınımını azalttığı tespit edilmiştir.

Marti et al. (2021), yaptıkları çalışmada polyester kumaşların düşük nem tutma ve konfor sorununu ortadan kaldırmak için gliserol ile bitim işlemi uygulamıştır. Farklı gliserol derişimi, banyo oranı, sıcaklık ve işlem sürelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Ek olarak NaOH ile yüzey aktivasyonu ve mikrodalga enerjisi desteği ile gliserolün kumaşa daha iyi bağlanması sağlanmıştır. Nem alma kapasitesi artırılan polyester kumaşın negatif iyon salınımı da artış göstermiştir.

Carette et al. (2022), pamuklu kumaşlara negatif iyon salınımı özelliği kazandırmak için montmorillonit parçacıklarını emdirme yöntemi ile kumaşa applike etmiştir. Bağlayıcı olarak poliüretan ve akrilik kullanmıştır. Aynı miktarda montmorillonit uygulamasında poliüretan

bağlayıcı kullanılan numunelerin akrilik bağlayıcı kullanılan numunelere göre daha fazla negatif iyon salınımı gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

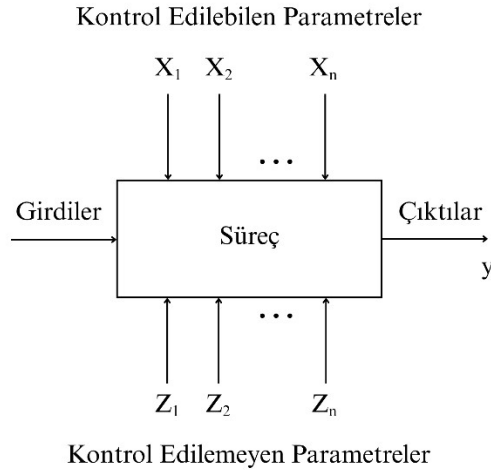
Negatif iyon salınımına ilişkin literatür incelendiğinde, bu fonksiyonel özelliğin tekstil alanında araştırma konusu olduğu fakat doğal boyama ile ilişkilendirilerek ele alınmadığı görülmüştür. Bu boşluklardan hareketle, hem çevre dostu boyama yöntemlerinin geliştirilmesi hem de kumaşlara fonksiyonel özellikler kazandırılması amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma, doğal boyama sürecini yalnızca renk verimi açısından değil, aynı zamanda negatif iyon salınımı gibi yenilikçi ve işlevsel bir özellik bağlamında da ele alarak literatüre özgün katkı sunmayı hedeflemektedir.

4. DENEY TASARIMI

4.1 Deney Tasarımının Temel Kavramları ve Tarihçesi

Bir ürün veya hizmet (çıkıtı) ortaya koymak amacıyla, insan, makine, malzeme, yöntem vb. faktörlerin (girdi) sistematik olarak bir araya gelmesi, süreç olarak tanımlanmaktadır (Hasgül, 2011). Üretilen ürün veya hizmet kalitesinde, sürekli iyileşme sağlanabilmesi için süreçte yer alan girdilerin, çıktılar üzerindeki etkilerinin analiz edilerek yorumlanması kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, az sayıda deney ile birden fazla faktörün süreç üzerindeki etkisini araştırmada deney tasarımı yöntemlerinin kullanımı zaman ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır.

Deney tasarımı (DOE), süreci etkileyen faktörlerde sistematik olarak yapılan değişikliklerin, çıktı üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi ile sürecin iyileştirilmesini hedefleyen bir yöntemdir (Demir, 2004). Şekil 4.1’de bir sürecin veya sistemin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 4.1: Bir sürecin veya sistemin genel modeli

Sistem veya süreçlerde kontrol edilebilen (malzeme çeşidi, üretim yöntemi, makine ayarları vb.) ve kontrol edilemeyen (ortam koşulları, hammadde yapısı vb.) olmak üzere iki çeşit değişken türü mevcuttur. Deney tasarımıdaki amaç sürecin performansını etkileyen kontrol edilebilen faktörlerin hangi seviyede olması gerektiğini belirleyerek, kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini en aza indirmektir (Gencel, 2007).

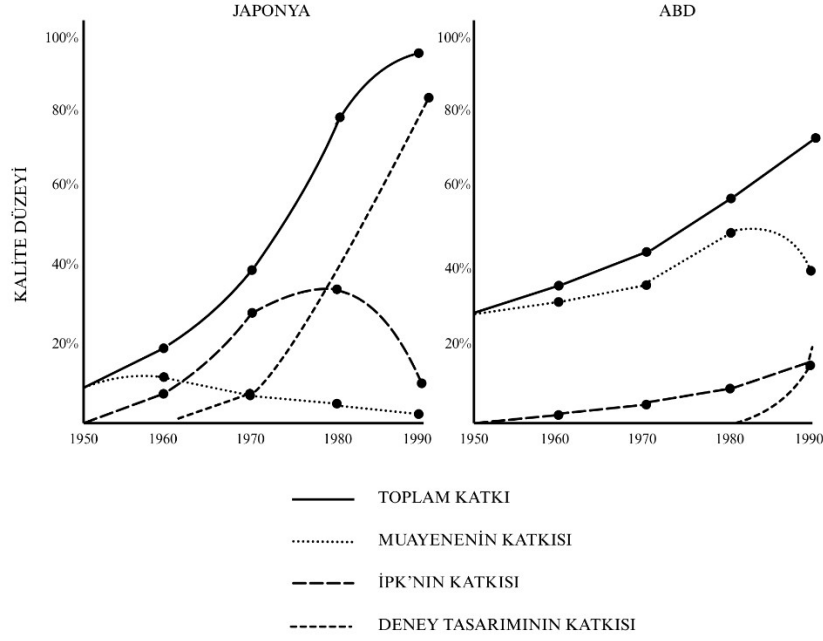
Deney tasarımı temelleri, 1843 ile 1846 yılları arasında Rothamsted Tarım Alanı Araştırma Merkezi'nde başlatılan tarımsal saha denemelerinde atılmıştır. 1920'li yıllarda

Rothamsted'de istatistik ve veri analizinden sorumlu İngiliz istatistikçi A. Ronald Fisher tarafından tarım ürünlerinin üretim verimini artırmak amacıyla istatistiğe dayalı deney tasarımı yöntemleri geliştirilmiştir.

Fisher, çalışmasında farklı gübrelerin üretim verimine etkisini araştırmış ve gübre çeşidinin yanı sıra toprak nemi ve bakteri çeşidinde verimi etkileyen faktörler olduğunu tespit etmiştir. Deneylerinde ürünü yetiştireceği toprağı bloklara ayırarak her bir ürün çeşidini rastsal olarak farklı bloklarda yetiştirmiştir. Bu sayede deneylerdeki tasarım hatalarının analiz süreçlerini zorlaştırdığını fark ederek rastgeleleştirme, tekrarlama ve bloklama olmak üzere deney tasarımının temel ilkelerini ortaya koymuştur. Böylelikle deneysel araştırmaların temelini atılmasına olanak sağlamıştır. Fisher, deneysel araştırmalara istatistiksel bakış açısını da entegre ederek faktöriyel tasarım ve varyans analizi (ANOVA) gibi kavramların gelişimine katkıda bulunmuştur (Montgomery, 2017).

Yöntem, Amerika tarafından tarım sektöründe kullanılan çeşitli gübre türlerinin, kullanım miktarlarının, sulama düzeyi ve iklim koşullarının üretim verimi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla sıkça kullanılmıştır. Bu sayede Amerika tarımsal üretimde dünyada lideri konumuna gelmiştir. Deney tasarımı, kimya ve ilaç sanayiinde sıklıkla uygulanmış olsa da 1950'li yıllara kadar diğer sektörlerde kabul görmemiştir. Japonya'da toplam kalite yönetimi ile ilgili W. Edwards Deming'in gerçekleştirdiği çalışma ve konferansların ardından kısmi faktöriyel tasarımın kaliteli ve düşük maliyetli çalışmalarda başarıları anlaşılır hale gelmiştir. Böylelikle deney tasarımı yöntemlerinin üretim sektöründe kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Şanyılmaz, 2006).

1950 ve 1990 yılları arasında Motorola firmasının kalite grubunda görev alan K.Bhote tarafından yazılan "World Class Quality" adlı kitapta kalite kontrol (muayene), istatistiksel proses kontrol (İPK) ve deney tasarımı yöntemlerinin kalite gelişimine olan katkısı ortaya koyulmuştur. Deney tasarımının, kalite gelişimine katkısının Japonya'da 1970'ler, Amerikada ise 1980'lerden sonra önemli ölçüde arttığı Şekil 4.2'de görülmektedir.



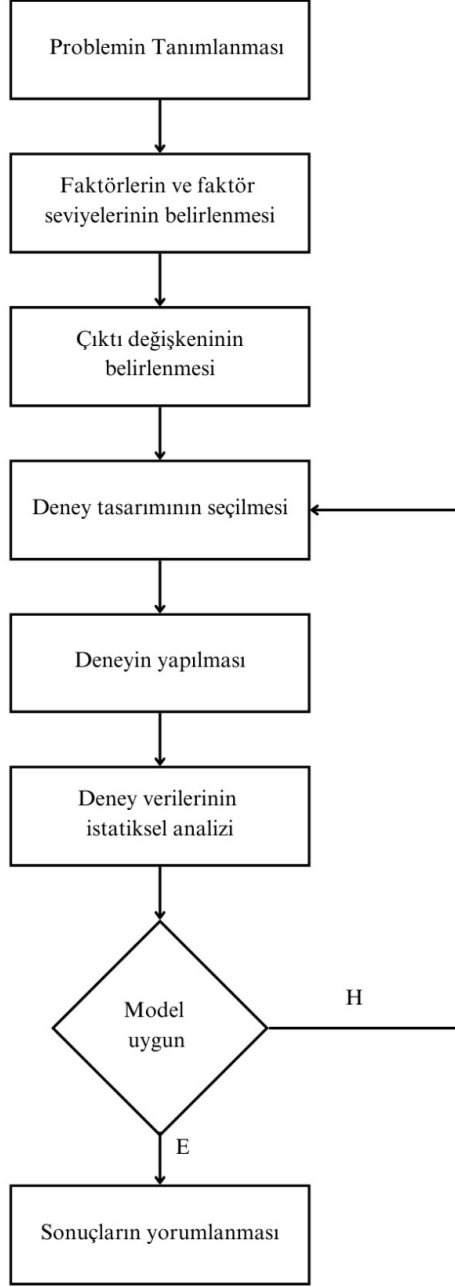
Şekil 4.2: Japonya ve Amerika'da deney tasarımının gelişimi

Deney tasarımında hata, kontrol edilemeyen faktörlerin (gürültü faktörleri) çıktı üzerinde meydana getirdiği belirsizlik ve sapmalar olarak tanımlanabilir. Oluşabilecek bu hataların azaltılması amacıyla rassallık, tekrarlama ve bloklama olmak üzere üç temel ilke mevcuttur (Montgomery, 2017).

Tekrarlama, belirlenen koşullardaki deneyin birden fazla kez uygulanmasıdır. Deney hatasının tahmin edilmesi ve bu hataların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının tespitinde önemlidir. Tekrarlama ile gürültü faktörlerinin hata üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Tekrar sayısı arttıkça örnek ortalamasının varyansı azalacağı için elde edilen sonuçların doğruluğu artmaktadır (Demir, 2004). Bir diğer ilke olan rassallık, deney koşullarının ve uygulama sıralamasının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bir düzene göre belirlenen deney koşullarının zamanla kontrol edilemeyen değişkenlerden etkilenerek hata meydana getirmesi ve sıralı olarak yapılan deneylerde sistematik hataların görülmesi olasıdır. Rassallık ilkesiyle deneyler bir düzene bağlı olmaksızın tarafsız olarak değerlendirilebilmektedir (Antony, 2003). Yapılan deneylerin hassasiyetini artırmak için deneylerin homojen olarak sınıflandırılması bloklama olarak adlandırılmaktadır. Her bir blokta yapılan deneyler kendi içlerinde değerlendirilerek sürecin dışındaki faktörlerin etkisi azaltılmaktadır. Örneğin çalışma birden fazla operatör tarafından gerçekleştirilecek ise, her

bir operatörün yapmış olduğu deneyler ayrı birer blok olarak değerlendirilmektedir. Bu sayede operatörler arası farklılıklardan kaynaklı oluşabilecek hatalar en aza indirilebilmektedir (Demir, 2004).

Deney tasarımı; planlama, tasarım, uygulama ve analiz olmak üzere dört temel aşamadan meydana gelmektedir. Planlama aşamasında öncelikli olarak problem tanımlanarak deneyin yapılmasına neden ihtiyaç duyulduğu net bir şekilde ortaya koyulur. Ardından probleme etki eden faktörler ve faktör seviyeleri belirlenir. Faktörler, beyin fırtınası, kök neden analizi, balık kılçığı ve geçmiş verilerin analizi gibi yöntemler kullanılarak seçilebilir. Çıktı üzerinde anlamlı bir fark oluşturmeyen faktörlerin tasarıma dahil edilmesi veya önemli etkisi olan bir faktörün tasarımdan çıkarılması sonuçların güvenirliliğini azaltabilir. Seçilen faktörler için karar verilen seviyeler sürecin veya ürünün uygulama sınırları içinde ve değişen seviyelerin etkilerinin ölçülebileceği aralıkta olmalıdır. Bu nedenle seçilen faktörler ve bu faktörlerin hangi değer aralıklarında test edileceği önemlidir. Seviye belirleme aşamasında tecrübeli bir ekiple çalışılması deneylerin başarısını olumlu yönde etkileyecektir. Devamında incelenecek olan çıktı değişkeni belirlenmelidir. Çıktı değişkeninin ölçülebilir, yorumlanabilir ve hedef ile uyumlu olduğundan emin olunmalıdır. Doğru tanımlanmış girdi ve çıktı değişkenleri deneyin amacına ulaşmasında kritik rol oynamaktadır. Bir diğer kritik unsur ise deneyin amacına uygun deney tasarımı yönteminin seçimidir. Tasarım yöntemi seçilirken tekrar sayısı, deneylerin uygulama sırası ve bloklama yapılıp yapılmayacağı dikkat edilmesi gereken noktalardır. Uygulama esnasında yapılan hatalar modelin başarısız olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle uygulama aşamasına geçildiğinde deneylerin plana uygun ilerleyip ilerlemediği kontrol altında tutulmalıdır. Bir sonraki aşama ise uygulanan deneylerden toplanan verilerin değerlendirilerek yorumlanmasıdır. Uygulanan deneylerden toplanan verilerin objektif olarak değerlendirilebilmesi için istatistikten faydalanılmaktadır. Bu noktada en sık kullanılan tekniklerden bir tanesi varyans analizidir. Analiz sonucunda seçilen girdi değişkenlerinin çıktı üzerinde anlamlı bir fark oluşturup oluşturmadığı tespit edilmektedir. Bu aşamada verilerin analizinde SPSS, MINITAB vb. istatistiksel paket programlardan faydalanılabilmektedir. Son olarak, sonuçların doğruluğunu ispatlamak amacıyla uygunluk testleri gerçekleştirilir ve analiz sonuçları değerlendirilerek yorumlanır (Demir, 2004; Ertabak, 2022). Bu aşamaların uygulama sırası Şekil 4.3'te sistematik olarak sunulmuştur.



Şekil 4.3: Deney tasarımının uygulama aşamaları

4.2 Deney Tasarımı Yöntemleri

Üretim ve kalite standartlarını geliştirmede, minimum maliyet ile verimli süreç tasarımlarının gerçekleştirilmesi amacıyla klasik kontrol yaklaşımlarının yerini istatistiksel proses kontrol ve deney tasarımı yöntemleri almıştır. Faktöriyel tasarım, Taguchi metodu ve Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) literatürde yaygın kullanılan deney tasarımı yöntemleridir (Bağçeci, 2023).

4.2.1 Faktöriyel tasarım yöntemi

Faktöriyel tasarım, farklı seviyelere sahip birden fazla faktörün yanıt üzerindeki birincil ve etkileşimli etkilerinin değerlendirildiği deney tasarımı yöntemidir. Tasarımda kullanılacak faktörler, kesikli (nitel) veya sürekli (nicel) değişkenler olabilir. Tüm faktörlerin birincil etkilerinin ve birbiriyle etkileşimlerinin hesaplanabilir olması, hangi faktörlerin daha önemli olduğunu ortaya koymada avantaj sağlamaktadır. Faktör seviyelerinin olası tüm kombinasyonlarını içeren faktöriyel tasarımda her bir faktörün seviye sayılarının çarpımı kadar deney mevcuttur (Balaban, 2019; Gencel, 2007). Gerçekleştirilen deney sonuçlarının objektif olarak değerlendirilebilmesi için deneylerin rassal olarak tasarlanması önemlidir. Rassal olarak tasarlanan deneylerde faktörlerin etkileri de çıktıya rassal olarak etki edeceği için oluşabilecek hata minimize edilecektir. Fakat rassal olarak deney tasarlanırken araştırmacının finansal uygunluğunu göz önünde bulundurarak tasarım gerçekleştirmesi uygulama aşamasında yaşanabilecek olumsuzlukların önüne geçecektir (Özden, 2020).

Düşük ve yüksek olmak üzere iki seviyeye sahip n adet faktör ile tasarlanan bir deneyde, 2^n adet deney kombinasyonu elde edilmektedir. Çok sayıda faktör ile çalışılan deneylerde zaman ve maliyet dikkat edilmesi gereken kritik unsurlardır. Bu gibi durumlarda Yates analizi ile değişken kombinasyonlarının belirlenmesi fayda sağlamaktadır. Yates analizi faktörlerin temel ve birbirleriyle etkileşimlerinin bulunmasına olanak sağlayan bir yöntemdir. Analizde, faktörlerin düşük ve yüksek seviyeleri sırasıyla – ve + olarak belirtilmektedir. Yates sıralamasında “1” tüm değişkenlerin düşük seviyede olduğu başlangıç noktasıdır. “a”, “b” ve “c” her bir faktörün temel etkisini ifade eder ve sadece ilgili faktörün yüksek seviyede olduğu koşulları tanımlar. “ab”, “bc”, “ac” ve “abc” ise faktörlerin iç etkileşimlerini gösterir ve sembolde yer alan faktörlerin yüksek, diğerlerinin düşük seviyede olduğu koşullara karşılık gelir (Bulut ve Özer, 1991; Öztürk, 2017).

Tablo 4.1’de örnek olarak her biri iki seviyeye sahip üç faktör için yapılan tam faktöriyel tasarıma ait Yates analizi sunulmuştur.

Tablo 4.1: 3 faktörlü ve 2 seviyeli tam faktöriyel tasarım

Deneme	Faktörler			Yates Sıralaması
	A	B	C	
1	-	-	-	1
2	+	-	-	a
3	-	+	-	b
4	+	+	-	ab
5	-	-	+	c
6	+	-	+	ac
7	-	+	+	bc
8	+	+	+	abc

Tablo 4.2’de ise oluşturulan kombinasyonların toplam etkileri verilmiştir.

Tablo 4.2: Kombinasyonların toplam etkileri

Yates Sıralaması	Denklem
1	$1+a+b+ab+c+ac+bc+abc$
a	$a+ab+ac+abc-(b+c+bc+1)$
b	$b+ab+bc+abc-(a+c+ac+1)$
ab	$ab+1+abc+c-(a+b+ac+bc)$
c	$c+ac+bc+abc-(1+a+b+ab)$
ac	$ac+abc+b+1-(a+c+ab+bc)$
bc	$bc+abc+a+1-(b+c+ab+ac)$
abc	$a+b+c+abc-(ab+ac+bc+1)$

Faktörlerin ve etkileşimlerinin yanıt üzerindeki etkilerini ifade eden matematiksel model Eşitlik 4.1’de verilmiştir.

$$y = k_1 + k_2X_1 + k_3X_2 + k_4X_1X_2 + k_5X_3 + k_6X_1X_3 + k_7X_2X_3 + k_8X_1X_2X_3 \quad (4.1)$$

Denklemdaki katsayılar ($k_1, k_2, k_3, \dots, k_8$), Tablo 4.2’de deney kombinasyonlarına karşılık gelen toplam etkinin ortalaması olarak ifade edilmektedir. Başka bir deyişle; k_1 , “1” durumu için hesaplanan toplam etkinin ortalama değeridir. Eşitlik 4.2’de verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$k_1 = \frac{(1+a+b+ab+c+ac+bc+abc)}{2 \cdot 2^n} \quad (4.2)$$

Denkleimde bulunan X_1 , X_2 ve X_3 değişkenlerin kodlanmış değerlerini ifade etmektedir. Değişkene ait standart değer kullanılarak hesaplanmaktadır ve -1 ile +1 arasında değer almaktadır. Değişkenlerin standart değerinin hesaplandığı formül Eşitlik 4.3'te, kodlanmış değerlerinin hesaplandığı formül ise Eşitlik 4.4'te verilmiştir.

$$\text{Standart Değer} = \frac{\text{Düşük Değer} + \text{Yüksek Değer}}{2} \quad (4.3)$$

$$x = \frac{\text{Faktörün Sınanma Değeri} - \text{Standart Değer}}{\text{Düşük (Yüksek) Değer ile Standart Değerin Farkı}} \quad (4.4)$$

Yapılan tasarımlarda deneysel hatanın hesaplanabilmesi için aynı kombinasyonun en az iki kez tekrarlanması veya kombinasyon sonucundan birden fazla ölçüm alınması gerekmektedir. Faktör sayısının 4'ten fazla olduğu durumlarda ise her bir değişken için düşük ve yüksek seviyelerin ortasındaki (merkez nokta) kombinasyonun tekrarlı denemesi gerçekleştirilmelidir (Bulut ve Özer, 1991).

Faktöriyel deney tasarımının en önemli avantajı tüm faktör düzeylerinin ve birbiriyle etkileşimlerinin analiz edilebilmesidir. Fakat 2'den fazla seviyenin olduğu durumlarda, faktör sayısına da bağlı olarak deney sayısı ciddi oranda artış göstermektedir. Örneğin her biri 3 seviyeye sahip 4 faktörlü bir deney tasarımında $3^4=81$ adet deney yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla, faktör sayısı arttıkça zaman ve kaynak açısından uygulama zorlaşmaktadır. Bu gibi durumlarda kısmi faktöriyel tasarım uygulanmaktadır (Özden, 2020; Karakoç, 2006).

Kısmi faktöriyel tasarım, tam faktöriyel deney tasarımına göre daha az sayıda deney sayısına sahiptir. Deney sayısı, çıktı üzerinde en az etkiye sahip olabileceği düşünülen yüksek dereceli etkileşimlerin tasarımdan çıkarılması yoluyla azaltılmaktadır Şanyılmaz, 2006). Yüksek dereceli etkileşimlerin göz ardı edilebildiği, ön deneme çalışmalarıyla girdilerin belirlenebildiği, 5 veya 5'ten fazla faktör içeren durumlarda kullanılması deney sayısı açısından avantaj sağlamaktadır. Deney sayısı, 2^{k-p} formülü kullanılarak belirlenmektedir. Formülde k, faktör sayısını; p ise yapılacak olan kısmi faktöriyel tasarımda deney sayısını azaltmak için kullanılacak kesrin ($1/2$, $1/4$, $1/8$ vb.) büyüklüğünü ifade etmektedir. Örneğin; $1/4$ kesirli faktöriyel tasarımda p değeri belirlenirken, kesirli ifade $1/2^2$ şeklinde yazılır. Bu ifadede paydadaki üstel değer olan 2, p değeri olarak alınır. Eğer tasarım $1/8$ kesirli tasarım

ise, bu değer 3'e eşit olmaktadır. Sonuç olarak, her biri 2 seviyeye sahip 4 faktörlü bir deneyde, 1/2 kesirli tasarım gerçekleştirilecek ise deney sayısı $2^{4-1} = 8$ olacaktır. Tablo 4.3'te bahsi geçen deney seti sunulmuştur (Özden, 2020).

Tablo 4.3: 2 seviyeli, 4 faktörlü, 1/2 kesirli kısmi faktöriyel tasarım

Deney	A	B	AB	C	AC	BC	D= ABC
1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	1	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	-1	1	1	-1	-1
7	-1	1	-1	1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

Oluşturulan deney tasarımında üçlü etkileşim ihmal edilmiş, bu etkileşim yerine 4. faktör olan D faktörü yazılmıştır. Bu sayede deney sayısı artırılmadan 4. faktör deneye eklenmiştir. Yöntemin en büyük dezavantajı göz ardı edilen etkileşimlerin tam olarak anlaşılamamasıdır. Bu hususta dikkat edilmesi gereken nokta ABC etkileşiminin mi yoksa D faktörünün mü çıktı üzerinde daha etkili olduğudur. MINITAB gibi paket programlar kullanılarak bu etki kolaylıkla analiz edilebilmektedir (Özden, 2020).

4.2.2 Taguchi yöntemi

1950'li yıllarda W. Edwards Deming'in toplam kalite yönetimi ile ilgili Japonya'da gerçekleştirdiği çalışma ve konferansların ardından istatistiksel kalite kontrolün kullanımı yaygınlaşmıştır (şanyılmaz, 2006).

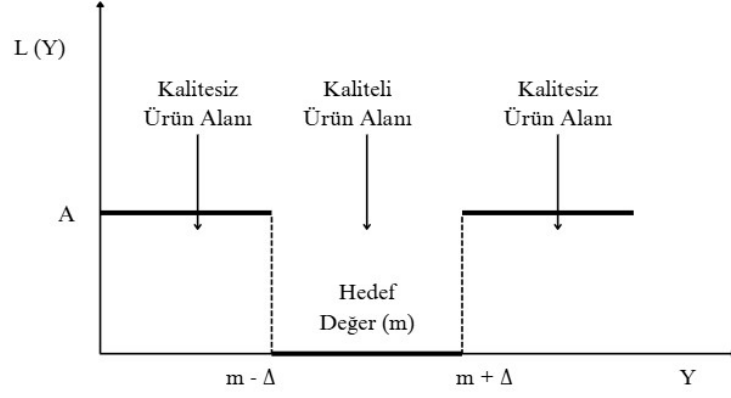
İkinci dünya savaşı sonrası, Japonya'nın en önemli projelerinden olan ulusal telefon sistemi projesi için Nippon Telgraf ve Telefon (NTT) Araştırma Birimi, proje süresini 20 yıl olarak öngörmüştür. Ancak burada görev yapan Japon mühendis Dr. Genichi Taguchi, projede metotların standardize edilmesi ve faktöriyel deney tasarımlarının uygulanmasını önermiştir. Bu sayede proje 4 yılda tamamlanmış ve Taguchi adını duyurmayı başarmıştır. Felsefesini W. Edwards Deming'in yaptığı çalışmalar doğrultusunda kurgulayan Taguchi, kalite geliştirmeye katkılarından dolayı 4 defa Deming ödülüne layık görölmüştür (şahin, 2019; Özden, 2020).

Taguchi felsefesini geleneksel kalite anlayışından ayırıştıran en önemli nokta tasarım aşamasında problemlerin ortadan kaldırılmasına odaklanılmasıdır. Taguchi'nin kalite felsefesi yedi temel unsur etrafında şekillenmektedir. Bahsi geçen unsurlar aşağıda listelenmiştir (Kapçak, 2022; Bağçeci, 2023).

1. Ürünün kalitesi toplumda meydana getirdiği kayıp ile ilişkilidir.
2. Şirketler, yaşamını sürdürebilmek için sürekli iyileştirme faaliyetlerini yerine getirmelidir.
3. Üretilen ürünler hedeflenen limit sınırların içinde kalmalı ve bu değerden sapma en aza indirilmelidir.
4. Ürün özelliklerinde meydana gelen değışikliklerden kaynaklı sapmalar, müşteri kaybını meydana getirir ve bu kayıp sapmanın karesiyle orantılıdır.
5. Ürünün kalitesi tasarım sırasında belirlenmelidir.
6. Kaliteli bir ürün ortaya koyabilmek için üretime/ürüne etki eden parametreler bilinmeli ve kontrol altında tutulmalıdır.
7. Belirlenen deney faktörlerinin, süreç üzerindeki etkileri ve birbirleri ile etkileşimleri deney tasarımı metotlarında bulunabilir olmalıdır.

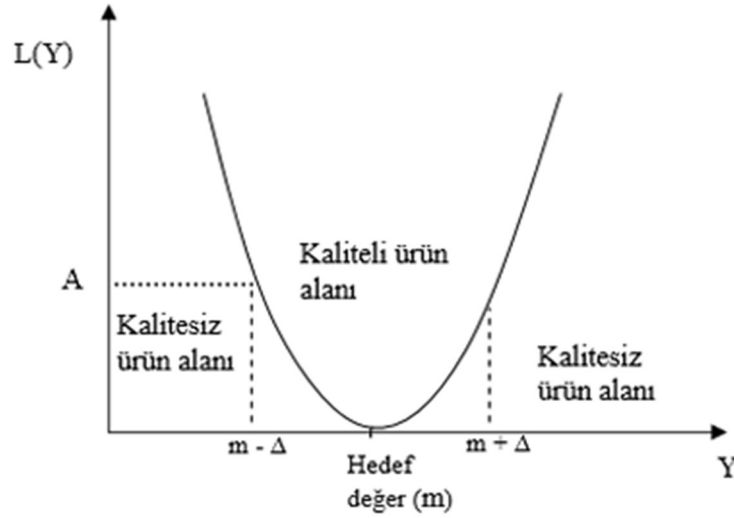
Taguchi, kalite kavramını, ürünün müşteriye ulaştıktan sonra toplumda meydana getirdiği kayıp ile ilişkilendirmiştir. Kalitenin yalnızca üretim süreci ve üründe oluşan hata ile sınırlı olmadığını savunmaktadır. Tasarım aşamasında gerçekleştirilen iyileştirmelerin, üretim sonrası gerçekleştirilecek kalite kontrol adımlarını ve hata oranlarını azaltabileceğini öngörmektedir (Şanyılmaz, 2006).

Taguchi, ürünün reddedilmesindeki en önemli nedenin ürün spesifikasyonlarında meydana gelen sapma olduğunu, bu nedenle ürünün hedef değerlerde üretilmesi gerektiğini belirtmektedir (Hamzaçebi, Kutay, 2003). Şekil 4.4'te görülen geleneksel kayıp fonksiyonunda Y ile gösterilen değer, bir performans karakteristiğinin ölçülen değerini ifade etmektedir ve hedef değer (m)'den sapması istenmemektedir. Alt ve üst limitler arasında üretilen ürünler doğru kabul edilmekte, tüketici tarafında herhangi bir parasal kayıp meydana getirmemektedir. Fakat alt ve üst limitlere yakın üretilen her ürünün tolerans dışına çıkma ihtimali vardır (Özden, 2020).



Şekil 4.4: Geleneksel kayıp fonksiyonu

Taguchi, ürün limitler içinde kalsa bile hedef değerde değilse tüketici tarafında bir kaybin oluşacağını, kaybin yalnızca hedef değerde sıfır olacağını öne sürmektedir. Hedeften uzaklaştıkça kaybin üstel olarak arttığını savunmaktadır (Özden, 2020). Şekil 4.5'te Taguchi kayıp fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 4.5: Taguchi kayıp fonksiyonu

Az sayıda deney ile minimum maliyet ve zamanda gerçekleştirilebilecek deney tasarımlarına odaklanan Taguchi, ortogonal dizilerden faydalanmıştır (Yalçındağ, 2021). Ortogonal dizilerin kullanımı çok sayıda faktörün etkilerinin aynı anda analiz edilebilmesine olanak sağlamaktadır (Bağçeci, 2023). Deney tasarlanırken uygun ortogonal dizi seçiminde serbestlik derecesi dikkate alınmaktadır. Bir faktörün serbestlik derecesi, seviye sayısının bir eksiğidir. Deneye dahil edilen faktörlerin serbestlik dereceleri toplamına 1 eklenerek toplam yapılacak deney sayısı bulunmaktadır (Kök, 2024). Tablo 4.4'te her biri 3 seviyeli 4

faktör için tasarlanan L9 ortogonal dizi planına yer verilmiştir. Burada L harfi ortogonal diziyi, rakam ise deney sayısını ifade etmektedir. Eğer deney tasarımında ortogonal dizilerden faydalanılsaydı 3^4 , 81 adet deney gerçekleştirilmesi gerekecekti.

Tablo 4.4: L9 Ortogonal dizi planı

Deney	Faktörler			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Taguchi, meydana gelen sapmaları oluşturan faktörleri kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenler (gürültü faktörleri) olarak iki başlıkta gruplandırmıştır. Üretim süreci veya ürün üzerindeki etkisi değiştirilebilen değişkenler kontrol edilebilen değişkenler olarak adlandırılmaktadır. Kullanılan malzeme, üretim yöntemleri, makine vb. bu değişkenlere örnek verilebilir. Üretim süreci veya ürün üzerindeki etkilerinin değiştirilmesi zor, pahalı veya imkânsız olan, ortam sıcaklığı, nem vb. değişkenler kontrol edilemeyen değişkenlerdir. Taguchi yöntemindeki amaç, kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisini en aza indirmektir. Dolayısıyla, kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin tespit edilerek seçilmesi temel prensiptir (Şanyılmaz, 2006). Bu doğrultuda, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan S/N oranları dikkate alınmaktadır. Sinyal, istenen performansı sağlayan en iyi değeri, gürültü ise kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisini ifade etmektedir (Yalçındağ, 2021). S/N oranı ortalamanın (sinyal), standart sapmaya (gürültü) oranlanması ile hesaplanmaktadır. Optimize edilmesi hedeflenen çıktının karakteristiğine bağlı olarak nominal en iyi, en küçük en iyi veya en büyük en iyi performans ölçütleri kullanılmaktadır.

Taguchi yönteminde parametre tasarımı en kritik noktalardan biridir. Fazla sayıda değişken seçiminin performansı düşürme, maliyet artışı gibi riskleri mevcuttur. Bu noktada ürün/proseste performans değişkenlerini en aza indirgeyen parametreler belirlenmelidir. Yani ürün/proseste sapma meydana getiren gürültü faktörlerine karşı ürünü hedeflenen

değerde tutan kontrol edilebilen değişken seviyelerinin optimum noktada seçilmesi ile değişkenliği en aza indirgeyen sağlam (robust) tasarım gerçekleştirilmelidir (Özden, 2020).

4.2.3 Yanıt yüzey yöntemi

1950'lerde George Box ve Wilson tarafından deneylerin optimum noktalarını bulma amacıyla tasarlanmıştır. Yanıt Yüzey Yöntemi bu yıllarda kimya, gıda ve tekstil endüstrisinde sıklıkla kullanılmıştır. Yöntemde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisinin belirlenerek matematiksel model ile ifade edilmesi ve bu model üzerinden en iyileme çalışmalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Elde edilen matematiksel model, bağımsız değişkenlerin birinci derece (lineer), ikinci derece (tam kare) ve faktörler arası etkileşim terimlerinden oluşmaktadır (Yılmaz, 2024; Özden, 2020). Yöntem, çok sayıdaki değişkenin ve bu değişkenler arasındaki etkileşimlerin az sayıda deney ile analiz edilerek optimum seviyelerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla deney maliyetinin yüksek olduğu durumlarda sıklıkla tercih edilmektedir (Kök, 2024).

Üç bağımsız değişken (X_1 , X_2 ve X_3) ve bir yanıt değişkeninden (Y) oluşan modelin Yanıt Yüzey Yöntemi kapsamında elde edilen matematiksel denklemi Eşitlik 4.5'te verilmiştir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 + \beta_6 X_3^2 + \beta_7 X_1 X_2 + \beta_8 X_1 X_3 + \beta_9 X_2 X_3 \quad (4.5)$$

Elde edilen denklem lineer ($\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$), karesel ($\beta_4 X_1^2 + \beta_5 X_2^2 + \beta_6 X_3^2$) ve etkileşim ($\beta_7 X_1 X_2 + \beta_8 X_1 X_3 + \beta_9 X_2 X_3$) terimlerinden oluşmaktadır. Matematiksel modelin en genel formu Eşitlik 4.6'da gösterilmiştir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^n \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (4.6)$$

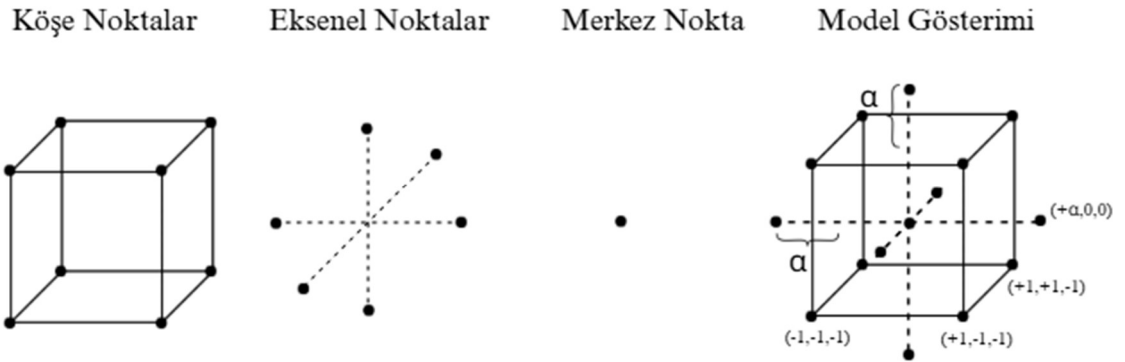
Denklemdaki β_0 sabiti, β_i lineer parametrelerin katsayılarını, y yanıt değişkenini, X_i ve X_j bağımsız değişkenleri ve ε hata terimini temsil etmektedir (Özden 2020; Baylak 2024).

Yanıt Yüzey Yöntemi, Merkezi Kompozit Tasarım, Yüzey Merkezli Merkezi Bileşik Tasarım ve Box–Behnken Tasarımı olmak üzere üç farklı deney tasarımı yaklaşımını kapsamaktadır (Özden 2020).

Merkezi kompozit tasarım

Merkezi kompozit tasarım, 2^k faktöriyel tasarıma merkez nokta ve aksenal noktaların ilave edildiği deney tasarımı yöntemidir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ikinci dereceden bir ilişki bulunduğunda sıklıkla tercih edilmektedir.

Bu yöntemde aksenal noktaların kodlanmış uzaklığı α olarak adlandırılmaktadır. α değeri araştırma yapılan bölge ve çözüm alanının büyüklüğüne göre değişmektedir (Demircioğlu, 2022). Şekil 4.6’da merkezi kompozit tasarımın deney uzayı görülmektedir.



Şekil 4.6: Merkezi kompozit tasarım deney uzayı

Merkezi kompozit tasarımda birinci ve ikinci dereceden terimler ve ikili faktörler arası etkileşimi ifade eden terimler yer almaktadır. Merkez noktadan yapılan tekrarlı denemeler deney hatasının bulunması ve elde edilen tasarımın eğimini oluşturmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Elde edilen eğim, ikinci dereceden terimlerin daha doğru şekilde tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır. Tasarımın esnekliği merkez noktadan yapılacak deneme sayısına ve seçilen α değerine (eksen uzunluğu) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle merkez noktadan yapılacak deney sayısı ve α değerinin doğru seçilmesi tasarımın güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

Tablo 4.5’te üç bağımsız değişken (X_1 , X_2 ve X_3) ve bir yanıt değişkeninden (Y) oluşan modelin deney planı sunulmuştur.

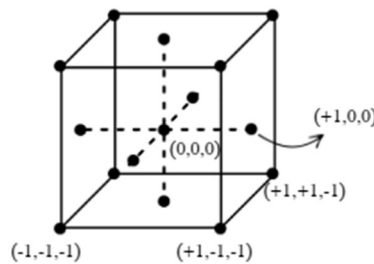
Tablo 4.5: 3 faktörlü merkezi kompozit tasarım deney planı

Deney	Faktörler		
	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	- α	0	0
10	α	0	0
11	0	- α	0
12	0	α	0
13	0	0	- α
14	0	0	α
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

İlk 8 deney, kübik yapının köşe noktalarına karşılık gelen tam faktöriyel tasarım esas alınarak belirlenmiştir. Ardından her faktör için $-\alpha$ ve $+\alpha$ seviyeleri belirlenerek, α noktalarından 6 adet deney kurgulanmıştır. Deney hatasının bulunabilmesi için merkez noktadan 6 tekrar uygulanması planlanmıştır (Özden, 2020; Demircioğlu 2022).

Yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım

Merkezi kompozit tasarımın yüzey merkezli gerçekleştirilen farklı bir varyasyonudur. Eksenlerin uç noktaları kübik yapının yüzeyinde yer almaktadır. Bu nedenle α değeri -1 veya +1'e eşit alınmaktadır. Şekil 4.7'de model şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 4.7: Yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım deney uzayı

Box-Behnken tasarımı

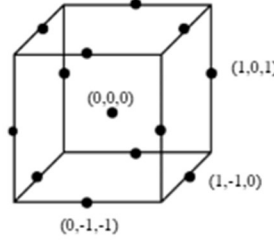
1960'lı yıllarda Box ve Behnken tarafından geliştirilen, 3^k faktöriyel tasarıma alternatif bir yöntemdir. Küresel bir tasarıma sahip olan Box-Behnken tasarımında her faktör 3 seviyeye sahiptir. Merkezi kompozit tasarıma kıyasla daha ekonomik olan bu yöntemde faktörlerin uç değerlerdeki kombinasyonları yerine sınırların orta noktaları alınır. Dolayısıyla maliyetin yüksek olduğu veya fiziksel kısıtlamaların mevcut olduğu deneylerde sıklıkla tercih edilmektedir.

Tasarımın simetrik bir yapıda olması, faktörlerin etkileşimlerinin daha iyi anlaşılmasını ve verilerin analizini kolaylaştırmaktadır.

Tasarımda deney sayısı Eşitlik 4.7'de verilen denklem kullanılarak bulunmektedir. Denklemden k faktör sayısını, C_0 merkezi nokta sayısını temsil etmektedir (Taş, 2024).

$$N=2k(k-1) + C_0 \quad (4.7)$$

Şekil 4.8'de Box-Behnken tasarımın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.8: Box-Behnken tasarım deney uzayı

4.3 Deney Tasarımı Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Karmaşık süreçlerin sistematik bir şekilde analiz edilerek en uygun çözümün bulunması için kullanılan deney tasarımı yöntemleri farklı araştırma alanları ve hedeflerine göre değişiklik göstermektedir. Gerçekleştirilen araştırmanın hedefleri doğrultusunda uygun yöntemin seçilmesi doğru sonuçlara ulaşmada kritik öneme sahiptir.

Faktöriyel Tasarım, Taguchi ve Yanıt Yüzey Yöntemi arasındaki temel farklar Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6: Deney tasarımı yöntemlerinin karşılaştırılması

Kriter	Faktöriyel Tasarım	Taguchi	YYY
Veri Tipi	Nicel veya nitel veriler ile çalışılabilir.	Nicel veya nitel veriler ile çalışılabilir.	Nicel veriler ile çalışılabilir.
Optimum Faktör Seçimi	Sürekli ve kesikli veriler için optimum değeri hesaplar.	Kombinasyonlardan en iyi alternatifi seçer.	Sürekli ve kesikli veriler için optimum değeri hesaplar.
Denklem Türü	Birinci derece denklemler kullanır.	Matematiksel denklem kullanmaz.	İkinci derece denklem kullanır.
Faktör Etkileşimleri	Matematiksel modeli lineer, ikili ve üçlü etkileşim terimlerinden oluşur.	Matematiksel modeli yoktur.	Matematiksel modeli lineer, karesel ve faktörler arası ikili etkileşim terimlerinden oluşur.
Faktör Seviyeleri	Her bir faktör eşit seviyeye sahiptir (2 seviyeli).	Faktörler farklı seviyelere sahip olabilir.	Her bir faktör eşit seviyeye sahiptir.
Faktör Sayısı	Maksimum 15 faktör kullanılabilir.	Maksimum 30 faktör kullanılabilir.	Maksimum 10 faktör kullanılabilir.

Karşılaştırma tablosundan da görüleceği üzere tüm deney tasarımı yöntemlerinin kendine özgü kriterleri mevcuttur. Bu durum, deney tasarımı sürecinde tek bir en iyi yöntemin olmadığını, araştırma yapılacak koşullara göre bir yaklaşım benimsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

5. UYGULAMA

5.1 Problem Tanımı

Bu tez çalışması, dokuma, iplik boya, kumaş boya ve dijital baskı bölümlerinden oluşan, entegre üretim süreçlerine sahip bir tekstil firmasının Ar-Ge merkezinde gerçekleştirilmiştir. Tüketicilerin artan sürdürülebilirlik bilinci ile birlikte tekstil sektörü standart üretimlerinin yanı sıra sürdürülebilir çevreci alternatiflere yönelmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği firmada da üretim süreçlerinin her aşamasında çevresel etkileri azaltmaya yönelik Ar-Ge projeleri yürütülmektedir. Bu kapsamda, yenilikçi selülozik elyaf (kenevir, ısırgan vb.) ve geri dönüştürülmüş liflerin kullanımı, fonksiyonel özelliklere sahip kumaşların tasarımı, doğal boyama proseslerinin geliştirilmesine odaklanılmaktadır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, sürdürülebilirliği odağına alan yenilikçi selülozik elyafların kullanımı ve doğal boyama proseslerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların giderek arttığı görülmektedir.

Doğal elyaflar arasında kenevir lifi, pamuk ile karşılaştırıldığında daha düşük su tüketimi, pestisit ihtiyacı olmaması ve toprağı iyileştirme potansiyeli ile çevre dostu bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Çalışmada kullanılacak kumaş konstrüksiyonunun tasarımında tedarik edilebilen iplikler ve tezgâhın teknik sınırlamaları göz önünde bulundurulmuş; en yüksek kenevir elyaf içeriğine sahip kumaşın üretimi hedeflenmiştir.

Doğal boyamacılıkta bitkilerin kök, yaprak, çiçek ve tohum gibi çeşitli kısımlarından elde edilen doğal boyarmaddeler ile yapılan boyamalarda, renk dayanımı ve doğal boyarmaddenin elyafa bağlanmasını artırmak amacıyla mordan kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, geleneksel metal tuzlarına alternatif olarak bitkisel kaynaklı biyomordanlara olan ilgi artmıştır. Nar kabuğu, meşe palamudu, limon kabuğu, biberiye, yeşil çay gibi polifenolik bileşikler açısından zengin biyomordanlar bu kapsamda öne çıkmaktadır.

Günümüz tüketicileri kumaşlardan renk, tuşe vb. estetik özelliklerinin yanı sıra antibakteriyel, antioksidan, negatif iyon salınımı gibi fonksiyonel özellikler de talep etmektedir. Dolayısıyla doğal boyama alanında yapılan çalışmalarda yalnızca renk elde

etmek değil, aynı zamanda tekstil ürünlerine fonksiyonel özelliklerin kazandırılması da önemli hale gelmiştir.

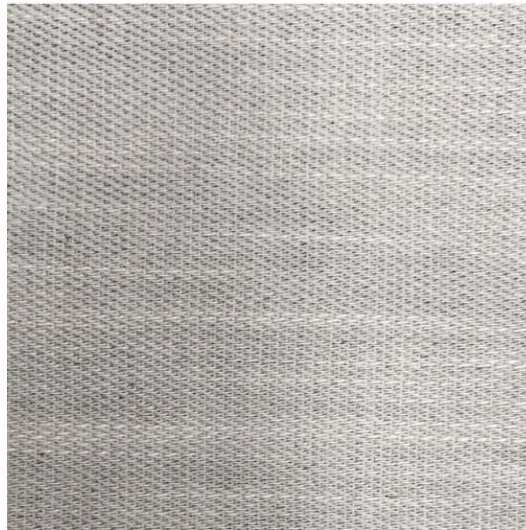
5.2 Materyal ve Metot

Çalışmada, %78 pamuk, %21 kenevir %1 elastan içerikli dokuma kumaş kullanılmış, kumaşın teknik özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Kullanılan kumaşın teknik özellikleri

Kumaş Özelliği	Tanım
Çözü İpliği 1	Ne 20/1 Pamuk OE (Open-End)
Çözü İpliği 2	Ne 20/1 Pamuk Flamlı
Atkı İpliği 1	26 Nm Naturel Kenevir
Atkı İpliği 2	Ne 20/1 Pamuk Karde Elastan (78 dtex)
Çözü Sıklığı	36 tel /cm
Atkı Sıklığı	18 atkı /cm
Örgü Raporu	D3/1 (Z)
Kompozisyon	%78 Pamuk %21 Kenevir %1 Elastan

Dokuması gerçekleştirilen ham kumaşa ait görsel Şekil 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.1: Ham kumaş görseli

Kumaşın renklendirilmesinde doğal boyarmadde kaynağı olarak zeytin yaprağı (*Olea europaea* L.) kullanılmıştır. Biyomordan kaynağı olarak ise polifenolik bileşikler açısından zengin nar kabuğu (*Punica granatum* L.), meşe palamudu (*Quercus ithaburensis*) ve limon kabuğu (*Citrus* spp.) tercih edilmiştir. Boyama sürecinde yardımcı madde olarak iyonik bir

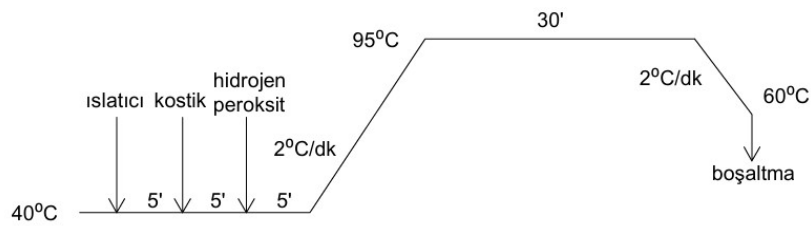
bileşik olan kaya tuzundan yararlanılmıştır. Kullanılan malzemelere ait görseller Şekil 5.2’ de sunulmuştur.



Şekil 5.2: a) Zeytin Yaprığı (*Olea europaea* L.), b) Nar Kabuğu (*Punica granatum* L.), c) Meşe Palamudu (*Quercus ithaburensis*), d) Limon Kabuğu (*Citrus* spp.), e) Kaya Tuzu

Dokuma işlemi sırasında çözgü ipliklerinin kopmasını azaltmak ve iplik yüzeyini düzleştirerek tüylenme ile boncuklanmayı önlemek amacıyla haşıl işlemi uygulanmaktadır. Ancak bu işlem, kumaşın hidrofobik (su itici) özellik kazanmasına neden olmaktadır. Terbiye işlemlerinin ilk aşamasında, haşıl kumaştan uzaklaştırılarak kumaş hidrofilik hale getirilmiştir.

Boyama işlemleri için daha düzgün bir zemin elde edilmesi amacıyla kumaşın üzerindeki safsızlıkların (mumsu maddeler, yağlar, doğal pigmentler vb.) uzaklaştırılması için Şekil 5.3’ te grafiği verilen ağartma (kasar) prosesi uygulanmıştır.



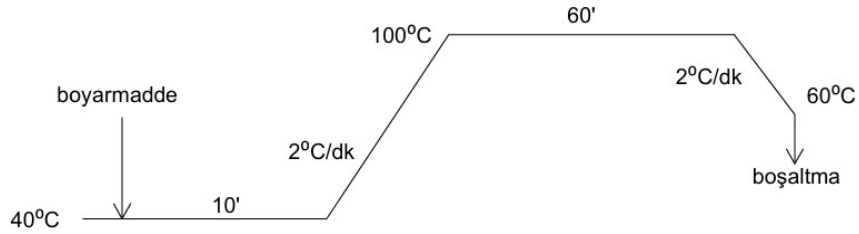
Şekil 5.3: Ağartma (kasar) prosesi grafiği

Ön terbiye işlemleri tamamlanmış kumaşın yüzey görünümünü göstermek amacıyla ön işlemler kumaş görüntüsü Şekil 5.4’ te paylaşılmıştır.



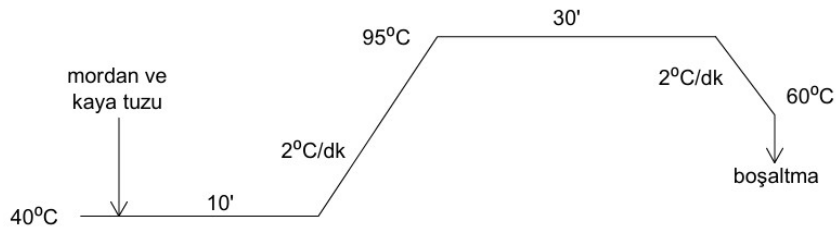
Şekil 5.4: Ön işlemlili kumaş görseli

Deneyleerde üç farklı mordanlama yöntemi uygulanmıştır: ön mordanlama, birlikte (eş zamanlı) mordanlama ve son mordanlama. Boyama işlemleri Şekil 5.5'te gösterilen akış şemasına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ön ve son mordanlama işlemleri Şekil 5.6'daki proses diyagramına göre uygulanırken, birlikte mordanlama işlemi ise Şekil 5.7'de yer alan proses diyagramına göre uygulanmıştır. Tüm proseslerde 1/10 flote oranı kullanılmıştır.



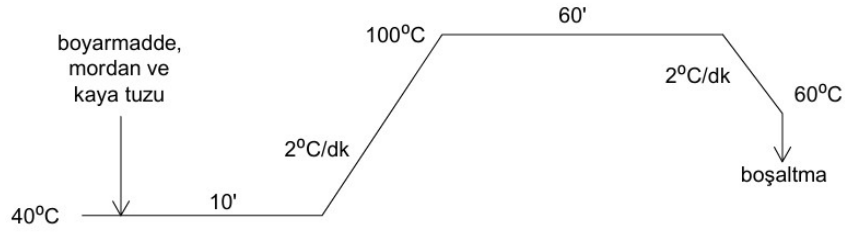
Şekil 5.5: Doğal boyama proses grafiği

Ön mordanlamada, numuneler boya öncesinde uygun mordan banyosunda işleme tabii tutulmuş, ardından doğal boyarmadde ile birlikte boyanmıştır. Son mordanlamada ise boyama tamamlandıktan sonra numuneler mordan banyosunda işlem görmüştür.



Şekil 5.6: Ön ve son mordanlama proses grafiği

Birlikte mordanlamada ise mordan, kaya tuzu ve boyarmadde aynı banyoda eş zamanlı olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.7: Birlikte mordanlama proses grafiği

Uygulanan her bir proses adımının bitiminde numuneler üzerinde kalan serbest boyarmadde ve mordanların uzaklaştırılması için soğuk su ile yıkama yapılmıştır. Tüm numuneler serbest olarak kurumaya bırakılmıştır.

Deney planları kapsamında elde edilen numunelerin negatif iyon salınımı testleri, Şekil 5.8'de görüntüsü verilen negatif iyon ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testler, GBT 30128-2013 “Tekstil Negatif İyon Ölçme ve Değerlendirme” standardına uygun olarak hizmet alımı yoluyla yapılmıştır. Test öncesi kumaşlar kendi ağırlığına nemiylelendirilmiştir.



Şekil 5.8: Negatif iyon salınımı ölçüm cihazı

Kumaşların reflektans ölçümleri Şekil 5.9'da gösterilen Datacolor SF600 Plus-CT spektrofotometre kullanılarak SI modunda ve LAV (6,6 mm) gözlem plakası kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 5.9: Spektrofotometre cihazı.

Deney tasarımının genel çerçevesi değerlendirme ölçütleri ile birlikte Bölüm 5.3'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

5.3 Deney Tasarımı ve Sonuçlar

Çalışmada, doğal boyama süreci deney tasarımı ilkeleri doğrultusunda sistematik bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

İlk aşamada, Taguchi metodu kullanılarak mordan türü, mordanlama yöntemi, mordan konsantrasyonu ve kaya tuzu konsantrasyonunun negatif iyon salınımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu analiz sonucunda, negatif iyon salınımını en iyileyen parametre seviyeleri belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise, elde edilen sonuçlar doğrultusunda, renk verimi ve negatif iyon salınımını maksimize eden optimum mordan ve kaya tuzu konsantrasyonu seviyeleri Yanıt Yüzey Yöntemi ile analiz edilmiştir.

Uygun boyama koşullarının belirlenmesinde Taguchi metodundan faydalanılmıştır. Deney tasarımında mordan türü (nar kabuğu, meşe palamudu, limon kabuğu), mordanlama yöntemi (ön, birlikte ve son mordanlama), mordan konsantrasyonu (%1, %3, %5) ve kaya tuzu konsantrasyonu (%2, %6, %10) girdi değişkeni olarak seçilmiştir.

Belirtilen faktör düzeyleri literatür taraması, daha önceki çalışmalar ve işletme koşullarında uygulanabilirlikleri göz önünde bulundurularak karar verilmiştir.

Negatif iyon salınıminin (iyon/cm³) maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen tüm boyama işlemlerinde, boyarmadde konsantrasyonu %6 olarak sabit tutulmuştur. Seçilen faktörler ve seviyeleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Taguchi metodu proses parametreleri ve seviyeleri

Faktörler	Birimi	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Mordan Türü	-	Nar Kabuğu	Meşe Palamudu	Limon Kabuğu
Mordanlama Yöntemi	-	Ön	Birlikte	Son
Mordan Konsantrasyonu	%	1	3	5
Kaya Tuzu Konsantrasyonu	%	2	6	10

Tablo 5.2’de verilen faktörler ve seviyeleri için Minitab istatistiksel analiz programı kullanılarak L9 ortogonal dizisine dayalı deney tasarımı oluşturulmuştur. Deney tasarımı Tablo 5.3’te yer almaktadır.

Tablo 5.3: Taguchi metodu deney planı

Deney No	Mordan Türü	Mordanlama Yöntemi	Mordan Konsantrasyonu (%)	Kaya Tuzu Konsantrasyonu (%)
1	Nar Kabuğu	Ön	1	2
2	Nar Kabuğu	Birlikte	3	6
3	Nar Kabuğu	Son	5	10
4	Meşe Palamudu	Ön	3	10
5	Meşe Palamudu	Birlikte	5	2
6	Meşe Palamudu	Son	1	6
7	Limon Kabuğu	Ön	5	6
8	Limon Kabuğu	Birlikte	1	10
9	Limon Kabuğu	Son	3	2

Deneylerden elde edilen numunelere ilişkin görseller Şekil 5.10’da verilmiştir.



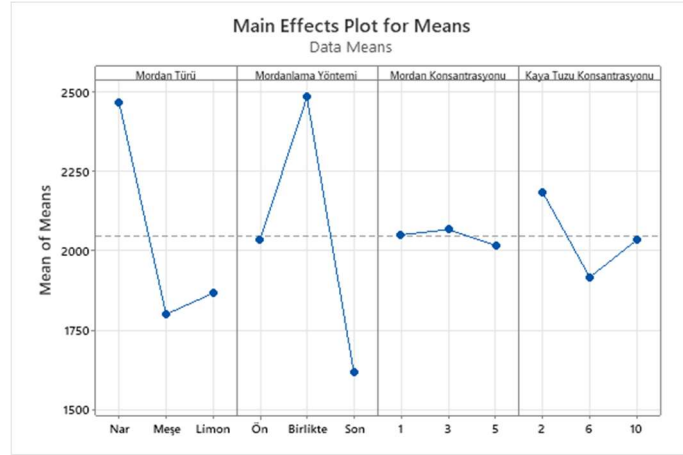
Şekil 5.10: Taguchi deney tasarımı sonucu elde edilen renkler

Her bir deney sonucu elde edilen negatif iyon salınımı test sonucu Tablo 5.4’te sunulmuştur.

Tablo 5.4: Taguchi metodu negatif iyon salınımı test sonuçları

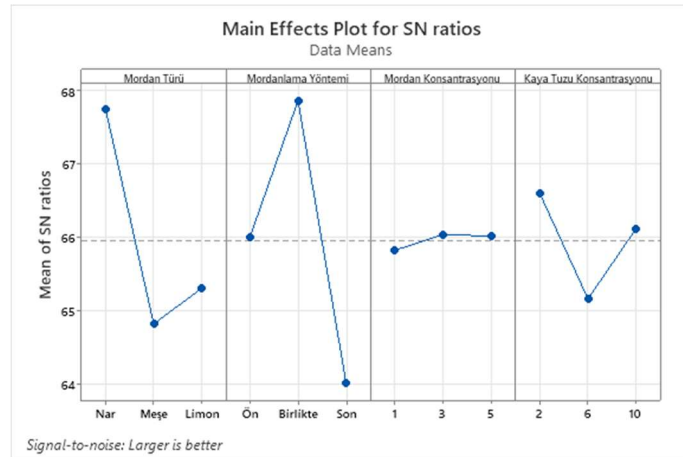
Deney No	Negatif İyon Salınımı (iyon/cm ³)
1	2600
2	2800
3	2000
4	1800
5	2350
6	1250
7	1700
8	2300
9	1600

Deney sonuçları doğrultusunda Minitab programı kullanılarak “maksimum en iyi” kriteri belirlenerek oluşturulan ortalama etki grafiği ve şiddet/gürültü grafiği sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11: Taguchi deney tasarımı ortalama etki değerleri

Taguchi metodunda ortalama etki grafiğine bakılarak faktörlerin en iyi seviyeleri belirlenmeye çalışıldığında, kriterimiz “maksimum en iyi” ise maksimum değerler; eğer kriterimiz “minimum en iyi” ise minimum değerlere odaklanılır.



Şekil 5.12: Taguchi deney tasarımı gürültü/şiddet (S/N) değerleri

Şiddet/gürültü grafiğine bakılarak sonuçlar yorumlandığında ise “maksimum en iyi” veya “minimum en iyi” kriteri fark etmeksizin en uygun faktör seviyesini belirlemek için daima maksimum sonucu veren noktaya odaklanılmaktadır. Robust (sağlam) tasarım elde etmek için literatürde genellikle şiddet/gürültü grafiğinden faydalanılarak seçimler gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım ile dış faktörlerden (gürültü) etkilenmeden tasarımın performansının en üst düzeye çıkarılması hedeflenmektedir.

Şekil 5.11 ve 5.12'deki ortalama etki ve şiddet/gürültü grafikleri incelendiğinde mordan türü faktörü için nar kabuğu biyomordanının negatif iyon salınımı test sonucunu maksimize etmede en etkili olduğu görülmektedir. Meşe palamudu ve limon kabuğu biyomordanları elenerek bundan sonraki çalışmalara nar kabuğu biyomordanı ile devam edilecektir.

Mordanlama yöntemi açısından grafikler incelendiğinde, birlikte mordanlamanın ön ve son mordanlama yöntemine göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda çalışmanın ikinci aşamasında yalnızca birlikte mordanlama yöntemi uygulanacak ve ön ile son mordanlama yöntemleri dışarıda bırakılacaktır.

Ana etkiler grafiği ve şiddet/gürültü grafiği incelendiğinde, mordan konsantrasyonu için %3 ve %5 seviyeleri arasında istatikselsel olarak anlamlı bir fark olmadığı; buna karşın %3 seviyesinin en yüksek S/N değerini verdiği görülmektedir. Taguchi' nin robustluk ilkesine doğrultusunda ve performans artışı sağlamayan daha yüksek konsantrasyondan kaçınmak amacıyla mordan konsantrasyonu için %3 seviyesi seçilmiştir.

Kaya tuzu konsantrasyonu için grafikler incelendiğinde %2 seviyesinde kaya tuzu kullanımının en yüksek S/N değerini verdiği görülmüştür. Konsantrasyon %6 seviyesine yaklaştıkça S/N değeri belirgin bir şekilde azalmıştır. Bunun yanı sıra konsantrasyon %10 seviyesine çıktıkça tekrar iyon salınımının arttığı görülmektedir. Fakat bu değer %2 konsantrasyonda elde edilen maksimum değeri karşılamamaktadır. Bu nedenle kaya tuzu konsantrasyonu için en uygun seviye %2 olarak seçilmiştir.

Tablo 5.5: Faktör önem sıralamaları raporu.

Seviye	Mordan Türü	Mordanlama Yöntemi	Mordan Konsantrasyonu (%)	Kaya Tuzu Konsantrasyonu (%)
1	67,75	66,00	65,82	66,60
2	64,82	67,87	66,04	65,16
3	65,31	64,01	66,02	66,12
Fark	2,93	3,85	0,22	1,44
Sıralama	2	1	4	3

Faktörlerin önem düzeylerinin sıralaması için “Rank” değerleri Tablo 5.5’te verilmiştir. Faktörlerin önem düzeyleri sırasıyla Mordanlama Yöntemi> Mordan Türü> Kaya Tuzu Konsantrasyonu (%)> Mordan Konsantrasyonu (%) şeklindedir. Sonuç olarak maksimum negatif iyon salınımını elde etmek için en uygun kombinasyonun nar kabuğu mordanı, birlikte mordanlama yöntemi, %3 mordan konsantrasyonu ve %2 kaya tuzu konsantrasyonu olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen kombinasyonda elde edilen negatif iyon salınımı değerini doğrulamak amacıyla üç adet deney gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deneylerinin test sonuçları Tablo 5.6’da verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama negatif iyon salınımı değeri 3190 olarak bulunmuştur. Böylece optimal kombinasyon için öngörülen performans gerçekleştirilen deneyler ile teyit edilmiştir.

Tablo 5.6: Taguchi metodu negatif iyon salınımı doğrulama deneyleri

Deney No	Mordan Türü	Mordanlama Yöntemi	Mordan Konsantrasyonu (%)	Kaya Tuzu Konsantrasyonu (%)	Negatif İyon Salınımı (iyon/cm ³)
1	Nar Kabuğu	Birlikte	3	2	2870
2	Nar Kabuğu	Birlikte	3	2	3400
3	Nar Kabuğu	Birlikte	3	2	3300

Bu aşamaya kadar, doğal boyama sürecinde negatif iyon salınımını maksimize eden parametrelerin en uygun seviyeleri belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada mordan ve kaya tuzu konsantrasyonlarına yönelik bir matematiksel model kurulacak ve optimizasyon gerçekleştirilecektir. Mordan türü nar kabuğu, mordanlama yöntemi ise birlikte mordanlama olarak sabit tutulacaktır. Optimizasyon çalışmasında Yanıt Yüzey Yöntemi – Merkezi Kompozit Tasarım kullanılacaktır. Taguchi yöntemi ile belirlenen mordan ve kaya tuzu konsantrasyonları, Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak yapılacak optimizasyon çalışmasında orta seviye olarak alınmıştır. Alt ve üst seviyeler, belirlenen orta değer bir birim altı ve bir birim üstü olarak tanımlanmış ve optimum nokta bu aralıkta aranmıştır. Optimize edilecek faktör ve seviyeleri Tablo 5.7’de sunulmuştur.

Tablo 5.7: Yanıt Yüzey Yöntemi proses parametreleri ve seviyeleri

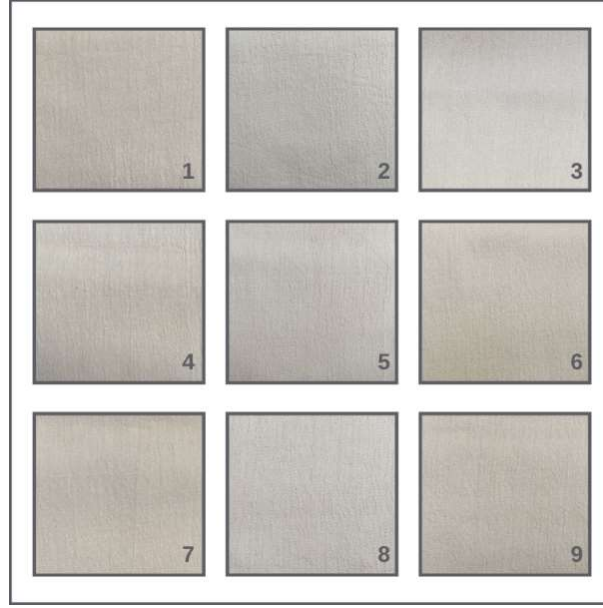
Faktörler	Birimi	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Mordan Konsantrasyonu	%	X ₁	2	3	4
Kaya Tuzu Konsantrasyonu	%	X ₂	1	2	3

Minitab programı kullanılarak 2 faktörlü Merkezi Kompozit Tasarım ile 13 adet deney tasarlanmıştır. Elde edilen deney planının 5 tanesi merkez noktaya karşılık gelmektedir. Fakat test maliyeti nedeniyle çalışmada merkez noktadan 1 adet deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney planı Tablo 5.8’de sunulmuştur. Her bir deney iki kez tekrarlanmıştır.

Tablo 5.8: Yanıt Yüzey Yöntemi deney planı

Deney No	Mordan Konsantrasyonu (%)	Kaya Tuzu Konsantrasyonu (%)
1	2	1
2	4	1
3	2	3
4	4	3
5	2	2
6	4	2
7	3	1
8	3	3
9	3	2

Deneylerden elde edilen numunelere ilişkin görseller Şekil 5.13’te verilmiştir.



Şekil 5.13: Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen renkler

Gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen numunelerin negatif iyon salınımı ve renk verimi test sonuçları Tablo 5.9'daki gibidir.

Tablo 5.9: YYY negatif iyon salınımı ve renk verimi test sonuçları

Deney No	Negatif İyon Salınımı (iyon/cm ³)		Renk Verimi K/S	
	1.Ölçüm	2.Ölçüm	1.Ölçüm	2.Ölçüm
1	2610	2730	1,04	1,05
2	2850	2930	1,57	1,64
3	2200	2190	0,69	0,72
4	2570	2510	1,19	1,15
5	2175	2370	0,59	0,60
6	2585	2490	0,99	1,09
7	3163	3260	1,00	1,01
8	2800	2850	0,89	0,92
9	3300	3400	0,93	0,91

Yapılan istatistiksel analizler sonucunda çıktı üzerinde anlamlı etkisi bulunmayan terimlere modelde yer verilmemiştir.

Her iki çıktı değişkeni için ayrı matematiksel modeller oluşturulmuştur. Negatif iyon salınımı ve renk verimi için elde edilen matematiksel modeller sırasıyla Eşitlik 5.1 ve Eşitlik 5.2’de sunulmuştur.

$$\text{Negatif İyon Salınımı} = -2384 + 3806(x_1) - 201,9(x_2) - 611,2(x_1^2) \quad (5.1)$$

$$\text{Renk Verimi} = 1,294 + 0,2456(x_1) - 1,033(x_2) + 0,2214(x_2^2) \quad (5.2)$$

Elde edilen modellerin açıklayıcılık düzeylerini değerlendirmek için determinasyon katsayıları (R^2) incelenmiştir.

Negatif iyon salınımı için R^2 değeri %88,84 olarak tespit edilmiştir. Bu değer modelde kullanılan girdi faktörlerinin çıktıdaki değişimin %88,84’ünü açıkladığını göstermektedir. Geriye kalan %11,16’lık kısım ise modelde yer almayan diğer değişkenlerden kaynaklanmaktadır.

Renk verimi modeli için ise R^2 değeri %87,32 olarak bulunmuştur. Bu da modeldeki girdilerin renk verimini çıktısını %87,32 oranında açıkladığını göstermektedir. Kalan %12,68’lik kısım ise modele dahil edilmeyen değişkenlerden kaynaklanmaktadır.

Her iki çıktı için de elde edilen determinasyon katsayılarının %100’e yakın olması, modelde kullanılan girdi faktörlerinin negatif iyon salınımı ve renk verimi çıktıların açıklanmasında yeterli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle modele başka değişkenlerin dahil edilmesine gerek duyulmamıştır.

Elde edilen sonuçlar, her iki modelin de deney verileri ile tutarlı olduğunu ve güvenilir tahminler sunduğunu göstermektedir. Modele ait ANOVA (varyans analizi) sonuçları negatif iyon salınımı Tablo 5.10’da verilmiştir.

Tablo 5.10: Negatif iyon salınımı ANOVA tablosu

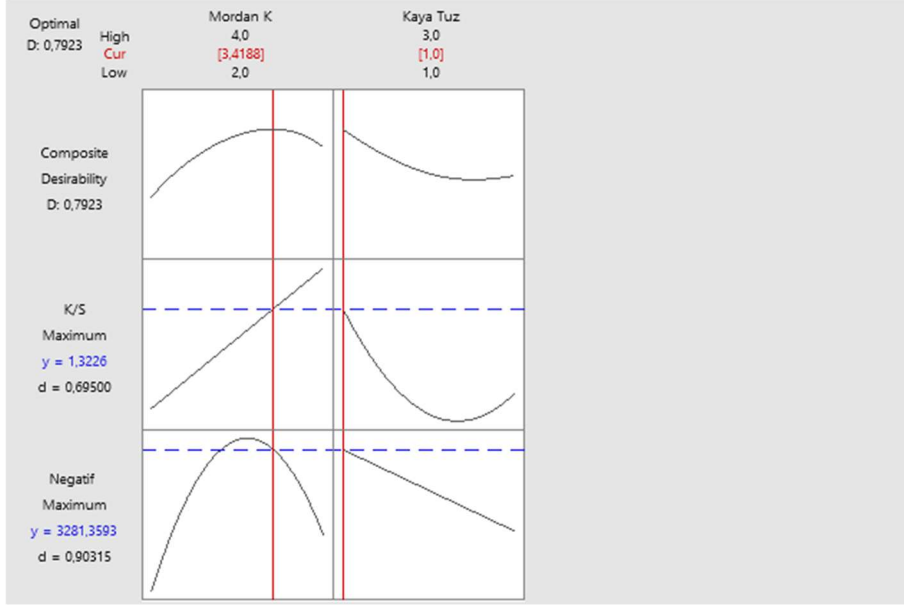
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Model	3	2213182	737727	37,15	0,000
Lineer Terimler	2	718676	359338	18,09	0,000
Mordan Konsantrasyonu	1	229633	229633	11,56	0,004
Kaya Tuzu Konsantrasyonu	1	489042	489042	24,62	0,000
Karesel Terimler	1	1494506	1494506	75,25	0,000
Mordan	1	1494506	1494506	75,25	0,000
Konsantrasyonu*Mordan Konsantrasyonu					
Hata	14	278046	19860		
Uyum Değerindeki Eksiklik	5	231268	46254	8,90	0,003
Net Hata	9	46778	5198		
Toplam	17	2491228			

Diğer bir çıktı olan renk verimi için ANOVA analizi Tablo 5.11’de sunulmuştur.

Tablo 5.11: Renk verimi ANOVA tablosu

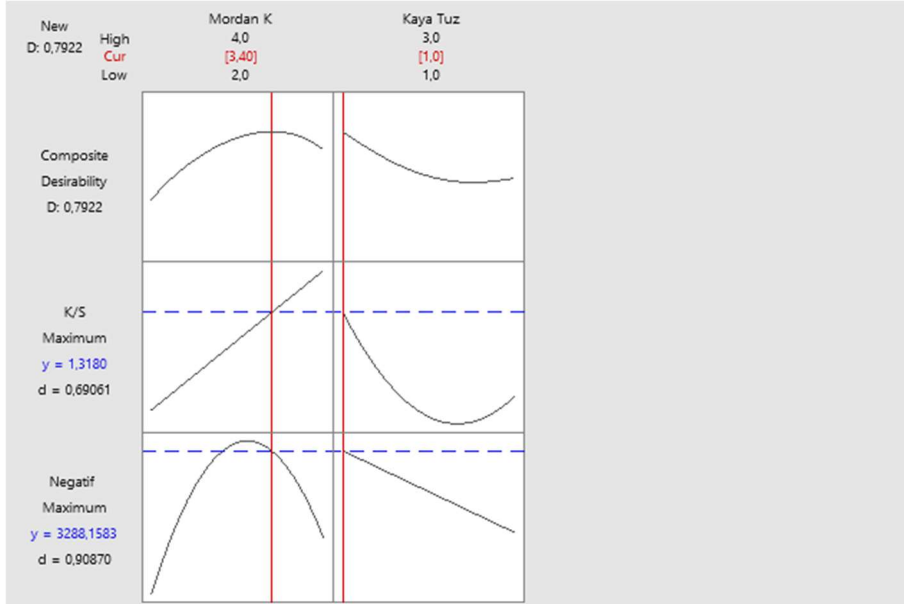
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Model	3	1,17891	0,392971	32,15	0,000
Lineer Terimler	2	0,98281	0,491404	40,20	0,000
Mordan Konsantrasyonu	1	0,72411	0,724109	59,24	0,000
Kaya Tuzu Konsantrasyonu	1	0,25870	0,258698	21,16	0,000
Karesel Terimler	1	0,19611	0,196107	16,04	0,001
Kaya Tuzu Konsantrasyonu*Kaya Tuzu Konsantrasyonu	1	0,19611	0,196107	16,04	0,001
Hata	14	0,17113	0,012224		
Uyum Değerindeki Eksiklik	5	0,16197	0,032394	31,82	0,000
Net Hata	9	0,00916	0,001018		
Toplam	17	1,35005			

Tablo 5.10 ve 5.11’deki varyans analizi sonuçlarına göre modelin p değeri (0,000), %95 güven aralığı olarak seçilen α değerinden (0,05) daha küçüktür. Bu da modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. R^2 değeri ve varyans analizi sonuçlarının uygunluğu tespit edildikten sonra optimizasyon aşamasına geçilmiştir. Optimizasyon sonuçları Şekil 5.14’te sunulmuştur.



Şekil 5.14: Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimizasyon sonucu

Şekil 5.14'te sunulan Minitab programı ile yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen faktör seviyeleri %3,42 nar kabuğu ve % 1 kaya tuzu konsantrasyonudur. Bu değerlerin işletme koşullarında uygulanabilir olması için en yakın tam sayılara yuvarlanmıştır. Bu değerler Minitab- Response Optimizer modülüne yeniden girilerek grafik tekrar düzenlenmiştir. Düzenlenen grafik Şekil 5.15'te paylaşılmıştır.



Şekil 5.15: İşletme koşullarına uyarlanmış faktör seviyeleri

Belirlenen optimum faktör seviyelerinde (%3,4 nar kabuğu konsantrasyonu ve % 1 kaya tuzu konsantrasyonu) üç tekrar deneyi yapılmış ve elde edilen numunelerin test sonuçları Tablo 5.12’de sunulmuştur.

Tablo 5.12: YYY doğrulama deneyleri

Deney No	Mordan Konsantrasyonu (%)	Kaya Tuzu Konsantrasyonu (%)	Negatif İyon Salınımı (iyon/cm ³)	Renk Verimi (K/S)
1	3,4	1	3430	1,35
2	3,4	1	3080	1,29
3	3,4	1	3270	1,30

Gerçekleştirilen üç ölçümün ortalamaları negatif iyon salınımı için 3260 iyon/cm³ ve renk verimi için 1,31’dir. Optimizasyon çalışması sonucu tahmin edilen değerler ise negatif iyon salınımı için 3288,16 iyon/cm³ ve renk verimi için 1,32’dir. Elde edilen sonuçlar optimizasyon çıktıları ile deney ortalamalarının yüksek ölçüde tutarlı olduğunu göstermektedir.

Optimum koşullarda boyanan numunenin sürtmeye karşı renk haslığı TS EN ISO 105 X12, suya karşı renk haslığı TS EN ISO 105 E01, yıkamaya karşı renk haslığı TS EN ISO 105-C06 (A1S), tere karşı renk haslığı TS EN ISO 105 E04, standardına göre test edilmiştir. Elde edilen numunenin tüm haslık özelliklerinin hedeflenen seviyede (4+) olduğu tespit edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada pamuk/kenevir/elastan karışımı dokuma kumaşın çevre dostu ve sürdürülebilir yöntemlerle renklendirilmesi ve kumaşa negatif iyon salınımı fonksiyonel özelliğinin kazandırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, geleneksel olarak kullanılan metal tuzu mordanlarının yerine, polifenolik içerik açısından zengin nar kabuğu, meşe palamudu ve limon kabuğu biyomordanları kullanılmıştır. Buna ek olarak mineral içeriği yüksek ve iyonik yapıda bir bileşik olan kaya tuzu negatif iyon salınımını artırması amacıyla boyamalara eklenmiştir. Taguchi deney tasarımı ile mordan türü, mordanlama yöntemi, mordan konsantrasyonu ve kaya tuzu konsantrasyonunun negatif iyon salınımı üzerindeki etkileri sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda %2 kaya tuzu, %3 nar kabuğu konsantrasyonunda birlikte mordanlama ile yapılan kombinasyonun en iyi negatif iyon salınımı sonucunu verdiği tespit edilmiştir. Yapılan doğrulama deneyleri ile modelin güvenilirliği ortaya koyulmuştur. Ardından belirlenen kombinasyonda mordan türü ve mordanlama yöntemi sabit tutularak mordan konsantrasyonu ve kaya tuzu konsantrasyonu YYY kullanılarak optimize edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda %3,4 mordan konsantrasyonu ve %1 kaya tuzu konsantrasyonu optimum nokta olarak tespit edilmiştir. Doğrulama deneyleri de bulguları destekler niteliktedir. Optimum koşullarda elde edilen numunenin sürtmeye karşı renk haslığı TS EN ISO 105 X12, suya karşı renk haslığı TS EN ISO 105 E01, yıkamaya karşı renk haslığı TS EN ISO 105-C06 (A1S), tere karşı renk haslığı TS EN ISO 105 E04, standardına göre test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, tüm haslık özelliklerinin istenen düzeyde (4+) olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar pamuk/kenevir karışımı kumaşlarda doğal boyarmaddelerin renklendirme amacıyla kullanımının yanı sıra fonksiyonel tekstil üretimi için de kullanılabilceğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada deney sayısını uygulanabilir düzeyde tutmak amacıyla sıcaklık, süre, pH gibi proses parametreleri sabit tutulmuştur. Ancak ilerleyen çalışmalarda bu parametrelerin de deney tasarımına dahil edilmesi hem negatif iyon salınımının hem de renk veriminin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca yöntemin viskon, lyocell, keten, bambu gibi farklı elyaf türlerine uygulanması, tanen, flavonoid veya antosiyanin içeriği yüksek doğal boyarmaddelerin tercih edilmesi ile elyaf türü ve kullanılan boyarmaddenin negatif iyon salınımı üzerindeki etkilerini ortaya koyacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Abubakar, Y. M., Garba, F., Muhamad, M. A. A., Bioltif, Y. E., Adam, A. B., & Usman, L.** (2024). Optimization of Dyeing Conditions of Natural Dye Obtained from *Vaccinium corrymbosum* (Blueberry) On Cotton Fabric. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, 253-257, doi.org/10.17807/orbital.v16i4.20223.
- Acar, M., & Dönmez, A.** (2019). Kenevire farklı bir bakış. *2.Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 27-30 Eylül, Samsun, 265-270.
- Aftab, M., Ahmad, T., Adeel, S., & Javed, M.** (2024). Ecofriendly process optimization of natural dye extraction from clove (*Syzygium aromaticum* L.) using response surface methodology and artificial neural network modeling. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 37, doi.org/10.1016/j.scp.2023.101401.
- Antony, J.** (2003). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 0750647094.
- Balaban, M.** (2019). Regresyon kriging meta-modelleri için kullanılan deney tasarımı yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 1444-1445, doi.org/10.29130/dubited.528940.
- Bamidele, T., & Haar, S. J.** (2022). Colorfastness of Bicolor Sorghum Leaf Sheath on Hemp Fabric. In *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings* (Vol. 78, No. 1). Iowa State University Digital Press, doi.org/10.31274/itaa.13787.
- Bağçeci, E.N.** (2023). *Plastik enjeksiyon ile üretilen otomobil aydınlatma parçalarının kalitesinin taguchi metodu ile iyileştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.827178).
- Baydeniz, B.** (2022). *Taguchi metodu kullanılarak plastik enjeksiyon proses parametrelerinin optimizasyonu: otomotiv aydınlatma parçaları için bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.757868).
- Baylak, M.O.K.** (2024). *Setan geliştirici katkılı dizel/kenevir yağı yakıt karışımlarının dizel motor performans ve emisyon etkilerinin araştırılması ve optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.909745).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Batool, F., Iqbal, N., Adeel, S., Azeem, M., Hussaan, M., & Mia, R.** (2024). Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves as natural colorant for cotton dyeing using an ecofriendly approach toward industrial progress. *Science Progress*, 107(3), doi.org/10.1177/00368504241271737.
- Benli, H.** (2024). Bio-mordants: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, (31), 20714-20771, doi.org/10.1007/s11356-024-32174-8.
- Bhouri, N., Ltaief, S., Bhouri, N., & Ben Abdesslem, S.** (2023). Optimization of a green dyeing process using natural dyes extracted from corchorus olitorius leaves. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2170946, doi.org/10.1080/15440478.2023.2170946.
- Budeanu, R., Curteza, A., & Radu, C. D.** (2014). Experimental researches regarding the ecological dyeing with natural extracts. *Autex Research Journal*, 14(4), 290-298, doi.org/10.2478/aut-2014-0029.
- Budeanu, R.** (2021). Experimental research on obtaining a chromatic palette on hemp fabric by combining weld and madder dyes. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles, Leatherwork*, 22(1).
- Budeanu, R.** (2021b). Colour analysis in the CIE Lab space regarding the dyeing with weld and madder dyes. *Fascicle of Textiles, Leatherwork*, 22(2), 11-16.
- Bulut, P. ve Özer, A. Y.** (1991). Bir deney planlama yöntemi: faktöriyel tasarım. *Farmasötik Bilimler Dergisi*, 16, 89-97.
- Carette, M., Gisbert-Payá, J., Capablanca, L., & Bou-Belda, E.** (2022). Influence of the Type of Binder Used in the Treatment of Cotton Fabric with Montmorillonite Particles on the Release of Negative Ions. *Polymers*, 14(22), 4945.
- Chipot, N.** (2019). *Development of Optimal Dyeing Methods with Natural Dyes for Environmentally Friendly Hemp Textile*. Eastern Michigan University. Proquest veri tabanından erişildi (Proquest No. 22623703).
- Chitichotpanya, P., Vuthiganond, N., Inprasit, T., Klaykruayat, B., & Srisuk, S.** (2022). Extraction of lutein dye from *Tagetes erecta* garland waste for green dyeing of hemp fabric using response surface methodology. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 32(4), 47-58, doi.org/10.55713/jmmm.v32i4.1527.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chitichotpanya, P., Vuthiganond, N., Chutasen, P., & Inprasit, T.** (2023). Green production of simultaneous coloration and functional finishing on hemp textiles through dyeing with *Diospyros mollis* Griff. extract. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 33(2), 108-119, doi.org/ 10.55713/jmmm.v33i2.1697.
- Chouytan, J., Thirawat, R., Khotradha, D., Ruangteprat, T., Sittitanadol, I., & Udon, S.** (2024). Enhancing the efficiency of hemp fiber dyeing with natural dyes: Indigo and lac. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 34(2), 1873-1873, doi.org/10.55713/jmmm.v34i2.1873.
- Darmawan, A., Riyadi, A., Muhtar, H., & Adhy, S.** (2024). Enhancing cotton fabric dyeing: Optimizing Mordanting with natural dyes and citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 276, 134017, doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134017.
- Dass, P. M., Joshua, Y., Atoshi, M. A., & Emmanuel, E.** (2023). Extraction, optimization and evaluation of turmeric root (*Curcuma longa*) dyeing conditions on cotton fabric. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 4(5), 930–935, doi.org/10.54660/IJMRGE.2023.4.5.930-935.
- Demir, L.** (2004). *İstatiksel deney tasarımı yöntemi ve bir tekstil işletmesinde uygulanması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 154563).
- Demircioğlu, M.** (2022). *Mısır bitkisinin genetiği değiştirilmiş organizma (GDO) analizinde gerçek zamanlı PCR (polimerase chain reaction) parametrelerinin merkezi kompozit tasarım ile optimizasyonu* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 765599).
- Elsoghlar, A. A., El-Gaby, M. S., Shabaan, M. A., Moharram, A. M., & Asmaey, M. A.** (2024). Eco-friendly dyeing of cotton fabrics using a blend of *Olea europaea* L. and *Ziziphus spina-christi* L. leaf extracts: Chemical profiling and color fastness properties. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(4), 207-213, doi.org/ 10.21608/ejchem.2023.232929.8538.
- Erdem İşmal, Ö.** (2019). Doğal boyama uygulamalarının değişen yüzü ve yenilikçi yaklaşımlar. *Yedi*, (22), 41-58, doi.org/10.17484/yedi.547726.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ertabak, D.** (2022). *İplik dayanımını etkileyen proses parametrelerinin gri Taguchi yöntemi ile optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.760313).
- Gencil, İ.** (2007). *Çok yanıtli problemlerin optimizasyonunda taguchi yönteminin kullanılması ve alkollü içkiler sektöründe bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.232737).
- Grifoni, D., Roscigno, G., Falco, E. D., Vece, A., Camilli, F., Sabatini, F., ... & 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, 1750-1759, doi.org/10.1007/s12221-020-1045-8.
- Haji, A., Nasiriboroumand, M., & Qavamnia, S. S.** (2018). Cotton dyeing and antibacterial finishing using agricultural waste by an eco-friendly process optimized by response surface methodology. *Fibers and Polymers*, 19, 2359-2364, doi.org/10.1007/s12221-018-8657-2.
- Haji, A., & Vadood, M.** (2023). Prediction of color coordinates of cotton fabric dyed with binary mixtures of madder and weld natural dyes using artificial intelligence. *Fibers and Polymers*, 24(5), 1759-1769, doi.org/10.1007/s12221-023-00184-x.
- Hamzaçebi, C., & Kutay, F.** (2003). Taguchi metodu: bir uygulama. *Teknoloji Dergisi*, 6(3-4), 7-17.
- Hasgül, Ö.** (2011). Ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde deney tasarımı: gıda sektöründe bir uygulama. *Journal of Management and Economics Research*, 9(15), 42-67.
- Hussain, H. N., Imtiaz, F., Sajid, A., Younas, U., Manzoor, Q., Mnif, W., ... & Ehsan, N.** (2024). Response surface optimized green approach for silk and cotton dyeing using Beta vulgaris peels extract as a dye and pomegranate rind as bio-mordant: Waste to craft. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 19, doi.org/10.1177/15589250241309010.
- Inprasit, T., Motina, K., Pisitsak, P., & Chitichotpanya, P.** (2018). Dyeability and antibacterial finishing of hemp fabric using natural bioactive neem extract. *Fibers and Polymers*, 19, 2121-2126, doi.org/10.1007/s12221-018-8518-z.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Inprasit, T., Pukkaio, 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(1), 6084127, doi.org/10.1155/2020/6084127.
- Iordache, O., Mitran, E. C., Sandulache, I., Memecica, M., Secareanu, L. O., Lite, C., & Perdum, E.** (2020). An overview on far-infrared functional textile materials. *In Proceedings of the 8th International Conference on Advanced Materials and Systems (ICAMS 2020)*. National R&D Institute for Textile and Leather, Bucharest, Romania.
- Jabeen, S., Ali, S., Nadeem, M., Arif, K., Qureshi, N., Shar, G. A., ... & Siddiqua, U. H.** (2019). Statistical Modeling for the Extraction of Dye from Natural Source and Industrial Applications. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(4), doi.org/10.15244/pjoes/85125.
- Karadağ, R.** (2001). Doğal boyamacılıkta kullanılan boyarmadde kaynakları ve mordan maddelerinin boyamaya etkisi. *Öneri Dergisi*, 4(16), 145-150, doi.org/10.14783/maruoneri.728223.
- Karadağ, R.** (2007). Doğal boyamacılık. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Geleneksel El Sanatları ve Mağazalar İşletme Müdürlüğü Yayınları No:3, Ankara.
- Karakoç, Ö.** (2006). *Deneylerin faktöriyel tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.185174).
- Ketema, A., & Worku, A.** (2023). Optimization of process conditions of cotton fabric dyeing with nettle leaf extract for antibacterial application using central composite design. *Journal of Natural Fibers*, 20(2), 2228485, doi.org/10.1080/15440478.2023.2228485.
- Khalid, I., Ali, S., Hussain, M. T., Ashra, R., Khan, A., & Ahmad, N.** (2019). Investigating the impact of hard water on natural dyeing of cotton fabric by *Tagetes erecta* flowers. *Journal of The Chemical Society of Pakistan*, 41(6), 788.
- Kök, D.** (2024). *Keçe cam elyaf karakteristikleriyle çekme mukavemetinin yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.878925).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kurtuldu, E., & Erdem İşmal, Ö.** (2019). Sürdürülebilir tekstil üretim ve tasarımında yeniden değer kazanan lif: kenevir. *SDÜ ART-E Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi*, 12(24), 694-718, doi.org/ 10.21602/sduarte.624485.
- Li, D., & Sun, Y.** (2024). Using gardenia pigment for ultrasonic natural dyeing of hemp fiber: A step towards sustainable dyeing. *Industrial Crops and Products*, 222, 119528, doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119528.
- Ltaief, S., Jabli, M., Ben Abdessalem, S., & Al-Ghamdi, Y. O.** (2022). Insights into cotton dyeing using Limoniastrum monopetalum leaves aqueous extract: extraction and dyeing processes optimization. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 10616-10629, doi.org/10.1080/15440478.2021.2002757.
- Ltaief, S., Jabli, M., Ben Abdessalem, S., Joyeux, C., & Harzallah, O.** (2023). Sustainable Dyeing of cotton fibers using aqueous extract of Citrullus colocynthis leaves: chemical characterization, and dyeing optimization process using response surface methodology. *Journal of Natural Fibers*, 20(2), 2198273, doi.org/10.1080/15440478.2023.2198273.
- Manyim, S., Kiprop, A. K., Mwasiagi, J. I., Achisa, C. M., & Odero, M. P.** (2022). Dyeing of cotton fabric with Euclea divinorum extract using response surface optimization method. *Research Journal of Textile and Apparel*, 26(2), 109-123, doi.org/ 10.1108/RJTA-10-2020-0115.
- Martí, M., Gisbert-Paya, J., Bonet-Aracil, M. Á., Jovančić, P., Lis, M. J., & Coderch, L.** (2021). Increased comfort of polyester fabrics. *Polymers*, 13(17), 3010.
- 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 Calendula officinalis. *Polymers*, 14(21), 4508, doi.org/10.3390/polym14214508.
- Mira, C., Díaz García, P., Montava Seguí, I. J., Gisbert Paya, J., & Bou Belda, E.** (2020). Influence of the size of tourmaline particles applied on polyester fabric on the release of negative ions.
- Montgomery, D.C.** (2017). *Design and Analysis of Experiments*, 9th Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nguyen, T. T., Nguyen, C. T., Vo, Q. A., Pham, P. T. H., & Thai, H.** (2024). Factors affecting dyeing and antibacterial behavior of cotton fabrics dyed with extract of *Diospyros mollis* Griff. *Cellulose*, 31(2), 1329-1352, doi.org/10.1007/s10570-023-05653-3.
- Olvera-Quintanar, E., García-Lapuente, J., Cruz-Moreno G., A., & Tapia-Mendoza, E.** (2025). Optimisation of purple dyeing with Mexican cochineal in cotton with multivariate analysis and the response surface method. *Coloration Technology*, 141(2), 1–14, doi.org/10.1111/cote.12822.
- Özcan, H., & Özgül, B.** (2019). Yeşil pazarlama ve tüketicilerin yeşil ürün tercihlerini etkileyen faktörler. *Türkiye Mesleki ve Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1), 1-18, doi.org/10.46236/jovosst.562230.
- Özden, E.** (2020). *Elektrostatik toz boya proses parametrelerinin deney tasarımı yöntemleri ile optimizasyonu ve endüstriyel uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.636096).
- 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, doi.org/10.1080/15440478.2020.1837328.
- Öztürk, F. D.** (2017). Disten cevherinin sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesinde etkin parametrelerin optimizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(4), 883-890.
- Pars, A.** (2024). Evaluation of the dyeability of hemp fabric with Anatolian black pine (*Pinus nigra* subsp. *Pallasiana*) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Textile Research Journal*, 94(7-8), 777-787, doi.org/10.1177/00405175231217997.
- Rotich, V., Wangila, P., & Cherutoi, J.** (2022). Colorimetric study of natural dye from *Beta vulgaris* peels and pomace on cellulosic substrate. In *Advances in Phytochemistry, Textile and Renewable Energy Research for Industrial Growth* (pp. 182-192). CRC Press, doi.org/ 10.1201/9781003221968-25.
- Phromphen, P.** (2023). Optimization of marigold flower dye using banana peel as a biomordant. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2153193, doi.org/10.1080/15440478.2022.2153193.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sayar, S.** (2023). *Antibakteriyel özellikli bitkilerle dokuma kumaşların boyanması* (Yüksek Lisans Tezi). Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.775553).
- Slama, N., Ben Ticha, M., Skhiri, W., Boudokhane, C., & Dhaouadi, H.** (2022). Development and optimization of a sustainable process assisted by microwave energy to dye cellulosic fabrics by juglans regia barks residues extract. *Sustainability*, 14(13), 7534, doi.org/10.3390/su14137534.
- Soybaş, M.** (2023). *Kenevir ve kenevir karışımlarının farklı teknikler ile tekstil tasarımında kullanılması üzerine deneysel bir çalışma* (Yüksek Lisans Tezi). Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.806631).
- Siddiqua, U. H., Ali, S., Hassan, G. Q., Malik, A., Noreen, S., & Andleeb, S.** (2023). Significance of Natural Colorant Extracted from Leaves of Murraya Exotica and Assessment of Dyeability on Cellulosic Fiber via Statistical Modeling. *Fibers and Polymers*, 24(6), 2055-2063, doi.org/10.1007/s12221-023-00210-y.
- 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, doi.org/10.1007/s12221-024-00724-z.
- Sun, Y. S., Qiu, B., & Li, Q. S.** (2013). The research of negative ion test method for fabric. *Advanced Materials Research*, 756, 138-140.
- Şahin, Ş.** (2019). *Taguchi yöntemi kullanılarak WC/CO, WC/CoCr HVOF kaplamanın optimizasyonu ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 548697).
- Şanyılmaz, M.** (2006). *Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde Taguchi yöntemi ile bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.182197).
- Taş, M.** (2024). *Farklı katalizör varlığında ve reaksiyon şartlarında perasetik asit eldesinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.879689).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Taylan, M., & Atlıhan, Ş.** (2018). Tekstil tasarımında doğal elyaf ve doğal boya kullanımı. *İdil Dergisi*, 7(43), 319-326, doi.org/10.7816 /idil-07-43-12.
- Topoyan, Z.** (2022). *Sürdürülebilir tekstiller bağlamında doğal boyalar ve deneysel eko tasarım çalışmaları*. (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 719691).
- Vithushika, K., Selvaskanthan, S., & Kirija, P.** (2024). Extraction of natural dye from flowers and dyeing cotton. *Sri Lankan Journal of Applied Sciences*, 3(01), 23-28.
- Wang, L., & Li, Y.** (2010). The Function and Health Care of Negative Ion Fibers and Textiles. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Information Technology and Scientific Management* (pp. 20-21).
- Wik, A., & Ellertsson Sandberg, L.** (2024). Natural dyeing of hemp-based yarns: Dyeing of hemp/cotton yarn with natural indigo with ultrasound assisted pretreatment for the application of denim.
- Xiao, S., Wei, T., Petersen, J. D., Zhou, J., & Lu, X.** (2023). Biological effects of negative air ions on human health and integrated multiomics to identify biomarkers: A literature review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(27), 69824-69836, doi.org/10.1007/s11356-023-27133-8.
- Xu, F., Zhang, Z., Zhao, Z., Ji, X., Liu, J., & Song, X.** (2024). Dyeing performance and color evaluation of cotton fabrics dyed with caesalpinia sappan l. and galla chinensis mill. Extract, and the evaluation of binary sequential dyeing method. *Fibers and Polymers*, 25(3), 1023-1046, doi.org/10.1007/s12221-024-00481-z.
- Xu, H., Yang, C., & Song, H. Y.** (2025). Eco-Friendly Dyeing and Functional Finishing of Organic Cotton Using Optimized Oolong Tea Stems (Agricultural Waste) Through Response Surface Methodology. *Molecules*, 30(3), 509, doi.org/10.3390/molecules30030509.
- Yalçındağ, Y.** (2021). *Gıda işletmelerinde taguchi yöntemi ile süreç iyileştirme ve bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.697249).
- Yan, X., Hong, L., Pei, S., Hamilton, A., Sun, H., Yang, R., ... & Yang, L.** (2021). A natural yellow colorant from Buddleja officinalis for dyeing hemp fabric. *Industrial Crops and Products*, 171, 113968, doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113968.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yang, R., Zhang, Y., Ranjitkar, S., Li, M., Guo, Y., Yan, X., ... & Yang, L.** (2021). Reusing wasteroot of *Rubia wallichiana* dyeing from Monpa of Tibet in China. *Scientific Reports*, 11(1), 14331, doi.org/10.1038/s41598-021-93848-8.
- Yen, M. S., Chen, C. W., Hsiao, C. N., & Kuo, M. C.** (2012). Medical effects of polyethylene terephthalate (PET) non-woven fabrics treated with bamboo activated charcoal. *African Journal of Biotechnology*, 11(50), 11116-11125.
- Yılmaz, F.** (2019). *Pamuklu kumaşlarda çeşitli bitkisel atıkların antimikrobiyal etkisi ile bazı yükseltgen maddelerin dezenfeksiyon etkisinin araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 577890).
- Yılmaz, U.** (2024). *Mısır ekmeğinin hacim verimini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde yanıt yüzey yönteminin kullanılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yüksek Öğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.890133).
- Zhang, H. X., Tao, R., Zhu, C. Y., Li, Y. Q., & Bi, J. W.** (2011). Study on Influencing Factors and Wearability of Negative oxygen ions Home Textiles. *Advanced Materials Research*, 332, 1118-1121, doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.332-334.1118.
- Zhang, Q., Yang, C., Gu, M., Qin, S., Yin, J., Wang, X., & Zhang, W.** (2024). Laccase-Catalyzed the Polymerization of *Portulaca Oleracea* L. Extract as a Precursor for Ecological Dyeing of Pure Cotton Fabric. *Fibers and Polymers*, 25(8), 3005-3019, doi.org/10.1007/s12221-024-00620-6.
- Zhou, Y., Tawiah, B., Wang, L., & Li, Q.** (2022). Enhancing the affinity and adsorption efficiency of *Glochidion ericarpum* Champ leave extract to cotton for colouristic and functional properties integrating trimethyl chitosan and ultrasonic technique. *Industrial Crops and Products*, 186, 115255, doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115255.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Esra MERT

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2023-2025
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2015-2019
Lise	İMKB Gürsu Anadolu Lisesi	2011-2015

Yayın Listesi

Mert, E., Karaoğlan, A.D. (2025). Taguchi metodu ile doğal boyalı fonksiyonel tekstillerin geliştirilmesi, *8.Uluslararası Akdeniz Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, pp. 345, Ağustos 13-18, Antalya, Türkiye. (Özet Sunum) [**Tezden türetilmiştir**].