

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR TEKSTİL FİRMASINDA ÖRME BÖLÜMÜNDE
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN GRİ İLİŞKİ ANALİZİ
TABANLI TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ÇOK AMAÇLI
KARAR VERME UYGULAMASI**

**Hazırlayan
Hatice İNCİ GÖMEÇ**

**Danışman
Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2025
KAYSERİ**

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

BİR TEKSTİL FİRMASINDA ÖRME BÖLÜMÜNDE
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN GRİ İLİŞKİ ANALİZİ
TABANLI TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ÇOK AMAÇLI
KARAR VERME UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Hatice İNCİ GÖMEÇ

Danışman
Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP (FYL-2024-14216) kodlu proje ile desteklenmiştir.

Temmuz 2025
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hatice İNCİ GÖMEÇ

İmza

“Bir Tekstil Firmasında Örme Bölümünde Sürdürülebilirlik İçin Gri İlişki Analizi Tabanlı Taguchi Yöntemi İle Çok Amaçlı Karar Verme Uygulaması” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Hatice İNCİ GÖMEÇ

İmza

Danışman

Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT

İmza

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Pro. Dr. Lale ÖZBAKIR

İmza

TEŞEKKÜR

Akademik çalıŐmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, danışman hocam Prof. Dr. Ercan Şenyiğit'e, çalıŐmam boyunca gerekli işletme imkanlarını sunan ürün geliştirme müdürüme, tekstil bilgilerini benden esirgemeyen bölüm amirime, beni her alanda destekleyen ve arkamda olan anneme, babama, kardeşime ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hatice İNCİ GÖMEÇ

Temmuz 2025, KAYSERİ

**BİR TEKSTİL FİRMASINDA ÖRME BÖLÜMÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK
İÇİN GRİ İLİŞKİ ANALİZİ TABANLI TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ÇOK
AMAÇLI KARAR VERME UYGULAMASI**
Hatice İNCİ GÖMEÇ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2025
Danışman: Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT

ÖZET

Bu çalışmada, örme kumaşlarda yaygın olarak karşılaşılan ve ürün kalitesini doğrudan etkileyen üç temel performans özelliği olan boncuklanma, aşınma ve farklı sıcaklıklarda yıkama sonrası meydana gelen boyutsal değişim, eş zamanlı olarak optimize edilmiştir. Çalışmanın amacı, bu çoklu kalite karakteristiklerinin aynı anda en uygun seviyelere getirilmesiyle hem kullanıcı memnuniyetini artırmak hem de tekstil ürünlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktır. Bu kapsamda, Gri İlişki Analizi (GİA) ile entegre edilmiş Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada beş temel faktör ve her biri için iki farklı düzey belirlenmiştir: iplik üretim metodu (ring, vorteks), iplik hammaddesi (viskon, PES), iplik numarası (20/1 Ne, 30/1 Ne), kumaş sıklığı (10 ilmek/cm, 14 ilmek/cm) ve desen yoğunluğu (%2.57, %17.21). Deneysel çalışmalar sonucunda toplam 16 farklı örme kumaş numunesi üretilmiş ve bu numunelere kalite testleri uygulanmıştır. GİA tabanlı Taguchi analizi sonucunda en yüksek gri ilişki derecesini veren optimum parametre kombinasyonu, iplik üretim metodu olarak ring, iplik hammaddesi olarak PES, iplik numarası olarak 30/1 Ne, kumaş sıklığı olarak 10 ilmek/cm ve desen yoğunluğu olarak %17,21 şeklinde belirlenmiştir. Boncuklanma, aşınma ve deformasyona karşı dirençli kumaşların üretilmesi, ürün ömrünü uzatarak tüketim sıklığını azaltmakta, böylece enerji, su ve hammadde gibi kaynakların verimli kullanımına katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma sadece teknik performans açısından değil, çevresel sürdürülebilirlik perspektifinden de değerli çıktılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Taguchi Yöntemi, Gri İlişki Analizi, Eş Zamanlı Optimizasyon, Örme Kumaşlarda Boncuklanma, Sürdürülebilirlik.

**APPLICATION OF MULTI-OBJECTIVE DECISION MAKING WITH GREY
RELATIONSHIP ANALYSIS BASED TAGUCHI METHOD FOR
SUSTAINABILITY IN KNITTING DEPARTMENT OF A TEXTILE COMPANY**

Hatice İNCİ GÖMEÇ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2025

Supervisor: Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT

ABSTRACT

In this study, three key performance properties that are commonly encountered in knitted fabrics and directly affect product quality, namely pilling, abrasion resistance, and dimensional change after washing at different temperatures, were simultaneously optimized. The aim of the study was to enhance user satisfaction and contribute to the sustainability of textile products by bringing these multiple quality characteristics to their most desirable levels concurrently. For this purpose, the Taguchi experimental design method integrated with Grey Relational Analysis (GRA) was employed. Five main factors were identified, each at two levels: yarn production method (ring, vortex), yarn material (viscose, PES), yarn count (20/1 Ne, 30/1 Ne), fabric density (10 stitches/cm, 14 stitches/cm), and pattern density (2.57%, 17.21%). As a result of the experimental studies, a total of 16 different knitted fabric samples were produced and subjected to quality tests. The GRA-based Taguchi analysis revealed that the optimum parameter combination yielding the highest grey relational grade was yarn production method as ring, yarn material as PES, yarn count as 30/1 Ne, fabric density as 10 stitches/cm, and pattern density as 17.21%. The production of fabrics resistant to pilling, abrasion, and deformation extends product lifespan, reduces consumption frequency, and thus contributes to the efficient use of resources such as energy, water, and raw materials. In conclusion, this study provides valuable outcomes not only in terms of technical performance but also from the perspective of environmental sustainability.

Keywords: Taguchi Method, Grey Relational Analysis, Simultaneous Optimization, Pilling in Knitted Fabrics, Sustainability.

İÇİNDEKİLER

BİR TEKSTİL FİRMASINDA ÖRME BÖLÜMÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN GRİ İLİŞKİ ANALİZİ TABANLI TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ÇOK AMAÇLI KARAR VERME UYGULAMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Örme Kumaş	3
1.2. Kalite Testleri	4
1.2.1. Pilling (Boncuklanma) Testi.....	4
1.2.2. Abrasyon (Aşınma) Testi.....	6
1.2.3. Yıkama Sonrası Boyut Değişimi Testi.....	7
1.3. Problem Durumu	8
1.4. Araştırmanın Amacı	9
1.5. Araştırmanın Önemi.....	10
1.6. Literatür Araştırması	11

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Materyaller	24
2.1.1. İplikler.....	24
2.1.2. Örme Kumaş Üretimi	25
2.2. Yöntem	26

2.2.1. Taguchi Metodu	27
2.2.2. Gri İlişki Analizi (GİA).....	34
3. BÖLÜM	
BULGULAR	
3.1. Araştırma Modeli.....	39
3.1.1. Bağımlı Değişkenler	39
3.1.2. Optimizasyon Süreci	40
3.1.3. Elde Edilen Optimum Sonuçlar	40
3.1.4. Optimum Parametre Değerleri İle Elde Edilen Numunenin Kalite Test Sonuçları.....	41
3.1.5. Faktörlerin Kalite Özelliklerine Etkisi.....	42
3.1.6. Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirme.....	42
4. BÖLÜM	
TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER	
4.1. Tartışma	44
4.2. Sonuç ve Öneriler.....	46
KAYNAKÇA	48
ÖZGEÇMİŞ.....	55

KISALTMALAR

GA	: Gri İlişki Analizi
OA	: Orthogonal Arrays
PES	: Polyester
TM	: Taguchi Metodu
GRA	: Grey Relational Analysis
Cm	: Santimetre
ISO	: International Organization for Standardization
ASTM	: American Society for Testing and Materials
TS	: Türk Standardı
AATCC	: American Association of Textile Chemists and Colorists
EN	: European Norm
NE	: Number English
dB	: Desibel
S/N	: Signal-to-Noise Ratio (Sinyal-Gürültü Oranı)
30 °C	: 30 derece
60 °C	: 60 derece

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.	Deney Tasarım Kontrol Faktörleri Ve Seviyeleri	28
Tablo 2.	L16 Deney Koşulları	29
Tablo 3.	L16 Ortogonal Dizisi ve S/N Oranları.....	29
Tablo 4.	Normalizasyon Tablosu.....	35
Tablo 5.	Gri İlişkisel Kat Sayı	36
Tablo 6.	Gri İlişkisel Dereceler	37
Tablo 7.	GİA Taguchi Entegrasyonu Tablosu.....	38
Tablo 8.	Eş zamanlı Optimizasyon Faktör Düzeyleri.....	38
Tablo 9.	Optimum Numune Test Sonucu.....	38

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Örme Kumaş İlmek Görünümü.....	3
Şekil 2.	Kumaş Üzerindeki Boncuklanma Görünümü	5
Şekil 3.	Boncuklanma Oluşumu	5
Şekil 4.	Çalışmada Kullanılan Martindale Cihazı	6
Şekil 5.	İş Akış Şeması.....	9
Şekil 6.	Az Yoğun Örme Kumaş.....	26
Şekil 7.	Çok Yoğun Örme Kumaş.....	26
Şekil 8.	TM Parametre Tasarımı	27
Şekil 9.	Pilling S/N Oran Grafiği	30
Şekil 10.	Abrasyon S/N Oran Grafiği	31
Şekil 11.	30°'deki Boyut Değişimi S/N Oran Grafiği.....	31
Şekil 12.	60°'deki Boyut Değişimi S/N Oran Grafiği.....	32
Şekil 13.	GİA Aşamaları	34

GİRİŞ

Günümüzde tekstil sektörü, çevresel ve sosyal sorunlar açısından büyük bir baskı altında kalmaktadır. Üretim süreçleri, enerji tüketimi, su kullanımı ve atık yönetimi gibi faktörler, sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Tekstil sektöründe, özellikle örme kumaş üretimi, bu zorluklarla başa çıkmak için yeni stratejiler geliştirmeyi gerektirmektedir. Sürdürülebilirlik, yalnızca çevresel faktörler değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutları da içeren çok yönlü bir kavramdır [1].

Tekstil endüstrisi, dünya çapında büyük bir ekonomik öneme sahip olup, giyim, ev tekstili ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok farklı alanda yer almaktadır. Özellikle örme kumaşlar, esneklikleri, rahatlıkları ve çeşitli kullanım alanları ile yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak, örme kumaşların kalitesi, sadece estetik değil, aynı zamanda fonksiyonel özellikler açısından da önemlidir. Pilling (boncuklanma), abrasyon (aşındırma) ve boyut değişimi gibi faktörler, kumaşların kullanım süresini ve dayanıklılığını etkileyen temel parametrelerdir. Bu parametrelerin kontrol edilmesi ve optimize edilmesi, sürdürülebilir üretim süreçleri açısından kritik rol oynamaktadır [2].

Bu bağlamda, kumaşların uzun ömürlü olması, daha az sıklıkla değiştirilmesi gerektiği anlamına gelir, bu da hem üretim maliyetlerini azaltır hem de çevresel etkileri minimize eder. Çevre dostu üretim tekniklerinin ve uzun ömürlü kumaşların kullanımı, sürdürülebilir tekstil üretiminin temel unsurlarıdır. Bugün, çevresel etkilerin azaltılması ve doğal kaynakların korunması, tekstil endüstrisinde öncelikli hedeflerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır [3]. Bunun yanı sıra, dayanıklı kumaşların üretimi, tekstil atıklarının azaltılmasına ve geri dönüşüm süreçlerinin hızlanmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle tekstil mühendisliğinde, çoklu kalite karakteristiklerinin optimize edilmesi gereken durumlarda, GİA yöntemi, Taguchi yönteminin deneysel tasarımına entegre edilerek, süreçlerin verimli ve etkili bir şekilde iyileştirilmesini sağlamaktadır [4].

Bu çalışmada, örme kumaşlarda pilling, abrasyon ve 30° ile 60°'deki boyut değişimlerinin eş zamanlı optimizasyonunu gerçekleştirmek amacıyla GİA tabanlı Taguchi yöntemi kullanılacaktır. GİA yöntemi (Gri İlişki Analizi), çoklu performans özelliklerinin birleştirilmesi gereken durumlarda etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışma, kumaşın üretiminde etkili olan beş ana faktörün optimize edilmesini hedeflemektedir; iplik üretim metodu (ring ve vorteks), iplik hammaddesi (viskon ve pes), iplik numarası (20/1 ve 30/1), kumaş sıklığı (10 ilmek/cm ve 14 ilmek/cm) ve desen yoğunluğu (%2.57 ve %17.21). Bu faktörlerin her birinin farklı düzeylerinde yapılan deneysel analizlerle, pilling, abrasyon ve boyut değişimi kalite testlerinin optimizasyonu sağlanacaktır. Ayrıca, Taguchi yönteminin deneysel tasarımı ve GİA, bu faktörlerin etkilerini daha net bir şekilde ortaya koyacak ve en verimli sonuçları elde etmek için gerekli parametreleri belirleyecektir.

Sürdürülebilirlik, modern tekstil endüstrisinin temel ilkelerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Çevresel etkiler, üretim süreçlerinin her aşamasında minimize edilmelidir. Özellikle, kumaşların kullanım ömrünün uzatılması, atık miktarını azaltmak ve çevresel etkileri minimize etmek için oldukça önemlidir. Bu çalışma, tekstil ürünlerinin yaşam döngüsünü uzatarak, sürdürülebilir üretim süreçlerine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Dayanıklı ve uzun ömürlü kumaşlar, tüketim sıklığını azaltarak çevre dostu bir çözüm sunmaktadır. Aynı zamanda, bu tür kumaşların üretiminde kullanılan malzemelerin daha az kaynak tüketmesine ve doğal kaynakların korunmasına yardımcı olmaktadır [5].

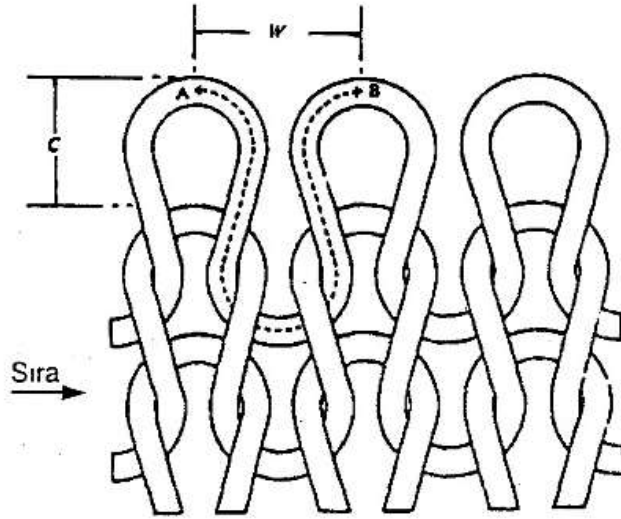
Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan Taguchi yöntemi ve GİA, örme kumaşlarda pilling, abrasyon ve boyut değişimi gibi kritik parametrelerin eş zamanlı olarak optimize edilmesine olanak sağlayarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Örme Kumaş

Örme kumaşlar, ilmeklerin belirli bir düzen oluşturmasıyla elde edilen tekstil yüzeyleridir. Dokuma kumaşlardan farklı olarak, örme kumaşlar esneklik, konfor ve hava geçirgenliği gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır [6]. Örme kumaşlar, giyim (tişört, spor kıyafetler, esnek kıyafetler vb.), teknik tekstil (medikal eşyalar otomotiv döşemeleri, koruyucu giysiler vb.), ev tekstili (çarşaf, yatak kumaşı, döşemelik kumaş vb.) gibi geniş kullanım alanlarına sahiptir.



Şekil 1. Örme Kumaş İlmek Görünümü [7]

Örme kumaşların dayanıklılığını, kalitesini ve kullanım amacına uygunluğunu değerlendirmek için kalite performans testleri yapılmaktadır. Tekstil ürünlerinin son kullanıcıya ulaşmadan önce belirli standartlara uygun olup olmadığını test etmek, üreticilere ve tüketicilere önemli avantajlar sağlamaktadır.

Özellikle örme kumaşlar, yapılarından dolayı mekanik ve fiziksel etkilere daha duyarlı olup, boncuklanma (pilling), aşınma (abrasyon) ve boyut değişimi gibi problemlerle karşılaşmaktadırlar [8,9]. Bu nedenle, bu parametrelerin belirlenmesi için uluslararası standartlara uygun testler gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, örme kumaşlara uygulanan pilling, abrasyon ve boyut değişimi test değerlerinin eş zamanlı optimizasyonu için GİA tabanlı TM kullanılmıştır.

1.2. Kalite Testleri

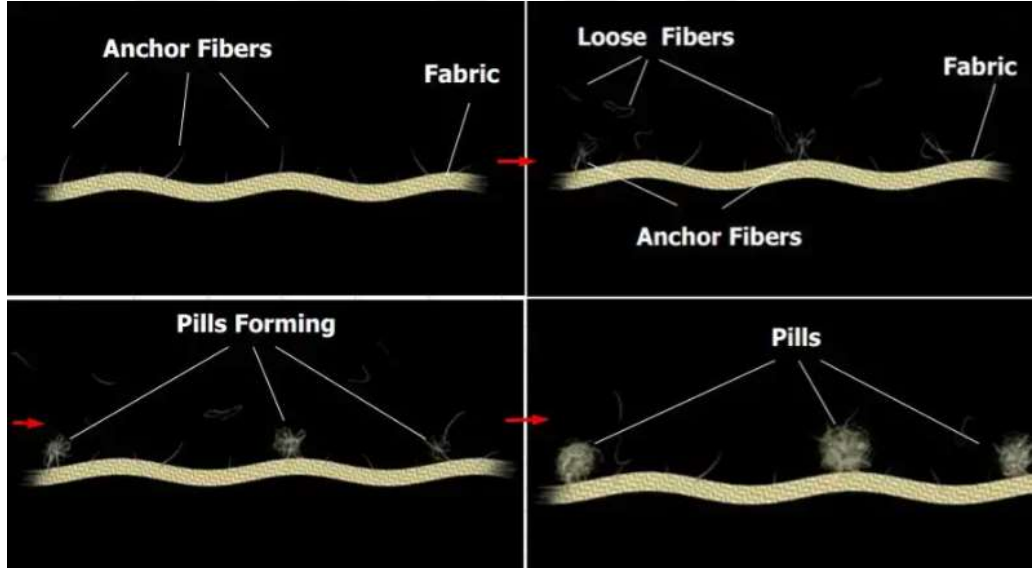
Tekstil endüstrisinde kaliteyi belirleyen en önemli unsurlardan biri, kumaşların kullanım süresi boyunca maruz kaldıkları fiziksel etkilere karşı gösterdikleri dirençtir. Bu bağlamda, örme kumaşların performansını değerlendirmek amacıyla pilling (boncuklanma), abrasyon (aşınma) ve yıkama sonrası boyutsal değişim testleri uygulanmaktadır. Pilling testi, kumaş yüzeyinde zamanla oluşan lif yumaklarının belirlenmesine yardımcı olurken, abrasyon testi aşınmaya karşı dayanıklılığı ölçerek kumaşın uzun ömürlülüğünü değerlendirmektedir. Yıkama sonrası boyutsal değişim testi ise kumaşın farklı sıcaklıklardaki yıkamalardan sonra formunu ve ölçülerini ne kadar koruyabildiğini analiz etmektedir. Bu testlerden elde edilen veriler, tekstil ürünlerinin dayanıklılığına yönelik önemli ipuçları sunarak, sürdürülebilir ve yüksek kaliteli kumaş üretimine katkı sağlamaktadır.

1.2.1. Pilling (Boncuklanma) Testi

Pilling (boncuklanma), kumaş yüzeyinde küçük lif yumaklarının oluşması ile kendini gösteren bir aşınma problemidir [10]. Bu durum özellikle yıkama, sürtünme ve mekanik gerilmeler sonucunda meydana gelir ve kumaşın estetik görünümünü olumsuz etkilemektedir [6].



Şekil 2. Kumaş Üzerindeki Boncuklanma Görünümü



Şekil 3. Boncuklanma Oluşumu [11]

Boncuklanma testi için farklı yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada Martindale Pilling Testi (ISO 12945-2, ASTM D4970) yöntemi kullanılmıştır. Pilling testi yapılırken kumaş numunesi, aşındırıcı bir yüzeye yerleştirilerek dairesel hareketlerle sürtünmeye maruz bırakılmaktadır. Test sonrası kumaş yüzeyi 1'den (çok kötü) 5'e (çok iyi) kadar derecelendirilerek değerlendirilmektedir [8].



Şekil 4. Çalışmada Kullanılan Martindale Cihazı

Çalışmada abrasyon ve pilling testleri için Martindale Test Cihazı işletme genelinde kullanıldığı için kullanılmıştır.

Örme kumaşlarda boncuklanmayı etkileyen bazı faktörler vardır. Bu faktörlerin başında iplik büküm yöntemi gelmektedir. Bu nedenle iplik üretim metodu bu çalışmada dikkate alınan faktörlerdendir. Boncuklanmayı etkileyen bir başka faktör kumaş konstrüksiyonudur. Sıkı örme yapılar gevşek yapılara göre daha az boncuklanma göstermektedir [6].

1.2.2. Abrasyon (Aşınma) Testi

Abrasyon, kumaşın mekanik sürtünme nedeniyle aşınma, lif kaybı ve delik oluşumu gibi değişimler göstermesidir [8]. Aşınma dayanımı, tekstil ürünlerinin kullanım ömrü açısından kritik bir parametredir.

Aşınma testi için farklı yöntemler yer almaktadır. Bu çalışmada numunelerin yapıldığı işletmede Martindale Abrasyon Testi (ISO 12947, ASTM D4966) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, kumaş numunesi, kontrollü basınç altında dairesel hareketlerle sürtünmeye maruz bırakılmaktadır. Daha sonra kumaşın lif kaybı, incelme veya delinme durumu analiz edilmektedir [10].

Boncuklanma gibi abrasyonda etkileyen faktörler vardır. Kumaşta kullanılan ipliğin yapısı bu faktörlerin başında gelmektedir. Naylon gibi sentetik lifler, pamuk gibi doğal

liflere göre daha yüksek aşınma direncine sahiptir. Bu nedenle iplik hammaddesi bu çalışmada dikkate alınan faktörlerdendir. Abrasyonu etkileyen başka bir faktörde kumaş yoğunluğudur. Pillingde de olduğu gibi sık dokulu veya örme kumaşlar daha dayanıklıdır [10].

Abrasyon testi Martindale metodu kullanılarak yapılmaktadır. İşletmede uygulanan abrasyon testi TS EN ISO 12947-1 standartları kapsamında gerçekleştirilmektedir. Martindale metodu kumaş ile kaplanmış iki metal dairenin Lissajous hareketi (dairesel sürtünme hareketi) ile ağırlık uygulanarak plakaların birbirine sürtünerek kumaşın aşındırılmasıdır.

1.2.3. Yıkama Sonrası Boyut Değişimi Testi

Boyut değişimi, kumaşın yıkama, kurutma veya kullanım sonrası çekme veya genişleme göstermesi olarak tanımlanır [6]. Özellikle pamuklu ve viskon gibi lifler suyu emdikten sonra büzülme eğilimi göstermektedir.

Boyut değişimi testi için farklı yöntemler yer almaktadır. Bu çalışmada Yıkama Sonrası Çekme Testi (ISO 5077, AATCC 135) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, kumaş belirlenen sıcaklıkta yıkama ve kurutma işlemlerine tabi tutulduktan sonra ölçülen boyut değişimi (cm) hesaplanarak raporlanmaktadır [8,12].

Çalışmanın yapılabilmesi için destek alınan firmada, boyut değişimi testinde üç farklı derecede (30,60,90) yıkama sonrası çekme testi yapılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan boyut değişimi testleri 30 °C ve 60 °C için yapılmıştır.

Pilling ve abrasyon testlerinde olduğu gibi boyut değişimini de etkileyen faktörler vardır. Kumaşları oluşturan iplik türü boyut değişimini de etkilemektedir. Örneğin pamuk ve viskon lifleri çekmeye daha yatkındır. Boyut değişimini etkileyen başka bir faktör ise kumaşın örgü yapısıdır. Örme kumaşlar, dokuma kumaşlara kıyasla daha fazla esneme ve çekme göstermektedir [10].

Örme kumaşların performans testleri, sürdürülebilirlik, kalite kontrolü, dayanıklılık ve tüketici memnuniyeti açısından kritik öneme sahiptir. Pilling, abrasyon ve boyut değişimi testleri sayesinde kumaşların kullanım ömrü, estetik görünümü ve mekanik dayanımı değerlendirilmektedir. Pilling, abrasyon ve boyut değişimi testlerini etkileyen faktörlerin

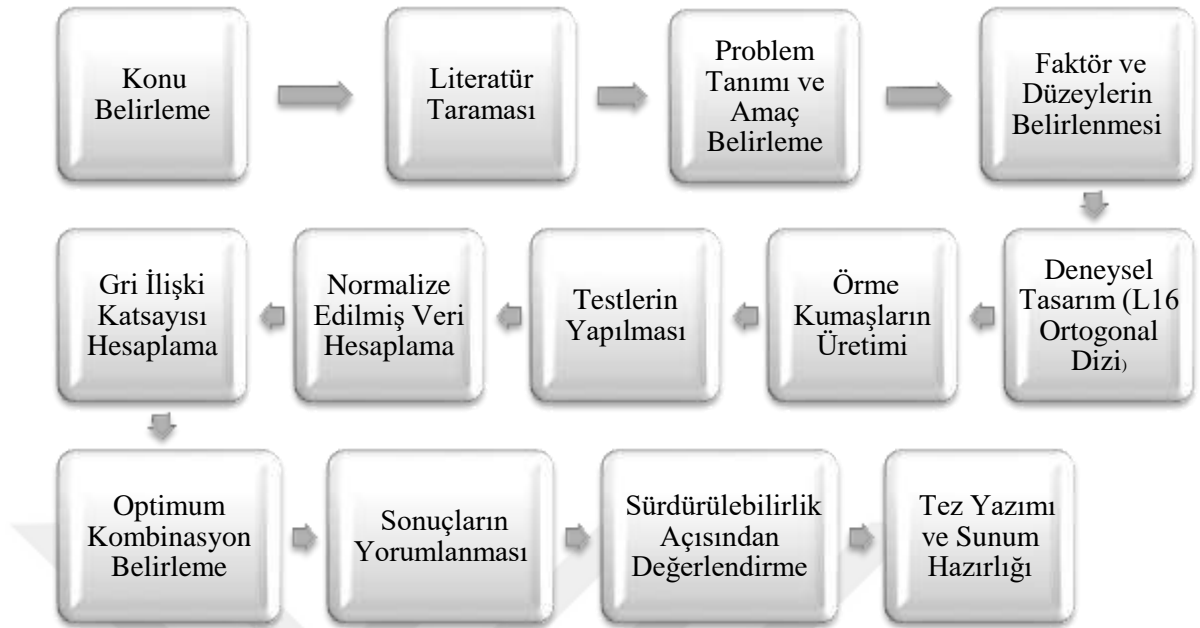
ve düzeylerinin eş zamanlı optimizasyonu ile elde edilecek örme kumaş ile hem üretici hem de tüketici ihtiyaçları karşılanacaktır. Üretici firma açısından test sonuçlarının standartlara uygun olması yeniden üretim için gerekli olan maliyetleri ortadan kaldıracaktır. Ayrıca müşteri şikayetlerinin sayısındaki düşüş sayesinde firmanın prestiji artacaktır. Tüketici açısından sürdürülebilir ve daha kaliteli örme kumaşlar ile yaşam standartları kaliteli hale gelecektir.

1.3. Problem Durumu

Günümüzde çevresel etkilerin artması, doğal kaynakların tükenme riski ve sürdürülebilir üretim anlayışının giderek önem kazanması, tekstil sektöründe üretim süreçlerinin yeniden gözden geçirilmesini gerekli kılmaktadır. Özellikle örme kumaş üretiminde ürün kalitesini doğrudan etkileyen boncuklanma (pilling), aşınma dayanımı ve yıkama sonrası boyutsal değişim gibi performans kriterleri hem tüketici memnuniyetini sağlamak hem de rekabet gücünü artırmak açısından kritik öneme sahiptir.

Bu kalite özelliklerinin birbirinden bağımsız şekilde iyileştirilmesi yeterli olmamakta; üretim sürecinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması ve çoklu kalite karakteristiklerinin eş zamanlı olarak optimize edilmesi gerekmektedir. Ancak geleneksel analiz ve iyileştirme yöntemleri, çoklu kriterlerin birlikte değerlendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu durum, çok amaçlı karar verme tekniklerinin tekstil üretim süreçlerine entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır.

Bu bağlamda, Taguchi yöntemi, deney tasarımı açısından sistematik ve ekonomik çözümler sunarken; Gri İlişki Analizi (GİA), çoklu kalite karakteristiklerinin birlikte değerlendirilmesine olanak tanıyan etkili bir analiz yöntemidir. Bu çalışmada, örme kumaş üretiminde hem kalite performansının artırılması hem de sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağlanması amacıyla GİA tabanlı Taguchi yönteminin uygulanması planlanmaktadır. Böylece, üretim parametreleri optimize edilerek çevresel, ekonomik ve teknik açıdan daha verimli bir üretim süreci oluşturulması hedeflenmektedir. Şekil 5'te bu çalışma için iş akış şeması yer almaktadır.



Şekil 5. İş Akış Şeması

1.4. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada, örme kumaşların performans özelliklerinin (pilling, abrasyon dayanımı ve boyut değişimi) iyileştirilmesi yoluyla ürün ömrünün uzatılması ve böylece tekstil sektöründeki sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunulması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, farklı iplik üretim metotları, iplik hammaddeleri (viskon ve polyesterin farklı sürdürülebilirlik yönleri dikkate alınarak), iplik numaraları, kumaş sıklıkları ve desen yoğunluklarının, örme kumaşların pilling abrasyon özellikleri ile 30 °C ve 60 °C sıcaklıklardaki yıkama sonrası boyut değişimleri üzerindeki etkileri Gri İlişki Analizi tabanlı Taguchi yöntemi ile eş zamanlı olarak optimize edilecektir.

Çalışmanın sürdürülebilirlik açısından potansiyel katkıları şunlardır:

- **Kaynak Verimliliği:** Optimum üretim parametrelerinin belirlenmesiyle daha dayanıklı ve uzun ömürlü kumaşlar üretilerek, tekrar eden tüketimin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.
- **Atık Azaltımı:** Ürün ömrünün uzaması, tekstil atıklarının azaltılmasına yardımcı olacaktır.

- Çevresel Etki Azaltımı: Hammadde seçimi ve üretim süreçlerinin optimizasyonu yoluyla çevresel ayak izinin düşürülmesine dolaylı olarak katkıda bulunacaktır.

Bu araştırma sonucunda elde edilecek bulgular, tekstil üreticilerine hem yüksek performanslı hem de sürdürülebilirlik ilkelerine uygun örme kumaşların geliştirilmesi için bilimsel bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir.

1.5. Araştırmanın Önemi

Tekstil endüstrisinde örme kumaşlar, esneklikleri, konfor seviyeleri ve estetik açıdan sundukları çeşitlilik nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, pilling (boncuklanma), abrasyon (aşınma) ve yıkama sonrası boyutsal değişim gibi performans kriterleri, örme kumaşların kalitesini ve tüketici memnuniyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bağlamda, tekstil ürünlerinin performansını optimize etmek için Taguchi yöntemi gibi istatistiksel deney tasarım yöntemlerinin kullanılması, maliyet etkin çözümler sunması açısından büyük bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada, 5 farklı faktör ve her biri için belirlenen 2 farklı düzey üzerinden GİA tabanlı Taguchi yöntemi kullanılarak örme kumaşlarda pilling, abrasyon ve 30 ile 60 derecede yıkama sonrası boyutsal değişim gibi kritik kalite özelliklerinin eş zamanlı optimizasyonu gerçekleştirilmektedir. Kullanılan faktörler arasında iplik üretim metodu, iplik hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı ve desen yoğunluğu yer almaktadır. Bu faktörlerin kumaş kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, sektörde hem kalite kontrol süreçlerinin iyileştirilmesine hem de optimum ürün geliştirme stratejilerine katkı sağlayacaktır.

Taguchi yöntemi, deney tasarımındaki etkin kullanımı ve optimum sonuçları belirleme kapasitesi nedeniyle tekstil sektöründe giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu yöntem, deneylerde parametre optimizasyonunu sağlayarak ürün geliştirme sürecinde verimliliği artırmakta ve minimum maliyetle maksimum kaliteyi elde etmeye yardımcı olmaktadır.

Ayrıca, GİA yöntemi, birden fazla kalite karakteristiğinin aynı anda optimize edilmesini sağlayarak geleneksel tek yanıtli analiz yaklaşımlarından farklılaşmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma hem literatüre bilimsel katkı sağlamakta hem de tekstil sektöründe uygulanabilir, yenilikçi ve etkili bir optimizasyon modeli sunmaktadır.

Sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, bu çalışmanın elde ettiği sonuçların tekstil sektöründe önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Kumaşların aşınma ve boncuklanma dayanımının artırılması, kullanım ömrünün uzamasına yardımcı olacak ve böylece sürdürülebilir tekstil üretimine katkıda bulunacaktır. Özellikle dayanıklılığı artırılmış örme kumaşlar, tekstil atıklarının azaltılmasına ve uzun ömürlü giysilerin teşvik edilmesine olanak tanıyacaktır. Bu bağlamda, çalışmanın sürdürülebilir üretim stratejileri açısından da önemli bir rehber niteliği taşıdığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, çalışmanın bulgularının tekstil sanayinde ürün tasarımı, kalite kontrol ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesi açısından önemli katılımlar sunması beklenmektedir. Bu bağlamda hem akademik hem de sektörel açıdan çalışmanın anlamlı bir yere sahip olduğu düşünülmektedir.

1.6. Literatür Araştırması

Tekstil sektörü, hammadde üretimi, işleme, tüketim ve atık yönetimi süreçleri boyunca çevresel ve sosyal açıdan önemli etkilere sahip bir sektördür [13]. Artan küresel nüfus ve tüketim alışkanlıkları, doğal kaynakların tükenmesi, enerji ve su kullanımı, kimyasal kirlilik ve atık oluşumu gibi sürdürülebilirlik sorunlarını daha da belirgin hale getirmektedir [14]. Bu nedenle, tekstil üretiminde sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesi ve çevresel ayak izinin azaltılması büyük önem taşımaktadır.

Örme kumaşlar da üretim süreçlerinde kullanılan hammaddeler (örneğin, konvansiyonel pamuk üretimi, sentetik liflerin petrokimyasal kaynakları), enerji yoğun üretim aşamaları ve kimyasal işlemler nedeniyle çevresel etkilere neden olabilmektedir [15]. Aynı zamanda, tekstil ürünlerinin kullanım ömrü boyunca dayanıklılığı ve uzun süreli kullanımı da sürdürülebilirlik açısından kritik bir faktördür. Kumaşlarda meydana gelen boncuklanma (pilling) ve aşınma (abrasyon) gibi yüzey bozulmaları, ürünlerin kullanım ömrünü kısaltarak daha sık tüketime ve dolayısıyla daha fazla kaynak kullanımına yol açabilmektedir [8]. Benzer şekilde, yıkama sonrası boyut değişimleri de ürünlerin kullanım konforunu azaltarak erken terkedilmelerine neden olabilmektedir. Literatürde, sürdürülebilir tekstil üretimi için çeşitli yaklaşımlar önerilmektedir. Bunlar arasında organik ve geri dönüştürülmüş hammaddelerin kullanımı, su ve enerji tasarruflu üretim teknolojileri, zararlı kimyasalların azaltılması veya ikamesi ve atık yönetimi stratejileri yer almaktadır [16]. Ayrıca, tekstil ürünlerinin dayanıklılığını ve kullanım ömrünü

artırmaya yönelik araştırmalar da sürdürülebilirlik çabalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır [17].

Şenyiğit ve arkadaşları yaptıkları çalışmada iplik üretim sürecinde kalite karakteristiklerinin optimizasyonu amacıyla Taguchi yöntemi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemlerinin birlikte kullanımını ele almaktadır. Çalışmada, iplik mukavemeti, kopma uzaması ve düzgünsüzlük gibi kritik kalite parametreleri üzerine farklı üretim değişkenlerinin etkisini incelenmektedir. Araştırma kapsamında, iplik numarası, eğirme yöntemi ve hammadde bileşimi gibi faktörlerin, kalite üzerinde anlamlı bir farklılık yaratıp yaratmadığı istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, vorteks ipliklerin kopma dayanımı açısından ring ipliklere göre daha düşük performans sergilediğini, ancak düzgünsüzlük açısından daha tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Çalışma, iplik üretim süreçlerinde daha verimli ve kaliteli üretim için optimum üretim parametrelerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır [18].

Gülas ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı iplik hammaddeleri, iplik üretim yöntemleri ve kumaş konstrüksiyonlarının örme kumaşların fiziksel performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, pilling, aşınma direnci ve yıkama sonrası boyutsal değişim gibi kritik kalite özellikleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, viskon ve polyester ipliklerin ring ve vorteks eğirme sistemleri ile üretildiği kumaşlar test edilmiştir. Analiz sonuçları, iplik üretim yönteminin kumaş aşınma direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, ayrıca yoğun desen kullanımının boyutsal stabiliteyi olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, sürdürülebilir tekstil üretimi açısından kumaş ömrünün uzatılması ve daha dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi adına önemli çıktılar sunmaktadır [19].

Our Common Future (1987) sürdürülebilirlik kavramını, “günümüz ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamanın tehlikeye atılmaması” olarak tanımlamaktadır. Bu tanım, çevresel, sosyal ve ekonomik boyutların bir arada ele alınmasını vurgulamaktadır. Rapor, sürdürülebilirliğin, insanların temel ihtiyaçlarını karşılamakla birlikte ekosistemlerin de korunmasını gerektirdiğini belirterek, bu dengeyi sağlamanın önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınmanın, adalet, eşitlik ve katılım gibi sosyal değerlere dayanması gerektiğini savunmaktadır [20].

Cengizalp çalışmasında dokuma havlu kumaşlarda kullanılan çeşitli sürdürülebilir rejenere lif (%60/40 oranında tencel, modal, selüloz asetat, bambu ve %56/44 keten) uygulamalarının doğal liflerle (%100 organik pamuk ve %100 pamuk) dokunmuş havlu kumaşlar ile fiziksel ve mekanik özellikleri açısından karşılaştırma yapmıştır, batma süresi, dikey kılcal ıslanma, kuruma hızı, su buharlaşma oranı, yüzey emiciliği ve kopma mukavemeti testleri uygulamış ve istatistiksel analizini gerçekleştirmiştir. Test sonuçları ile tencel/pamuk karışımı kumaşların dikey kapiler ıslanmasının diğer kumaşlara göre daha yüksek olduğunu ve pamuklu kumaşlar ile karşılaştırıldığında emiciliklerinin daha yüksek ve daha konforlu olduğunu, ekolojik olarak sürdürülebilir ve döngüsel ekonomiye katkı sağlayabileceğini savunmuştur. Cengizalp yapmış olduğu çalışmada dokuma havlu kumaşları dikkate almıştır. Dokuma havlu kumaşlar tekstil sektöründe önemlidir ancak örme kumaşlara oranla çok yaygın kullanım alanı yoktur. Bu çalışmada ise yaygın olarak kullanılan örme kumaşlar dikkate alınmaktadır [21].

Muthu yaptığı çalışmada tekstil sektöründeki üretimin çevresel etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmektedir. Tekstil üretiminin her aşamasında su ve enerji tüketimi, karbon emisyonları ve atık oluşumuna dikkat çekmiştir. Muthu çalışmasında sürdürülebilir tekstil üretiminin iyileştirilmesi için geri dönüşüm teknolojileri, enerji verimliliği ve kimyasal kullanımının azaltılması gibi konularda öneride bulunmuştur. Tekstil tedarik zincirindeki tüm paydaşların sürdürülebilirlik konusunda iş birliği yapması gerektiği vurgulanmaktadır. Muthu çalışmasında tekstil üretimi için sürdürülebilirlik konusunu genel hatlarıyla dikkate almaktadır. Teknik olarak tekstil kumaşlarında iyileştirme çalışmalarına yer vermemiştir. Bu çalışmada Muthu'nun çalışmasından farklı olarak örme kumaşların üretimi sırasında optimizasyon yapılmaktadır [22].

Kalkancı yaptığı çalışmada tekstil sektöründeki hammaddelerden, organik pamuk ve organik pamuktan yapılan ürünlerin çevreye ve insana duyarlı bir üretim sürecinden geçtiğini, dolayısıyla organik tarımdan elde edilen hammaddeler diğer hammaddelere göre çevreye, ekonomiye ve sosyal gelişmeye olumlu katkı sağladığını savunmuştur. Kalkancı çalışmasında tekstilde sürdürülebilir üretim için geleneksel pamuk üretimi ve organik pamuk üretimi sırasında ortaya çıkan çevresel etkileri tespit etmiş ve organik pamuğun kullanımını ve günümüzdeki etkilerini araştırmıştır. Kalkancı'nın çalışmasından farklı olarak bu çalışmada organik tarımdan elde edilmeyen

hammadelerden de (polyester, viscon) tekstil sektörü için sürdürülebilir çalışmalar yapılabileceğini göstermektedir [23].

Fletcher yaptığı çalışmada çevre dostu tasarım stratejilerini ele almıştır. Çalışma, üretim süreçlerinde enerji ve kaynak tasarrufu yapmanın yanı sıra, uzun ömürlü ve geri dönüştürülebilir ürünlerin tasarımının önemine dikkat çekmektedir. Fletcher, tekstil sektöründe döngüsel ekonomi modelinin yaygınlaşmasının sürdürülebilirliği nasıl artırabileceğini tartışmaktadır. Fletcher çalışmasında tekstil sektöründeki moda kavramının sürdürülebilirliği olumsuz etkilediğini ve üretimde bunun değiştirilebileceğini savunmaktadır. Bununla birlikte moda kavramının yanında kumaş hammaddelerinin de optimizasyonunun sağlanabileceği bu çalışma ile desteklenmektedir [24].

Alper yaptığı çalışmada Cropwat programı ile pamuk için Aydın, Adana, Antalya, Diyarbakır, İzmir ve Şanlıurfa illerimizin su ayak izlerini hesaplamıştır. Pamuk için tarlada su tüketimini azaltan bir uygulama olan “İyi Pamuk Uygulamaları” ile pamuk üretiminde %23’e kadar su tasarrufu sağlayan. “Tekstil Sanayi için En Uygun Teknikler (BAT) Referans Dokümanı” ile proseste su tüketimi azaltılmasına yönelik önerilerde bulunmuştur. Alper’in çalışmasından farklı olarak bu çalışmada kumaş üretiminde polyester ve viskon iplikleri kullanılmaktadır. Polyester ve viskon lifleri pamuk lifleri kadar üretiminde su tüketimi kullanılmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada örme kumaşların kullanım ömrü uzatılırken dolaylı yoldan enerji tüketimi azaltılmaktadır [25].

Shah ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tekstil üretiminde yeşil kimya uygulamalarına odaklanmıştır. Shah ve arkadaşları çevre dostu kimyasalların kullanımı ve toksik olmayan üretim süreçlerinin geliştirilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma, gelecekte daha sürdürülebilir üretim yöntemlerinin yaygınlaşabileceği yönünde umut verici bir tablo çizmektedir. Aynı zamanda, tekstil üreticilerinin yeşil kimyayı benimsemeleri için teşvik edilmesi gerektiğini savunmaktadır [26].

Taguchi yöntemi ve Gri İlişki Analizi, çok sayıda değişkenin etkileşimini optimize etmek ve bir süreçteki kaliteyi iyileştirmek amacıyla kullanılan çok değişkenli optimizasyon teknikleridir. Tekstil sektörü için bu yöntemlerin uygulanması, genellikle üretim süreçlerinin optimizasyonu ve sürdürülebilirlik performansının artırılması üzerine

yapılan çalışmalarda görülmektedir. Bu yöntemlerin kullanıldığı akademik çalışmalara dair literatür araştırması şu şekilde ifade edilebilir;

Şenyiğit ve arkadaşları yaptıkları çalışmada dokuma nevresim kumaşlarının sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesinde farklı performans göstergeleri dikkate almıştır. 40 yıkama sonrası yırtılma dayanımı, 80 yıkama sonrası yırtılma dayanımı, 40 yıkama sonrası kopma dayanımı, 80 yıkama sonrası kopma dayanımı ve 80 yıkama sonrası aşınma devri birer cevap olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada 3 faktör elyaf uzunluğu, ring hızı ve sarma gerilimi dikkate alınmıştır. Bu faktörlerin üçer farklı düzeyi olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada L9 ortogonal dizisi kullanmıştır [27].

Patel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tekstil boyama süreçlerinin optimizasyonu için Taguchi ve GİA yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Boyama sürecinde kullanılan su miktarı, sıcaklık, boyar madde oranı gibi faktörler üzerinde yapılan deneylerde, çevresel faktörleri ve maliyet faktörlerini optimize etmiştir. Taguchi yöntemini, bu faktörlerin kombinasyonlarını sistematik olarak deneyler ile test ederken, GİA yöntemini ise bu sonuçları değerlendirmede kullanmıştır. Patel ve arkadaşlarının çalışması, tekstil boyama süreçlerinde sürdürülebilirliği artırarak hem çevre dostu hem de ekonomik açıdan verimli bir üretim sürecinin sağlanabileceğini göstermektedir [28].

Özbey yaptığı çalışmada pamuklu örme kumaşın bentonit ile ağartılması olanağının tespiti ve optimum ağartma şartlarının belirlenmesi için Taguchi Yöntemi ile deney tasarımı yapmıştır. İşlem gören kumaş numunelerinin beyazlık-sarılık indeksleri ile patlama mukavemeti sonuçlarını incelemiştir [29].

Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada geri dönüştürülmüş liflerin üretim süreçlerinin optimizasyonu için Taguchi ve GİA yöntemlerinin kullanımını ele almıştır. Çalışmada farklı üretim parametrelerinin (sıcaklık, basınç, geri dönüştürülen malzeme miktarı vb.) süreç verimliliği ve ürün kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Taguchi yöntemi ile ideal üretim koşulları belirlenmiş, GİA yöntemi ile bu koşulların çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirme yapmıştır. Çalışma sonunda, geri dönüştürülmüş tekstil liflerinin üretim sürecinde optimize edilen parametrelerin çevresel ve ekonomik faydalar sağladığını göstermiştir [30].

Kumar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tekstil üretim süreçlerinde enerji tüketimini azaltmak için Taguchi yöntemi ve Gri İlişki Analizini bir arada kullanmıştır. Çalışmada, çeşitli üretim parametrelerinin (makine hızı, sıcaklık, basınç gibi) enerji verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiş ve optimum koşullar belirlenmiştir. Taguchi yöntemi deney tasarımı sistematik olarak uygularken, GİA bu parametrelerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, enerji tüketiminin azaltılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi açısından önemli bulgular sunmuştur [31].

Chatterjee ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sürdürülebilir moda üretiminde çevresel etkilerin minimize edilmesi için Taguchi yöntemi ve Gri İlişki Analizi yöntemlerinin uygulanmasını ele almıştır. Çevresel etkilere yol açan üretim süreçlerindeki farklı parametrelerin (enerji kullanımı, kimyasal tüketimi, su kullanımı vb.) optimizasyonu için deneysel bir yaklaşım benimsemiştir. Taguchi yöntemi ile en uygun üretim parametrelerini belirlemiş ve GİA yöntemi kullanarak bu parametrelerin çevresel etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, moda üretim süreçlerinde sürdürülebilirliğini artıran önemli önerilerde bulunmuştur [32].

Üstüntağ yaptığı çalışmada denim kumaşların çeşitli fiziksel ve konfor özellikleri için döner şablon kaplama proses parametrelerinin (zemin kumaş atkı sıklığı, kurutma sıcaklığı, viskozite, silindir ile rakle arasındaki basınç, kumaş geçiş hızı) optimum faktör-seviye kombinasyonları Taguchi L27 ortogonal dizinine göre yapmış ve deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Sinyal/Gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanmıştır. Bu çalışmada kumaşların kalite test sonuçları dikkate alınmamaktadır [33].

Gupta ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tekstil atıklarının geri dönüşüm süreçlerinin optimizasyonu için Taguchi ve GİA yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Geri dönüşüm verimliliği, enerji tüketimi ve çevresel etkiler gibi kriterler dikkate alınarak yapılan deneylerde, geri dönüştürülebilir malzemelerin ideal işlem koşullarını belirlemiştir. GİA, farklı parametrelerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirmede kullanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, geri dönüşüm süreçlerinin optimizasyonu yoluyla tekstil atık yönetiminde çevresel etkilerin azaltılabileceğini göstermektedir [34].

Singh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tekstil üretiminde yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla Taguchi yöntemini ve Gri İlişki Analizini bir arada kullanmıştır. Çalışma, iplik

gerginliği, hız ve makine sıcaklığı gibi üretim parametrelerinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Taguchi yöntemi, deney tasarımı optimize etmek için kullanılırken, GİA farklı kalite kriterlerini değerlendirerek optimum koşulları belirlemiştir. Çalışma sonunda, yüzey kalitesi artırılırken üretim verimliliğinde de önemli bir artış sağlanmıştır. Singh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan farklı olarak bu çalışmada kalite test sonuçlarını optimize etmek için örme kumaşa etki eden faktörler olarak iplik üretim metodu (vorteks, ring), iplik hammaddesi (polyester, viskon), iplik numarası (20/1 Ne, 30/1 Ne), kumaş sıklığı (10 ilmek/cm,14 ilmek/cm) ve desen yoğunluğu ele alınmıştır [35].

Zhao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tekstil lif üretim sürecinde çoklu performans kriterlerinin optimizasyonu için Gri İlişki Analizi ve Taguchi yöntemi kullanmıştır. Farklı malzemelerin üretim sürecindeki etkileri incelenmiş ve üretim verimliliği, dayanıklılık ve maliyet gibi kriterler optimize edilmiştir. Taguchi yöntemiyle deneyler planlanmış ve GİA ile sonuçlar analiz edilerek ideal parametreler belirlenmiştir. Çalışma, üretim sürecinde çoklu hedeflerin aynı anda nasıl optimize edilebileceğini göstermektedir [36].

Gri İlişki Analizi ve Taguchi yöntemi, mühendislik, üretim ve kalite kontrol gibi çeşitli sektörlerde süreç optimizasyonu ve çoklu kriterlerin aynı anda değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan tekniklerdir. Bu yöntemlerin birlikte kullanıldığı akademik çalışmalar farklı sektörlerde kaliteyi iyileştirmek, süreç verimliliğini artırmak ve maliyetleri düşürmek gibi amaçlarla gerçekleştirilmiştir. Farklı alanlarda GİA tabanlı Taguchi yöntemiyle yapılan akademik çalışmaların literatür özeti şu şekildedir;

Sharma ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bir tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü optimize etmek amacıyla Taguchi yöntemi ve Gri İlişki Analizi kullanmıştır. Tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme ve derinlik gibi parametreleri değerlendirmiş ve bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Taguchi yöntemi deney tasarımı için kullanılmış, GİA ise çoklu performans kriterlerini optimize etmiştir. Çalışma sonunda, üretim sürecinde hem pürüzlülük hem de işlem maliyetleri iyileştirilmiştir. Sharma ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan farklı olarak bu çalışmada, iplik üretim metodu, iplik hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı, desen yoğunluğu parametreleri değerlendirilmiş ve bu parametrelerin pilling, abrasyon ve boyut değişimi için 3 farklı kalite test sonucu üzerindeki etkileri incelenmiştir [37].

Patel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada otomotiv sektöründe motor performansını iyileştirmek için bir çalışma yapmıştır. Motorun yakıt tüketimi ve emisyon değerleri üzerinde GİA ve Taguchi yöntemlerini kullanarak optimizasyon yapmıştır. Deneysel çalışma kapsamında motor parametreleri (ateşleme zamanlaması, yakıt enjeksiyonu vb.) optimize edilmiştir. Taguchi yöntemiyle deney tasarımı yapılmış, GİA ise motorun performans kriterlerini bir arada değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda hem yakıt tüketiminin azaldığını hem de emisyonların düşürüldüğü görülmektedir [38].

Hernandez ve arkadaşları yaptıkları çalışmada gıda sektöründe, bir dondurma üretim sürecinde hem kaliteyi hem de maliyetleri optimize etmek amacıyla Taguchi yöntemi ve Gri İlişki Analizi kullanmıştır. Farklı malzeme ve üretim parametreleri (sıcaklık, karıştırma süresi, şeker oranı vb.) üzerine yapılan deneylerde, ürünün lezzeti, dokusu ve üretim maliyeti değerlendirilmiştir. Taguchi yöntemi en iyi deney tasarımını sağlarken, GİA kalite ve maliyet unsurlarını birlikte optimize etmiştir. Çalışma sonucunda hem ürün kalitesi hem de üretim maliyetlerinde iyileştirme sağlanmıştır [39].

Fernandez ve arkadaşları yaptıkları çalışmada havacılık endüstrisinde kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini optimize etmiştir. Taguchi ve GİA yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Çalışma, farklı malzeme bileşenlerinin (fiber türü, reçine oranı vb.) dayanıklılık, hafiflik ve maliyet üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Taguchi yöntemiyle ideal bileşimler belirlenirken, GİA yöntemiyle bu bileşimlerin çoklu performans kriterleri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, havacılık uygulamaları için yüksek performanslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir [40].

Kaur ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sertleştirilmiş çeliklerin taşlanması sırasında yüzey kalitesini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için GİA ve Taguchi yöntemi kullanmıştır. Deneysel sonuçlar, yüzey pürüzlülüğünün ve enerji verimliliğinin optimize edildiğini göstermiştir. Bu çalışma, metal işleme sektöründe enerji verimliliği ve kalite açısından önemli bir iyileşme sağlamıştır [41].

Kim ve arkadaşları yaptıkları çalışmada frezeleme sırasında kesme parametrelerinin çoklu performans kriterlerine göre optimizasyonunu yapmıştır. Kim ve arkadaşlarının çalışmasında Taguchi yöntemi ile deney tasarımı oluşturulmuştur. GİA ile pürüzlülük ve talaş kaldırma hızı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile frezeleme süreçlerinde maliyet ve kalite iyileştirilmiştir [42].

Zhang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çeşitli kumaşların boncuklanma dayanımını artırmak amacıyla GİA ve Taguchi yöntemi kullanmıştır. Kumaş yoğunluğu, iplik inceliği ve terbiye işlemleri gibi parametreler optimize edilmiştir. Boncuklanma (pilling) tekstil kalitesini olumsuz etkileyen önemli bir problem olduğundan, bu çalışma tekstil endüstrisi için üretim süreçlerini iyileştirmede büyük bir adım olarak görülmektedir. Zhang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan farklı olarak bu çalışmada iplik üretim metodu, iplik hammaddesi, desen yoğunluğu parametreleri optimize edilmiştir. Zhang ve arkadaşlarının çalışmasında optimize edilen kumaş yoğunluğu yani kumaş sıklığı, iplik numarası parametreleri bu çalışmada da optimize edilmektedir [43].

Park ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çeşitli dokuma kumaşların abrasyon (aşınma) direncini test ederek, optimum üretim parametrelerini belirlemiştir. GİA ve Taguchi yöntemi ile yapılan analizde iplik türü, dokuma sıklığı ve terbiye işlemleri gibi değişkenler değerlendirilmiştir. Abrasyona karşı dayanıklılık, özellikle endüstriyel tekstil ürünlerinde uzun ömür ve performans açısından oldukça önemlidir. Park ve arkadaşlarının çalışmasından farklı olarak bu çalışmada tekstil sektöründe yaygın kullanılan örme kumaşlar dikkate alınmıştır. Ayrıca örme kumaşlar için pilling, boyut değişimi ve abrasyon sonuçlarını etkileyecek; iplik üretim metodu, iplik hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı, desen yoğunluğu parametreleri dikkate alınmaktadır [44].

Büyükkoru yaptığı çalışmada kimyasal bitim işleminin kumaşların boncuklanma eğilimini azaltacağını savunmuştur. Tekstil yardımcı kimyasalının kumaşa uygulandığı bu yöntem için, kumaşların boncuklanma eğilimini azaltabileceği öngörülen fonksiyonel polimerler sentezlenmiş, karakterize edilmiş ve farklı tür kumaşlara uygulamalar gerçekleştirmiştir. Kimyasal bitim işlemleri boncuklanma eğilimini azalttığı gerçek hayatta işletmede de kullanıldığı üzere doğrudur ancak kumaşa ekstra maliyet kattığı için müşteri tarafından çok tercih edilmemektedir [45].

Gupta ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sentetik kumaşların boyut değişimi üzerinde etkili olan faktörler GİA ve Taguchi yöntemi ile analiz etmiştir. Yıkama, sıcaklık ve nem gibi üretim parametrelerini optimize ederek, kumaşların boyut stabilitesini arttırmıştır. Boyut değişimi, kumaşların kullanım sırasında deformasyona uğramaması açısından kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Gupta ve arkadaşlarının çalışmasından

farklı olarak bu çalışmada boyut değişimiyle birlikte abrasyon ve pilling değerleri de optimize edilmiştir [46].

Çetin yaptığı çalışmada boncuklanmaya neden olan faktörler üzerinde, iplik inceliği, iplik türü (Ring, Com4), iplik sürtünme katsayısı ve iplik tüylülüğünü incelemiştir. %100 pamuk ve iki farklı sistem (Ring, Com4) ile eğrilmiş, dört farklı numarada (24 Ne, 30 Ne, 40 Ne, 60 Ne) toplam sekiz farklı iplikten süprem örme kumaşı dikkate almıştır. Elde edilen sonuçlara göre iplik tüylülüğü ve pilling miktarı arasında pozitif korelasyon olduğu saptanmıştır. İplik tüylülüğü azaldıkça pilling sonuçlarında iyileşme meydana geldiği sonucuna ulaşmıştır. Çetin çalışmasında sadece pilling optimizasyonunu incelediği için iplik inceliği, iplik türü (Ring, Com4), iplik sürtünme katsayısı ve iplik tüylülüğü parametrelerini ele almıştır. Ancak Çetin'in yaptığı çalışmadan farklı olarak bu çalışmada abrasyon ve boyut değişiminin de eş zamanlı optimizasyonu gerçekleştiği için iplik hammaddesi, kumaş sıklığı ve desen yoğunluğu parametreleri de dikkate alınmıştır [47].

Rao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada boncuklanma dayanıklılığının, özellikle giyim kumaşlarında estetik görünümü etkileyen kritik bir faktör olduğunu savunmaktadır. Çalışmada, pamuklu kumaşlarda boncuklanma dayanıklılığını artırmak için kullanılan iplik tipi, kumaş yapısı ve bitim işlemlerini optimize etmiştir. GİA ve Taguchi yöntemi ile yapılan çalışmada boncuklanma en aza indirgenmiştir [48].

Rejali ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yün/akrilik karışımı ipliklerden üretilen atkı örme kumaşların boncuklanma performansına lif, iplik ve kumaş parametrelerinin etkilerini araştırmıştır. Proses koşullarını optimize etmek ve her kontrol edilebilir faktörün belirli bir yanıt üzerindeki bireysel etkilerini tahmin etmek için Taguchi'nin deneysel tasarımını kullanmıştır. Rejali ve arkadaşlarının çalışmasında dikkate alınan kontrol edilebilir faktörler karışım oranı, iplik büküm katsayısı, ipliklerin besleme sayısı, kumaş yapısı ve örgü yoğunluğudur. Rejali ve arkadaşlarının çalışmasında kullandığı kontrol edilebilir faktörlerden farklı olarak bu çalışmada iplik üretim metodu, iplik hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı, parametreleri dikkate alınmıştır [49].

Baykal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı hammaddeli saf ve karışım vorteks ipliklerin Martindale metodu ile boncuklanma direncinin tespitinde sürtme kumaşı olarak standart yün kumaş ve kendi kumaşı kullanılması durumunda boncuklanma derecelerinde farklılık olup olmadığı ile lif cinsi, iplik ve kumaş özelliklerinin boncuklanma üzerine

etkilerini ortaya çıkarmıştır. Martindale metodu bu çalışmada yapılan deneylerin uygulandığı işletmede de kullanılan yöntemdir. Bu çalışmadaki pilling sonuçları da Martindale metodu ile yapılmıştır. Ancak Baykal ve arkadaşlarının çalışmasından farklı olarak bu çalışmada sürtme kumaşı olarak işletme genelinde kendi kumaşı kullanılmaktadır. Farklı bir kumaşın sürtme kumaşı olarak kullanılması bu çalışmada incelenmemektedir [50].

Ahmad ve arkadaşları yaptıkları çalışmada karışımli ipliklerden üretilen kumaşların hem estetik hem de uzun ömürlü kullanımı için polyester-pamuk karışımli ipliklerle üretilen kumaşların boncuklanma ve aşınma performansını artırmayı hedeflemiştir. GİA ve Taguchi yöntemleri kullanılarak optimum iplik karışım oranlarını ve üretim parametrelerini belirlemiştir. Ahmad ve arkadaşları yaptıkları çalışmada iplik karışım oranlarının farklı değerlerini parametre olarak değerlendirmiştir ancak bu çalışmada pilling değerini etkileyen tek faktör iplik karışım oranı değildir. Bu nedenle bu çalışmada farklı faktörler de dikkate alınmaktadır [51].

Masaeli ve arkadaşları yaptıkları çalışmada elastan iplik içeren dokuma kumaşların kırışık giderme ve boncuklanma performansı üzerinde iplik, kumaş ve makine parametrelerinin etkilerini incelemiştir. Optimum proses koşullarını tahmin etmek ve kontrol edilebilir faktörlerin belirli bir tepki üzerindeki bireysel etkilerini ayrı ayrı incelemek için Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Ayrıca çoklu proses yanıtlarını (kırışıklık düzeltme ve boncuk sayısı) optimize etmek için GİA-Taguchi yöntemini kullanmıştır. Masaeli ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kontrol edilebilir faktör olarak atkı ipliği tipi, kumaş tasarımı, atkı yoğunluğu, hava basıncını ele almıştır. Masaeli ve arkadaşlarının çalışmasında dokuma kumaşlar dikkate alınırken bu çalışmada yaygın olarak kullanılan örme kumaşlar dikkate alınarak daha yaygın etkiye ulaşılma istenmektedir [52].

Tekstil sektörü, küresel ekonomide önemli bir yere sahip olup, istihdam ve ticaret hacmi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle örme kumaşlar, giyimden ev tekstiline, teknik tekstillerden tıbbi uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanına sahip olması nedeniyle sektördeki önemini giderek artırmaktadır. Ancak, bu kumaşların kullanım ömrü boyunca karşılaştığı performans sorunları, özellikle tüylenme (pilling), aşınma (abrasyon) ve yıkama sonrası boyut değişimleri hem tüketici memnuniyetini olumsuz

etkilemekte hem de ürünlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Literatürde örme kumaşların bu performans özelliklerini iyileştirmeye yönelik çeşitli çalışmalar bulunsa da farklı üretim parametrelerinin (iplik üretim metodu, hammadde, numara, kumaş sıklığı, desen yoğunluğu) bu özellikler üzerindeki etkileşimini eş zamanlı olarak optimize eden kapsamlı araştırmalar sınırlıdır. Özellikle Gri İlişki Analizi tabanlı Taguchi yöntemi gibi çok kriterli karar verme ve deneysel tasarım yaklaşımlarının örme kumaşlardaki bu çoklu performans özelliklerinin optimizasyonunda sistematik bir şekilde uygulanması, üretim süreçlerinin etkinliği ve ürün kalitesi açısından önemli kazanımlar sağlayabilmektedir.

Bu araştırma, örme kumaş üretiminde kullanılan temel faktörlerin, pilling abrasyon dayanımı ve farklı sıcaklıklardaki yıkama sonrası boyut değişimleri üzerindeki karmaşık etkilerini anlamak ve bu etkileri eş zamanlı olarak optimize etmek suretiyle aşağıdaki açılardan önemli katkılar sunmayı hedeflemektedir:

- **Ürün Kalitesinin Artırılması:** Optimum üretim parametrelerinin belirlenmesiyle, daha az tüylenen, aşınmaya karşı daha dayanıklı ve boyutsal olarak daha stabil örme kumaşların üretilmesi mümkün olabilecektir. Bu durum, son kullanıcı memnuniyetini artıracak ve ürünlerin pazar rekabet gücünü yükseltecektir.
- **Üretim Verimliliğinin İyileştirilmesi:** Taguchi yöntemi ile sistematik bir şekilde gerçekleştirilecek deneyler sayesinde, minimum kaynakla maksimum bilgi elde edilerek üretim süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi sağlanabilecektir. Bu, maliyetlerin düşürülmesine ve kaynakların daha etkin kullanılmasına olanak tanıyacaktır.
- **Sürdürülebilirlik Katkısı:** Daha dayanıklı ve uzun ömürlü örme kumaşların üretilmesi, tekstil ürünlerinin kullanım ömrünü uzatarak tekrar eden tüketimi azaltacak ve dolayısıyla tekstil atıklarının oluşumunu önleyecektir. Bu durum, sektörün sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına önemli bir katkı sağlayacaktır.
- **Bilimsel Literatüre Katkı:** Bu çalışma, örme kumaşların çoklu performans optimizasyonu alanında Gri İlişki Analizi ve Taguchi yönteminin etkinliğini göstererek, literatüre özgün bir katkı sunacaktır. Elde edilen bulgular, gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturabilir, farklı kumaş türleri ve üretim süreçleri için benzer optimizasyon çalışmalarına ilham verebilir.

- Sektörel Uygulamalar İçin Yol Göstericilik: Araştırma sonuçları, tekstil üreticilerine pratik ve uygulanabilir bilgiler sunarak, üretim süreçlerini optimize etmeleri ve daha kaliteli, dayanıklı ve sürdürülebilir örme kumaşlar üretmeleri konusunda yol gösterecektir. Sonuç olarak, bu araştırma, örme kumaş sektöründe ürün kalitesinin artırılması, üretim verimliliğinin iyileştirilmesi ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Elde edilecek bulgular hem bilimsel literatüre katkı sağlayacak hem de sektörel uygulamalar için değerli bilgiler sunacaktır.



2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan materyaller, uygulanan Taguchi deney tasarımının detayları ve Gri İlişki Analizi tabanlı eş zamanlı optimizasyon yönteminin adımları ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Bu çalışma, örme kumaşlarda iplik üretim metodu, iplik hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı ve desen yoğunluğu faktörlerinin pilling, abrasyon ve farklı sıcaklıklardaki boyut değişimi özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek ve bu özellikleri eş zamanlı olarak optimize etmek amacıyla yürütülmüştür.

2.1. Materyaller

2.1.1. İplikler

Deneyleerde kullanılan iplikler, iki farklı üretim metodu olan Ring ve Vortex olarak belirlenmiştir. Ring metoduyla oluşturulan iplikler liflerin düzenli yapısı sayesinde yüksek mukavemet ve düşük tüylülük sunar [53]. Ring ipliklerinden üretilen kumaşlar genellikle yumuşak ve düzgün yüzeyledir [54]. Vorteks metoduyla oluşturulan ipliklerde merkezde paralel, dışta sargı lifleri bulunur. Vorteks iplikler düşük tüylülük ve iyi nem transferi özelliklerine sahiptir [55, 56]. Vortex iplikleri ile üretilen kumaşlar ringe göre daha sert bir dokuya sahiptir. Ring metodu geleneksel bir yaklaşım iken vorteks metodu modern bir hava akımı teknolojisidir.

Deneyleerde kullanılan iplik hammaddeleri Viskon ve Polyester (PES)'dir. Viskon iplikler, doğal bir kaynak olan selülozdan (genellikle ağaç veya pamuk linteri) elde edilen rejenere bir elyaftır. Yumuşak, dökümlü ve iyi nem emiciliğine sahiptir. Boyanması kolaydır ve parlak bir görünüme sahiptir. Ancak yaş mukavemeti düşüktür ve buruşmaya eğilimlidir [57]. Polyester iplikler ise sentetik bir elyaftır, petrol türevlerinden

üretilmektedir. Yüksek mukavemet, iyi esneklik, düşük nem emiciliği ve buruşmazlık özelliklerine sahiptir. Kolay yıkanır ve çabuk kurur ancak nefes alabilirliği viskon ipliğine göre daha düşüktür ve statik elektriklenme yapmaktadır [58].

Deneyleerde kullanılan 20/1 ve 30/1 iplik numaraları Ne İngiliz Pamuk Numarası sistemine göre iplik kalınlığını ifade etmektedir. Bu sistemde numara arttıkça iplik incelmektedir. Düşük numaralı iplik (20/1Ne), daha kalın, daha kaba ve genellikle daha dayanıklı iplik anlamına gelmektedir. Yüksek numaralı iplik (30/1Ne), daha ince, daha yumuşak ve daha dökümlüdür. Daha ince ipliklerden (30/1Ne) üretilen kumaşlar genellikle daha hafif ve daha yumuşak olurken, daha kalın ipliklerden (20/1Ne) üretilenler daha dolgun ve dayanıklıdır [59].

2.1.2. Örme Kumaş Üretimi

Deneyleerde test edilen örme kumaşların üretimi Mayer örme makinalarında gerçekleştirilmiştir. Örme kumaşlarda kumaş sıklığı (ilmek/cm), birim alandaki (santimetre) ilmek sayısını ifade eden temel bir tekstil terimidir [60, 61]. Kumaş sıklığı, kumaşın birçok fiziksel ve mekanik özelliğini doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Kumaş sıklığı yüksek olan kumaşlar; yüksek mukavemete, yüksek gramaja (ağırlık) sahiptir. Kumaş sıklığı, kumaşın kullanım amacına ve istenen performansa göre ayarlanabilen bir tasarım parametresidir. Örneğin, dayanıklılık gerektiren teknik tekstillerde yüksek sıklık tercih edilirken, hafif ve dökümlü kumaşlarda daha düşük sıklıklar tercih edilmektedir. Kumaş sıklığının doğru bir şekilde belirlenmesi ve kontrol edilmesi, nihai ürünün kalitesi ve performansı açısından büyük önem taşımaktadır.

Desen yoğunluğu, örme kumaşlarda desenin birim alandaki tekrar sıklığını veya karmaşıklığını ifade etmektedir. Bu çalışmada test edilen örme kumaşların desenleri dijital desen tasarımı ile yapılmıştır. Desenin birim alandaki piksel veya nokta sayısı yoğunluğuna desen yoğunluğu denilmektedir.

Başka bir deyişle desen yoğunluğu kumaşın toplam ilmek veya sıra sayısı içindeki desen oluşturan ilmek veya sıra yüzdesidir. Örneğin, "desen yoğunluğu %30 (toplam ilmeklerin %30'u desen oluşturuyor)".

Bu çalışmada kullanılan desen yoğunluğu, Şekil 6 %2,57 (az yoğun desen) ve Şekil 7 %17,21 (çok yoğun desen) şeklindedir.



Şekil 6. Az Yoğun Örme Kumaş



Şekil 7. Çok Yoğun Örme Kumaş

2.2. Yöntem

Bu çalışmada, beş kontrol faktörünün her birinin iki düzeyde olduğu GİA tabanlı Taguchi metodu ile pilling, abrasyon ve sıcaklık etkisi ile boyut değişiminin eş zamanlı optimizasyonu gerçekleştirilmektedir.

2.2.1. Taguchi Metodu

Taguchi yöntemi, Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş olan, mühendislik tasarımında ürün ve süreç kalitesini artırmayı hedefleyen güçlü bir istatistiksel yaklaşımdır [62]. Geleneksel deneysel tasarım yöntemlerinden farklı olarak Taguchi yöntemi, kontrol edilebilen tasarım parametrelerinin (kontrol faktörleri) yanı sıra, üretim veya kullanım sırasında kaçınılmaz olarak ortaya çıkan ve kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin (noise factors) etkilerini de dikkate alarak sağlam tasarımlar elde etmeyi amaçlar. Sağlam tasarım, ürün veya süreç performansının gürültü faktörlerindeki değişimlerden minimum düzeyde etkilenmesi anlamına gelmektedir.

Taguchi yöntemi, maliyet etkinliği ve verimliliği ön planda tutarak, minimum sayıda deneyle optimal tasarım parametrelerini belirlemeyi hedeflemektedir. Bu amaçla, Ortogonal Diziler (Orthogonal Arrays - OA) adı verilen özel deneysel tasarım matrislerini kullanır. Ortogonal diziler, faktörlerin ve seviyelerinin dengeli bir şekilde temsil edilmesini sağlayarak, her bir faktörün ana etkisinin diğer faktörlerin etkilerinden bağımsız olarak tahmin edilmesine olanak tanımaktadır [63].

Bu çalışmada, örme kumaşların mamul olduktan sonra boncuklanma düzeyini optimize etmek, abrasyon (yırılma dayanımı) arttırmak ve yıkama testinden sonraki boyut değişimini azaltmak için Taguchi Metodu kullanılmıştır. Bu çalışma için Taguchi Metodu'nun (TM) parametre tasarımı Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. TM Parametre Tasarımı

Çalışmada Taguchi analizi, temel ve ileri istatistiksel işlemleri uygulamak için tasarlanmış bir bilgisayar programı olan MINITAB Versiyon 16.0 yazılım paketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Örme kumaşlarda boncuklanmayı, kopma mukavemetini ve boyut değişimini etkileyen birçok faktör vardır; bunlar arasında iplik üretim metodu, iplik hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı, desen yoğunluğu yer almaktadır.

Örme kumaşlarda, boncuklanma değerlerinin düşük olması, kopma mukavemetinin düşük olması ve boyut değişimindeki farkın yüksek olması üretici firma ve müşteri tarafından istenmeyen durumlardandır. Özellikle boncuklanma değerinin düşük aralıklarda olması büyük kalite problemlerine sebep olmaktadır.

Örme kumaşı oluşturan temel bileşenler; iplik, desen ve apre işlemidir. Çalışmada boncuklanma, kopma mukavemeti ve boyut değişimini etkileyen faktörler belirlenirken kumaşın temel yapısını oluşturan bileşenler incelenerek her 3 sonucu da farklı düzeyleri etkileyebilecek faktörler üretimin gerçekleştirildiği fabrika ile iş birliği içerisinde belirlenmiştir. Tablo 1’de faktörler ve düzeyleri gösterilmektedir.

Tablo 1. Deney Tasarım Kontrol Faktörleri Ve Seviyeleri

KOD	FAKTÖR	DÜZEY	
		1	2
A	İplik Üretim Metodu	Ring	Vortex
B	İplik Hammadde	Viskon	Pes
C	İplik Numarası	20/1Ne	30/1Ne
D	Kumaş Sıklığı	10 (ilmek/cm)	14 (ilmek/cm)
E	Desen Yoğunluğu	%2.57	%17.21

TM ortogonal dizileri kullanarak deney tasarımı yapmaktadır. Ortogonal diziler her bir faktör için optimum seviyeleri belirlemektedir. Bu nedenle TM klasik deney tasarımına kıyasla daha az deneyle, hızlı ve daha düşük maliyet ile optimum işlem parametrelerini belirlemektedir. Bu çalışmada kullanılan L16 deney koşulları Tablo 2’dedir.

Tablo 2. L16 Deney Koşulları

Deney	Parametreler				
	A	B	C	D	E
1	Ring	Viskon	20/1Ne	10	%2.57
2	Ring	Viskon	20/1Ne	14	%17.21
3	Ring	Pes	30/1Ne	10	%2.57
4	Ring	Pes	30/1Ne	14	%17.21
5	Ring	Viskon	30/1Ne	10	%17.21
6	Ring	Viskon	30/1Ne	14	%2.57
7	Ring	Pes	20/1Ne	10	%17.21
8	Ring	Pes	20/1Ne	14	%2.57
9	Vortex	Viskon	20/1Ne	10	%17.21
10	Vortex	Viskon	20/1Ne	14	%2.57
11	Vortex	Viskon	30/1Ne	10	%2.57
12	Vortex	Viskon	30/1Ne	14	%17.21
13	Vortex	Pes	20/1Ne	10	%2.57
14	Vortex	Pes	20/1Ne	14	%17.21
15	Vortex	Pes	30/1Ne	10	%17.21
16	Vortex	Pes	30/1Ne	14	%2.57

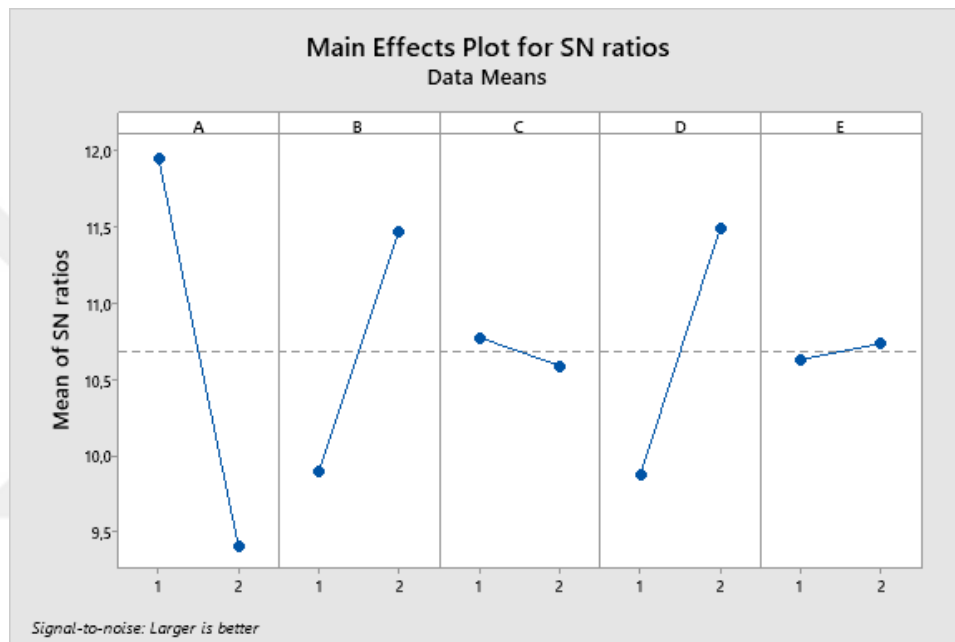
Bu çalışmada L16 ortogonal dizisi Tablo 3'teki gibi seçilmiştir. Deneyler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. L16 Ortogonal Dizisi ve S/N Oranları

Deney	Parametreler					Ortalama Değerler			S/N Oranları				
	A	B	C	D	E	Pilling	30	60	Abrasyon	Pilling	30	60	Abrasyon
1	1	1	1	1	1	3.5	2	6.5	18000	10.88	-6.02	6.50	85.11
2	1	1	1	2	2	4	8	15.5	16000	12.04	-18.06	15.50	84.08
3	1	2	2	1	1	4.5	2	6	30000	13.06	-6.02	6.00	89.54
4	1	2	2	2	2	4.5	8	13	12000	13.06	-18.06	13.00	81.58
5	1	1	2	1	2	4.5	2	8	18000	13.06	-6.02	8.00	85.11
6	1	1	2	2	1	4.5	8	14.5	10000	13.06	-18.06	14.50	80.00
7	1	2	1	1	2	3.5	2	6	32000	10.88	-6.02	6.00	90.10
8	1	2	1	2	1	3	7	14.5	20000	9.54	-16.90	14.50	86.02
9	2	1	1	1	2	2	2	7	18000	6.02	-6.02	7.00	85.11
10	2	1	1	2	1	4	9.5	14	12000	12.04	-19.55	14.00	81.58
11	2	1	2	1	1	2	7	18	20000	6.02	-16.90	18.00	86.02
12	2	1	2	2	2	2	3	8.5	20000	6.02	-9.54	8.50	86.02
13	2	2	1	1	1	2	11.5	19	20000	6.02	-21.21	19.00	86.02
14	2	2	1	2	2	4.5	1	5.5	26000	13.06	0.00	5.50	88.30
15	2	2	2	1	2	4.5	2	6	28000	13.06	-6.02	6.00	88.94
16	2	2	2	2	1	4.5	9.5	17	16000	13.06	-19.55	17.00	84.08

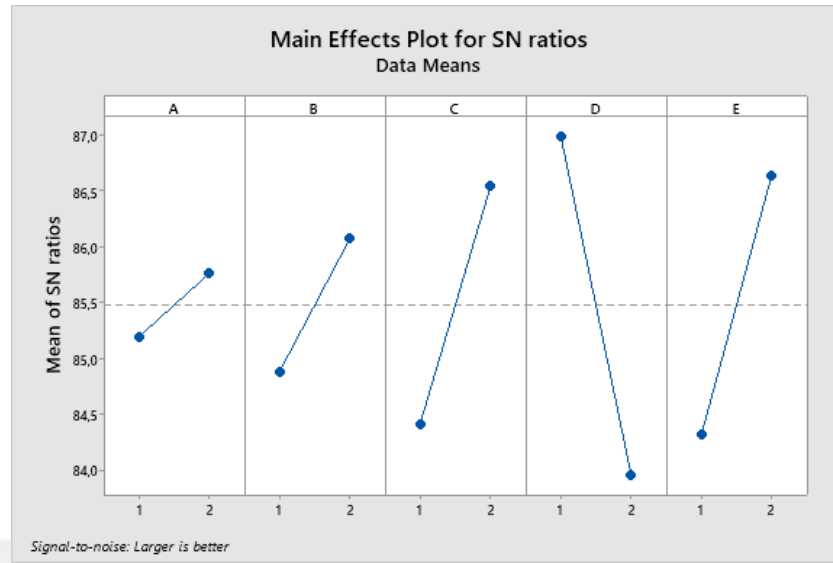
Kontrol faktörleri ve seviyeleri belirlendikten sonra Tablo 2'deki düzeylere sahip örme kumaşlar üretilmiştir. Tüm örme kumaşların en ölçüsü ve gramajları, cevapları etkilememesi için eşit olacak şekilde değerlendirilmiştir. Örme kumaşlar 280 gram/m² ve 230 cm enindedir.

Tüm cevaplar için MINITAB paket programından oluşturulan S/N grafiği Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterilmektedir.



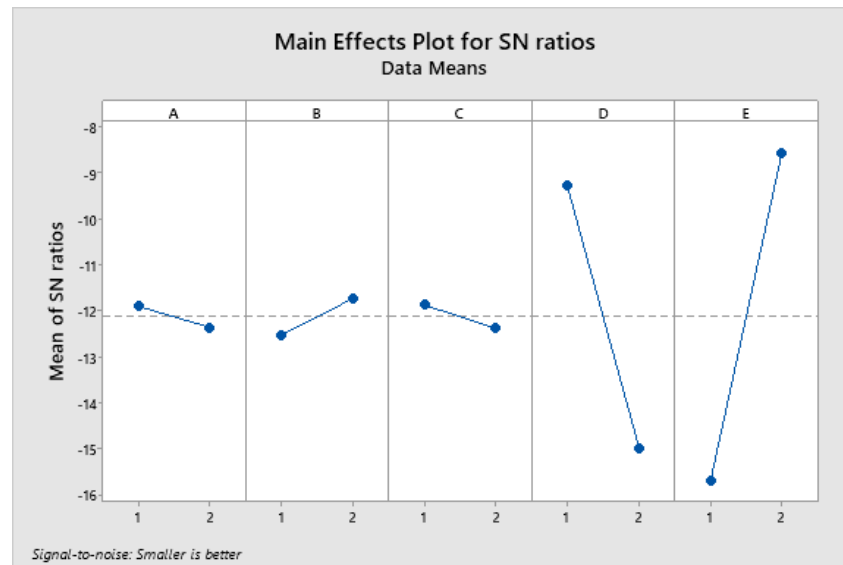
Şekil 9. Pilling S/N Oran Grafiği

Şekil 9'daki grafik incelendiğinde, beş faktörün (A, B, C, D, E) pilling üzerindeki etkileri farklı düzeylerde gözlemlenmiştir. En belirgin etki, A faktöründe görülmüş; bu faktörün 1. düzeyinde yaklaşık 12 dB'lik bir S/N oranı elde edilirken, 2. düzeyde bu oran yaklaşık 9,3 dB seviyelerine kadar düşmüştür. Bu sonuç, A faktörünün pilling açısından en kritik parametrelerden biri olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, B ve D faktörlerinde de düzeyler arasında anlamlı farklılıklar gözlenmiş ve her iki faktörde de 2. düzeyler daha yüksek S/N oranları ile öne çıkmıştır. C ve E faktörleri ise görece düşük etki göstermiştir. Bu iki faktördeki düzeyler arasında S/N oranı açısından büyük farklar bulunmamaktadır; dolayısıyla bu parametrelerin pilling üzerinde etkisi sınırlı olarak değerlendirilmektedir.



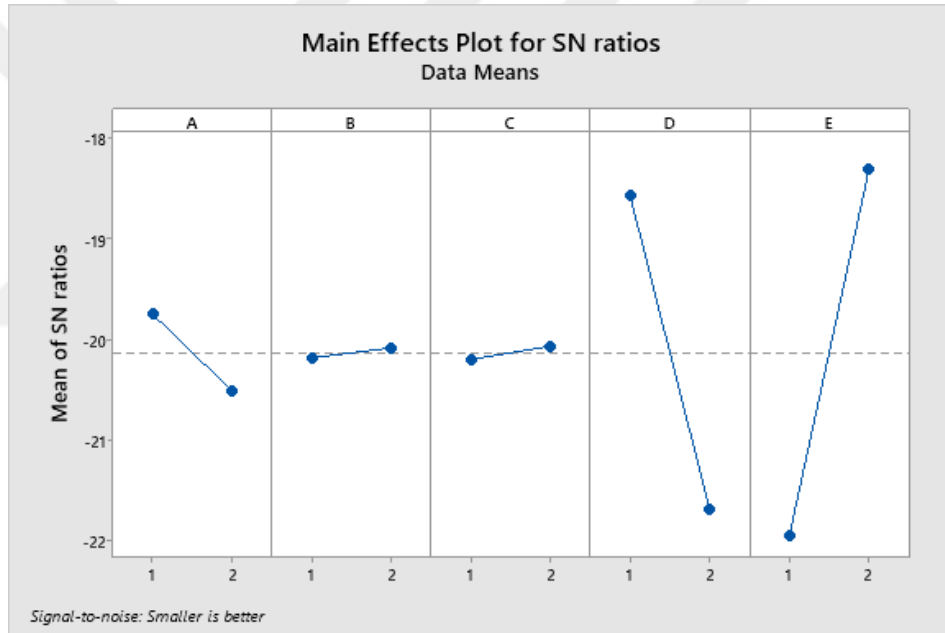
Şekil 10. Abrasyon S/N Oran Grafiği

Şekil 10'daki grafik abrasyon cevabı için S/N oranlarını göstermektedir. Özellikle D faktörü, en yüksek etkiye sahip parametre olarak öne çıkmıştır. D faktörünün 1. düzeyinde ortalama S/N oranı yaklaşık 87 dB iken, 2. düzeyinde bu oran 84 dB'in altına düşmektedir. Bu belirgin fark, D faktörünün 1. düzeyinin abrasyon dayanımı açısından en uygun düzey olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, C ve E faktörlerinin de etkili olduğu görülmektedir. C2 ve E2 düzeyleri, daha yüksek S/N oranları ile daha iyi abrasyon dayanımı sağlamıştır. B faktörü için de 2. düzey tercih edilirken, A faktörünün düzeyleri arasında daha sınırlı bir fark gözlemlenmiştir; bu nedenle A faktörünün etkisi düşüktür.



Şekil 11. 30°'deki Boyut Değişimi S/N Oran Grafiği

30°'deki boyut değişimi S/N oran grafiği incelendiğinde, E ve D faktörleri, boyutsal değişim açısından en belirleyici parametreler olarak öne çıkmaktadır. E faktörünün 2. düzeyinde, ortalama S/N oranı yaklaşık -9 dB ile en yüksek değere ulaşmış ve bu düzey en az boyutsal değişimi göstermiştir. Buna karşılık E1 düzeyi, -15 dB civarındaki S/N oranı ile en olumsuz sonucu vermiştir. Benzer şekilde D faktöründe, D1 düzeyi daha yüksek bir S/N oranı ile (yaklaşık -11 dB) daha az boyutsal değişim sağlamıştır; D2 düzeyinde ise S/N oranı ciddi şekilde düşerek yaklaşık -15 dB'e gerilemiştir. A, B ve C faktörlerinin ise düzeyleri arasında daha sınırlı farklar olduğu, dolayısıyla bu parametrelerin 30 °C'deki boyutsal değişim üzerindeki etkilerinin daha düşük düzeyde kaldığı görülmektedir.



Şekil 12. 60°'deki Boyut Değişimi S/N Oran Grafiği

60°'deki boyut değişimi S/N oran grafiği incelendiğinde, 30° derecedeki değişim grafiğinde de olduğu gibi E ve D faktörleri, boyutsal değişim açısından en belirleyici parametreler olarak öne çıkmaktadır.

Örme kumaşların mamul olması için apre işleminden geçmesi gerekmektedir. Apre işlemleri kumaşa çeşitli kimyasalların istekler doğrultusunda uygulandığı yerdir. Apre işlemi bir nevi kimyasal eklenmeyen kumaşlar için büyük bir ütü makinesi olarak düşünülmektedir. Bu çalışmadaki deney kumaşları için tüm örme kumaşlara uygulanan en ayarlama işlemi apre aşamasında yapılmıştır.

TM, çıktıları S/N oranına dönüştürmektedir. En basit haliyle S/N oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır ve deneysel değerlerin kalitesini gösterirken; desibel (dB) cinsinden ifade edilmektedir. Sinyal faktörü, sistemden alınan gerçek değeri temsil ederken, gürültü faktörü, deney tasarımına dahil edilemeyen ancak test sonucunu etkileyen faktörleri ifade etmektedir. Her durumda, daha yüksek S/N oranı daha iyi kalite anlamına gelmektedir. Genel olarak, S/N oranı üç kategoride ele alınmaktadır: ‘büyük değer- daha iyi’, ‘nominal değer- daha iyi’ ve ‘küçük değer- daha iyidir’ [64, 65]. Çalışmada kullanılan S/N oranları aşağıda gösterilmektedir;

En Büyük- En İyi (Larger-the-Better)

$$S / N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

Bu denklemde, her bir performans değerinin karesinin tersinin ortalamasının logaritması alınarak, yüksek performans değerlerine daha fazla ağırlık verilir. Amaç, varyansı minimize ederken ortalama performansı maksimize etmektir.

En Küçük- En İyi (Smaller-the-Better)

$$S / N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] = -10 \log(y^{-2}) \quad (2)$$

Bu denklemde, her bir performans değerinin karesinin ortalamasının logaritması alınarak, düşük performans değerlerine daha fazla ağırlık verilir. Amaç hem ortalama performansı hem de varyansı minimize etmektir.

Burada, y_i deneylerden elde edilen veriyi, n ise deney sayısını temsil etmektedir [66]. Bu çalışmadaki cevaplar; pilling ve abrasyon değerleri en büyük en iyi, 30 °C ve 60 °C boyut değişimi ise en küçük en iyi sınıfında yer almaktadır. Pilling, abrasyon, 30 °C ve 60 °C yıkamada boyut değişimi için beş faktör ve seviyelerine ait S/N oranlarının hesaplanmasında Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılmıştır. Son olarak, TM tarafından belirlenen optimum süreç parametrelerini doğrulamak için doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Gri İlişki Analizi (GİA)

Gri Sistem Teorisi kapsamında J.L. Deng tarafından 1982 yılında geliştirilen Gri İlişkisel Analiz (Grey Relational Analysis - GRA), karmaşık sistemlerdeki faktörler arasındaki belirsiz ilişkileri analiz etmek için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir [67]. Geleneksel istatistiksel yöntemlerin yetersiz kaldığı, sınırlı ve eksik bilgiye sahip durumlarda GİA, sistemin davranışını ve farklı faktörler arasındaki ilişki derecesini değerlendirmede etkili bir araçtır [68]. GİA, incelenen sistemdeki veri serileri arasındaki benzerlik derecesini "gri ilişkisel derece" adı verilen bir değer aracılığıyla ölçmektedir. Bu derece, veri serilerinin geometrik benzerliği ve değişim eğilimlerini dikkate alarak hesaplanmaktadır. Yüksek gri ilişkisel derece, ilgili veri serileri arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu gösterir.

TM, tek bir performans özelliğinin optimizasyonu için faydalıdır ancak birden çok performans değeri incelendiğinde, bir performans için daha yüksek S/N oranı, diğer performans özellikleri için daha düşük bir S/N oranına karşılık gelebilmektedir. Bu nedenle, birden fazla performans özelliğinin birlikte incelenmesi gerektiğinde GİA yöntemi kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın Taguchi bölümünde yapıldığı gibi, birden fazla performans için optimum seviyelerin kombinasyonu, her faktörün önem seviyeleri göz önünde bulundurularak ve tüm performans seviyeleri dikkate alınarak belirlenmektedir [69]. Bu çalışma kapsamında, eş zamanlı optimizasyon parametrelerini belirlemek ve ölçüm sonuçlarının çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirmek amacıyla Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılmıştır. GİA, kısıtlı veri setlerine dayalı karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve çoklu yanıt değişkenlerinin optimize edilmesine imkân tanımaktadır [70]. Bu çalışma için GİA'nın aşamaları Şekil 13'de gösterilmektedir.



Şekil 13. GİA Aşamaları

GİA yönteminde kullanılan veri setlerinin birimleri farklı olduğu zaman normalizasyon işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan verilerin birimleri farklı olduğu için 3 ve 4 numaralı denklemlerdeki formüller kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyon işlemi sonrası elde edilen değerler Tablo 4'te gösterilmektedir. Normalizasyon işlemi için kriterlerin “büyük olan-daha iyi” ya da “küçük olan- daha iyi” ayrımına göre iki farklı normalizasyon formülü kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki pilling ve abrasyon test sonuçları “büyük daha iyi” iken, 30 °C ve 60 °C boyut değişimi değerleri “küçük daha iyidir”.

Büyük olan- daha iyi,

$$x'_i = \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (3)$$

Küçük olan- daha iyi,

$$x'_i = \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (4)$$

Burada x_i orijinal değeri x'_i normalize edilmiş değeri ifade etmektedir [71].

Tablo 4. Normalizasyon Tablosu

Deney No	Pilling	30 °C	60 °C	Abrasyon
		Boyut Değişimi	Boyut Değişimi	
1	0.6	0.9048	0.9259	0.3636
2	0.8	0.3333	0.2593	0.2727
3	1	0.9048	0.9630	0.9091
4	1	0.3333	0.4444	0.0909
5	1	0.9048	0.814	0.3636
6	1	0.3333	0.3333	0
7	0.6	0.9048	0.9630	1
8	0.4	0.4286	0.3333	0.4545
9	0	0.9048	0.8889	0.3636
10	0.8	0.1905	0.3704	0.0909
11	0	0.4286	0.0741	0.4545
12	0	0.8095	0.7778	0.4545
13	0	0	0	0.4545
14	1	1	1	0.7273
15	1	0.9048	0.9630	0.8182
16	1	0.1905	0.1481	0.2727

Normalizasyon işleminin ardından her bir kriter için gri ilişkisel kat sayı 5 numaralı denklemdeki formül ile hesaplanmaktadır. Tablo 5 'te gri ilişkisel kat sayıların değerleri gösterilmektedir.

Normalleştirilmiş veri serileri ile referans dizi arasındaki "gri ilişki katsayısı" hesaplanmaktadır. Bu katsayı, her bir karşılaştırılabilir dizinin referans diziyeye olan benzerlik derecesini göstermektedir [67].

$$\varepsilon_i = \frac{\min_j \Delta_j + \omega \max_j \Delta_j}{\Delta_i + \omega \max_j \Delta_j} \quad (5)$$

Burada;

$\Delta_i = |x_0 - x'_i|$, ideal referans dizisi ile normalleştirilmiş değer arasındaki farkın mutlak değerini göstermektedir.

$\min_j \Delta_j$, tüm karşılaştırılabilir diziler için ideal referans dizi ile normalleştirilmiş değerler arasındaki minimum farktır.

$\max_j \Delta_j$, tüm karşılaştırılabilir diziler için ideal referans dizi ile normalleştirilmiş değerler arasındaki maksimum farktır.

Ayırt etme katsayısı (ω), 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Genellikle 0.5 olarak dikkate alınmaktadır. Bu katsayı, farklılıkların göreceli önemini ayarlamaya yardımcı olmaktadır [70]. Bu çalışmada da ω değeri 0.5 olarak kullanılmıştır.

Tablo 5. Gri İlişkisel Kat Sayı

Deney No	Pilling	30 °C	60 °C	Abrasyon
		Boyut Değişimi	Boyut Değişimi	
1	0.5556	0.8400	0.8710	0.4400
2	0.7143	0.4286	0.4030	0.4074
3	1	0.8400	0.9310	0.8462
4	1	0.4286	0.4737	0.3548
5	1	0.8400	0.7297	0.4400
6	1	0.4286	0.4286	0.3333
7	0.5556	0.8400	0.9310	1
8	0.4545	0.4667	0.4286	0.4783
9	0.3333	0.8400	0.8182	0.4400
10	0.7143	0.3818	0.4426	0.3548
11	0.3333	0.4667	0.3506	0.4783
12	0.3333	0.7241	0.6923	0.4783
13	0.3333	0.3333	0.3333	0.4783
14	1	1	1	0.6471
15	1	0.8400	0.9310	0.7333
16	1	0.3818	0.3699	0.4074

Son olarak 6 numaralı denklemdeki formül ile gri ilişkisel dereceler hesaplanmaktadır;

$$G_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (6)$$

Her bir alternatif için, farklı cevaplara ait gri ilişki katsayıları ağırlıklandırılır ve toplanarak "gri ilişki derecesi" (G_i) elde edilir. Gri ilişki derecesi, ilgili alternatifin genel performansını veya referans diziye olan benzerlik derecesini temsil etmektedir. Burada;

G_i , i. alternatifin gri ilişki derecesidir.

n, performans kriterlerinin sayısıdır.

ε_i , gri ilişki katsayısını ifade etmektedir.

Hesaplanan gri ilişki derecelerine göre alternatifler sıralanır. En yüksek gri ilişki derecesine sahip alternatif, en iyi performansa sahip olarak kabul edilir [67].

Tablo 6. Gri İlişkisel Dereceler

Deney No	Gri İlişkisel Dereceler
1	0.6766
2	0.4883
3	0.9043
4	0.5643
5	0.7524
6	0.5476
7	0.8316
8	0.4570
9	0.6079
10	0.4734
11	0.4072
12	0.5570
13	0.3696
14	0.9118
15	0.8761
16	0.5398

Bu değer alternatiflerin performans sıralamasını belirlemek için kullanılmaktadır.

GİA tabanlı Taguchi yönteminin son aşamasında elde edilen gri ilişki derecelerine Taguchi yöntemi entegre edilir. Bu aşamada tüm faktörler için L16 tasarımında aynı düzeye sahip

deneylerin gri ilişki katsayılarının ortalama değeri dikkate alınır. Elde edilen değerler Tablo 7’ de gösterilmektedir.

Tablo 7. GİA Taguchi Entegrasyonu Tablosu

FAKTÖRLER					
DÜZEYLER	A	B	C	D	E
1	0.6528	0.5849	0.6034	0.6782	0.5513
2	0.5928	0.6607	0.6422	0.5674	0.6943
Max.	0.6528	0.6607	0.6422	0.6782	0.6943
Min.	0.5928	0.5849	0.6034	0.5674	0.5513

Bu aşamada yapılan işlem ile her faktör düzeyinin sistem performansına etkisi ölçülmektedir. Bu etkiler karşılaştırılarak en uygun düzey belirlenmektedir.

GİA tabanlı TM yöntemi işleminin adımları sonucunda eş zamanlı optimum sonucu verecek faktör ve düzeyleri ‘A1 B2 C2 D1 E2’ şeklinde bulunmuştur.

Tablo 8. Eş zamanlı Optimizasyon Faktör Düzeyleri

KOD/DÜZEY	FAKTÖR	DÜZEY
A (1)	İplik Üretim Metodu	Ring
B (2)	İplik Hammaddesi	Pes
C (2)	İplik Numarası	30/1 Ne
D (1)	Kumaş Sıklığı	10(ilmek/cm)
E (2)	Desen Yoğunluğu	%17.21

Tablo 8’ deki faktör düzeylerine göre eş zamanlı optimizasyonu sağlayacak deney iki tekrarlı olacak şekilde uygulanmıştır ve deneyin boncuklanma, abrasyon, 30 °C ve 60 °C yıkama sonrası boyut değişimi değerleri Tablo 9’ da gösterilmektedir. Nihai test sonuçları iki tekrarlı yapılmıştır. Yapılan numunelerin test sonuçlarının ortalama değeri alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 9. Optimum Numune Test Sonucu

PILLING	30 °C (cm)	60 °C (cm)	ABRASYON
3	1	6	45.000

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Araştırma Modeli

Bu çalışmada, örme kumaşlarda pilling abrasyon dayanımı ile 30°C ve 60°C sıcaklıklardaki yıkama sonrası boyut değişimlerinin eş zamanlı optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için nicel araştırma yöntemlerinden biri olan deneysel araştırma modeli benimsenmiştir. Araştırma modeli, belirlenen beş temel faktörün (iplik üretim metodu, iplik hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı, desen yoğunluğu) iki farklı düzeydeki etkilerini sistematik olarak incelemek üzere Taguchi deneysel tasarım metodolojisi üzerine kurulmuştur.

Bu bölümde, Gri İlişkisel Analiz tabanlı Taguchi yöntemi kullanılarak elde edilen deneysel veriler analiz edilmekte, kalite karakteristiklerinin eş zamanlı optimizasyonu sonucu belirlenen optimum üretim parametrelerine göre değerlendirmeler yapılmaktadır. Ayrıca, elde edilen bulguların sürdürülebilir üretim anlayışı açısından taşıdığı önem de vurgulanmaktadır. Çalışma kapsamında örme kumaşların pilling, abrasyon, 30°C ve 60°C yıkama sonrası boyutsal değişimi gibi temel kalite özellikleri dikkate alınmış, üretim parametrelerinin bu özellikler üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.1.1. Bağımlı Değişkenler

Araştırmanın bağımlı değişkenlerini ifade etmek gerekirse:

- Pilling: Örme kumaşların yüzeyinde oluşan tüylenme, standart test yöntemleriyle belirlenmiştir.
- Abrasyon Dayanımı: Örme kumaşların yüzeyinde oluşan aşınma miktarı standart test yöntemleriyle belirlenmiştir.

- Boyut Değişimi: Örme kumaşların 30°C ve 60°C sıcaklıklarındaki yıkama işlemleri sonrasında meydana gelen genişlik yönündeki boyut değişiminin santimetre cinsinden ölçümüdür.

3.1.2. Optimizasyon Süreci

Veri toplama aşamasında, Taguchi L16 ortogonal dizisi kullanılarak belirlenen faktör ve düzey kombinasyonlarına göre örme kumaş numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde pilling, abrasyon testleri ve farklı sıcaklıklardaki yıkama sonrası boyut değişim testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çoklu performans verilerini eş zamanlı olarak optimize etmek amacıyla Gri İlişki Analizi metodu uygulanmıştır. GİA ile her bir performans özelliği için gri ilişki katsayıları hesaplanmış ve bu katsayılar kullanılarak gri ilişki dereceleri elde edilmiştir. En yüksek gri ilişki derecesini veren faktör düzey kombinasyonu, eş zamanlı optimizasyon için optimum üretim koşulları olarak belirlenmiştir.

3.1.3. Elde Edilen Optimum Sonuçlar

Çalışmada kullanılan GİA tabanlı Taguchi yöntemi, çoklu kalite özelliklerinin eş zamanlı olarak optimize edilmesine olanak tanıyan güçlü bir istatistiksel tekniktir. Bu yöntemle, normalize edilmiş değerler üzerinden gri ilişki katsayıları hesaplanmış ve her deney için genel performansı temsil eden gri ilişki dereceleri elde edilmiştir. Bu dereceler, faktörlerin kalite karakteristikleri üzerindeki görece önemlerini ve etkilerini değerlendirme amacıyla kullanılmıştır.

L16 ortogonal deney tasarımı kullanılarak GİA tabanlı Taguchi yöntemi ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda, optimum parametre düzeyleri aşağıdaki gibidir:

- İplik Üretim Metodu: Ring
- İplik Hammaddesi: PES (Polyester)
- İplik Numarası: 30/1Ne
- Kumaş Sıklığı: 10 (ilmek/cm)
- Desen Yoğunluğu: %17.21

Bu sonuç hem üretim verimliliği hem de nihai ürün kalitesi açısından en uygun parametre kombinasyonunu temsil etmektedir. Özellikle ring ipliklerin düzgün yapısı ve polyesterin yüksek mukavemet özellikleri, kalite performansını önemli ölçüde artırmıştır. Belirlenen faktörlerin örme kumaşların çoklu performans özellikleri üzerindeki etkilerini sistematik bir şekilde inceleyerek, eş zamanlı optimizasyon için bilimsel bir çerçeve sunmaktadır. Elde edilen optimum sonuçlar, tekstil üreticilerine daha yüksek performanslı ve potansiyel olarak daha sürdürülebilir örme kumaşların üretimi için yol gösterici bilgiler sunmaktadır.

3.1.4. Optimum Parametre Değerleri İle Elde Edilen Numunenin Kalite Test Sonuçları

Belirlenen optimum parametre düzeylerine göre üretilen örme kumaş numunesi üzerinde gerçekleştirilen kalite testlerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Pilling: 3 (orta düzey tüylenme)
- 30 °C Boyutsal Değişim: 1 cm
- 60 °C Boyutsal Değişim: 6 cm
- Abrasyon Dayanımı: 45.000 devir

Bu bulgulara göre, kumaşın pilling direnci orta düzeyde olup, kullanım sırasında sınırlı tüylenme göstermesi beklenmektedir. Özellikle polyester elyafın yapısı ve ring ipliklerin düzgün yüzey formu sayesinde, lif uçlarının kumaş yüzeyinde çıkıntı yapma olasılığı azaltılmıştır. Pilling değerinin 3 seviyesinde olması, bu tür kumaşların günlük kullanım için yeterli bir kalite düzeyine sahip olduğunu göstermektedir.

Boyutsal değişim açısından değerlendirildiğinde, 30 °C'deki yıkama sonrası yalnızca 1 cm'lik değişim meydana gelmiştir. Bu değer kumaşın düşük sıcaklıkta stabil olduğunu göstermektedir. Buna karşın, 60 °C'de 6 cm'lik değişim gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıkta lif yapısının ve iplik bağlantılarının daha fazla etkilenmesi nedeniyle kumaşta belirgin büzülme veya genişleme yaşandığını ortaya koymaktadır. Ancak bu değer, örme kumaşlarda yüksek sıcaklıkta kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almakta olup, kullanım alanına göre tolere edilebilir düzeydedir.

Abrasyon dayanımı sonucu olan 45.000 devir, kumaşın aşınmaya karşı yüksek direnç gösterdiğini ifade etmektedir. Bu değer, örme kumaşların iç ve dış giyimde uzun süreli kullanımını açısından önemli bir performans göstergesidir. Özellikle spor ve aktif giyim ürünlerinde aşınma direnci, tüketici beklentilerini karşılayan önemli bir kalite kriteridir.

3.1.5. Faktörlerin Kalite Özelliklerine Etkisi

İplik Üretim Metodu: Ring iplik üretim yöntemi, yüksek mukavemet ve dayanıklılık özelliği ile abrasyon değerini arttırmada kolaylık sağlamıştır. Düzgün yüzey yapısı sayesinde kaliteli kumaş görünümü elde edilmiştir.

İplik Hammaddesi: Polyester elyafların doğal mukavemetlerinin yüksek olması, aşınma ve çekme gibi mekanik etkilere karşı direncin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca düşük nem emiciliği, boyutsal stabilite açısından avantaj oluşturmaktadır.

İplik Numarası: İnce ipliklerin (30/1 Ne) daha sık ve düzgün yapılar oluşturması, kumaş yüzey kalitesini artırırken, aynı zamanda fiziksel dayanımı da desteklemektedir. Bu sayede hem pilling hem de aşınma direncinde artış gözlemlenmiştir.

Kumaş Sıklığı: Düşük sıklığa sahip kumaşlarda ipliklerin hareket alanı artmakta, bu da kumaşın esnekliğini ve konforunu artırmaktadır. Aynı zamanda, daha gevşek yapıların boyutsal değişime yatkınlığı, uygun iplik ve yapı kombinasyonları ile dengelenebilmektedir.

Desen Yoğunluğu: %17.21 (çok yoğun desen) desen yoğunluğu, kumaş yüzeyindeki lif hareketliliğini sınırlandırmakta ve hem aşınma hem de deformasyon riskini azaltmaktadır. Bu nedenle, yüksek desen yoğunluğu, kumaş performansını olumlu etkilemiştir.

3.1.6. Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirme

Sürdürülebilir tekstil üretiminde ürün ömrünün uzatılması ve kaynak kullanımının optimize edilmesi esastır. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, kumaşın pilling, aşınma ve yıkama sonrası deformasyon gibi temel dayanıklılık parametrelerinde yüksek performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu da kumaşın kullanım ömrünü uzatmakta

ve daha az sıklıkla değiştirilmesini sağlayarak tekstil atıklarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Ayrıca, optimum koşullarda elde edilen kumaş numunesinin dayanıklılığı sayesinde ürün geri dönüşüm döngüsüne daha geç girmekte, bu da malzeme tasarrufu ve enerji verimliliği açısından olumlu bir etki yaratmaktadır. Bu bağlamda çalışma, sadece teknik değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik kriterleriyle de uyumlu sonuçlar sunmaktadır.



4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Bu çalışma, örme kumaşlarda pilling abrasyon direnci ve farklı yıkama sıcaklıklarındaki (30°C ve 60°C) boyut değişiminin eş zamanlı optimizasyonunu hedeflemenin yanı sıra, elde edilen bulguları sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Optimizasyon sürecinde, Taguchi deneysel tasarım metodu ve gri ilişki analizi kullanılarak beş farklı faktörün (iplik üretim metodu, hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı ve desen yoğunluğu) ve her birinin iki farklı düzeyinin etkileri incelenmiştir. Kullanılan faktörler ve düzeyleri aşağıdaki gibidir:

- İplik Üretim Metodu: Ring, Vorteks
- Hammadde: Viskon, PES (Polyester)
- İplik Numarası: 20/1Ne, 30/1Ne
- Kumaş Sıklığı: 10, 14 (ilmek/cm)
- Desen Yoğunluğu: %2.57, %17.21

Taguchi L16 ortogonal dizisi kullanılarak planlanan deneyler sonucunda elde edilen pilling, abrasyon ve boyut değişimi verilerinin gri ilişki analizi ile değerlendirilmesi, çoklu performans özelliklerinin eş zamanlı optimizasyonu için optimum faktör düzeylerini aşağıdaki gibi belirlemiştir:

- İplik Üretim Metodu: Ring
- Hammadde: PES (Polyester)

- İplik Numarası: 30/1Ne
- Kumaş Sıklığı: 10 (ilmek/cm)
- Desen Yoğunluğu: %17.21

Elde edilen gri ilişki dereceleri, bu optimum faktör kombinasyonunun hem yüksek pilling abrasyon direnci hem de minimum boyut değişimi sağladığını göstermektedir. Faktörlerin gri ilişki dereceleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, ring iplik üretim metodunun, vorteks iplikçiliğine kıyasla daha yüksek bir gri ilişki derecesi sağlaması, bu metodun eş zamanlı optimizasyon hedefleri açısından daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Ring ipliklerin daha stabil bir yapıya sahip olması, yıkama sonrası boyut değişimini de olumlu yönde etkileyebilmektedir. Bu sonuç, iplik üretim metodunun kumaşın nihai performansı üzerinde önemli bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır.

PES hammaddesinin, viskona göre daha yüksek gri ilişki derecesi sunması, polyesterin hem pilling direnci hem de boyutsal stabilite açısından daha üstün performans sergilediğini işaret etmektedir. Polyester liflerinin hidrofobik yapısı, su emilimini azaltarak yıkama sırasında liflerin şişmesini ve dolayısıyla boyut değişimini minimize etmektedir. Ayrıca, polyesterin yüksek mukavemeti, liflerin yüzeyden koparak pilling oluşturma eğilimini de azaltmaktadır. Bu bulgu, teknik tekstillerde ve dayanıklılık gerektiren uygulamalarda polyesterin tercih edilmesinin nedenlerini desteklemektedir.

İnce iplik numarası Ne 30/1'in, daha kalın olan Ne 20/1'e göre daha iyi bir gri ilişki derecesi vermesi, iplik inceliğinin kumaş performansı üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. İnce ipliklerin daha sık bir şekilde örülebilmesi, kumaşın yüzeyinin daha düzgün olmasına ve lif uçlarının daha iyi tutunmasına katkıda bulunmaktadır, bu da pilling oluşumunu azaltmaktadır. Ayrıca, daha sık örülmüş kumaşların yıkama sonrası boyut stabilitesinin de daha iyi olması beklenmektedir.

Daha düşük kumaş sıklığı olan 10 (ilmek/cm) 'un, daha yüksek sıklık olan 14 (ilmek/cm)'e göre optimum sonuçlara daha fazla katkı sağlaması ilk bakışta şaşırtıcı olabilir. Ancak bu durum, çok sıkı örülmüş kumaşlarda liflerin birbirine sürtünmesinin artması ve bu durumun pilling eğilimini yükseltmesiyle açıklanmaktadır. Ayrıca, daha düşük sıklıkta daha esnek bir yapı oluşarak yıkama sonrası gerilmelerin daha kolay absorbe edilmesi ve

boyut değişiminin azalması mümkündür. Bu sonuç, kumaş sıklığının optimizasyonunda dengeli bir yaklaşımın önemini vurgulamaktadır.

Çok desen yoğunluğunun, az desen yoğunluğuna göre daha olumlu etkiler göstermesi, desen yapısının kumaşın yüzey özelliklerini ve dolayısıyla performansını etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Elde edilen optimum faktör düzeyleri sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, bazı önemli noktalar ortaya çıkmaktadır. Örneğin, PES (Polyester) hammaddesi, viskona kıyasla genellikle daha düşük su tüketimi ve daha az kimyasal işlem gerektirmektedir, bu da çevresel ayak izini azaltmaktadır. Ayrıca, PES liflerinin geri dönüştürülebilir olması da sürdürülebilirlik açısından bir avantaj sunmaktadır. Ancak, PES'in petrol bazlı bir sentetik lif olduğu ve biyolojik olarak parçalanabilirliğinin düşük olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

4.2. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, örme kumaşlarda pilling, abrasyon direnci ve 30°C ile 60°C'deki yıkama sonrası boyut değişiminin eş zamanlı optimizasyonunu GİA tabanlı TM ile başarıyla gerçekleştirmiştir. Beş farklı faktörün (iplik üretim metodu, hammaddesi, iplik numarası, kumaş sıklığı ve desen yoğunluğu) iki farklı düzeydeki etkileri sistematik bir şekilde incelenmiş ve optimum faktör kombinasyonu belirlenmiştir.

Gri ilişki analizi, her dört cevap (pilling, abrasyon, 30°C ve 60°C'deki boyut değişimi) için eş zamanlı olarak en iyi sonucu veren faktör düzeylerini iplik üretim metodunda Ring, hammadde olarak PES (Polyester), iplik numarasında 30/1Ne, kumaş sıklığında 10 (ilmek/cm) ve desen yoğunluğunda %17.21 olarak belirlemiştir. Bu kombinasyon, incelenen faktörler ve düzeyler arasında en yüksek gri ilişki derecesine sahip olup, optimum çoklu performans göstermektedir.

Gri ilişki analizi tabanlı Taguchi yönteminin, çoklu performans özelliklerinin eş zamanlı optimizasyonunda etkili bir araç olduğu gösterilmiştir. Bu yöntem, farklı performans kriterlerini tek bir gri ilişki derecesi altında birleştirerek, karmaşık optimizasyon problemlerine sistematik ve verimli bir çözüm sunmaktadır.

Optimum faktör kombinasyonu sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, PES hammaddesinin potansiyel çevresel avantajları (düşük su tüketimi, geri dönüştürülebilir olması) ve vorteks iplik üretim metodunun olası faydaları dikkate alınmıştır. Ancak, her bir faktörün yaşam döngüsü etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi, daha kesin sürdürülebilirlik çıkarımları yapmak için gereklidir.

Sonuç olarak, bu çalışma sonucunda belirlenen optimum faktör düzeyleri, örme kumaşların performans özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra, hammadde seçimi, üretim metotları ve kaynak kullanımı gibi faktörleri dikkate alarak sürdürülebilirlik ilkelerine uyumlu hale getirilmiştir.

Gelecekteki araştırmalar, optimum parametrelerin çevresel etkilerini daha detaylı bir şekilde analiz ederek, tekstil sektöründe daha sürdürülebilir üretim pratiklerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Özellikle, PES hammaddesinin geri dönüştürülme potansiyeli ve Vorteks iplik üretiminin çevresel avantajları üzerine odaklanılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Pereira, C. S., Mota, J. F., Ribeiro, P., 2020. Sustainable textile production. A review. **Journal of Cleaner Production**, **254**: 120203.
- [2] Yılmaz, A., Güney, E., 2021. Tekstil ürünlerinde pilling, abrasyon ve boyut değişimi analizi. **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi**, **28**(4): 507-515.
- [3] Çelik, D., 2020. Sürdürülebilir tekstil üretimi: Çevresel etkiler ve yenilikçi çözümler. **Sustainable Manufacturing Review**, **12**(3): 201-210.
- [4] Li, X., 2008. A grey relational analysis approach to the optimization of the textile material properties. **Textile Research Journal**, **78**(5): 391-398.
- [5] Karaca, G., 2020. Sürdürülebilir tekstil üretimi ve çevresel etkileri. **Journal of Textile Engineering and Fashion Technology**, **7**(1): 52-58.
- [6] Özerdem, B., 2012. Örme kumaşlarda kullanılan ipliklerin performans özellikleri üzerine etkisi. **Tekstil Teknoloji Dergisi**, **8**(2): 23-30.
- [7] Wood, E. 2006. Formation and Properties of Knitted Structures [Lecture notes]. The Australian Wool Education Trust, University of New England.
- [8] Saville, B. P., 1999. Physical Testing of Textiles. Woodhead Publishing, 448 pp.
- [9] Gokarneshan, N., 2009. Knitting Technology: A Comprehensive Handbook. Woodhead Publishing, 350 pp.
- [10] Horrocks, A. R., Anand, S. C., 2015. Handbook of Technical Textiles. Woodhead Publishing, 576 pp.
- [11] Dalbaşı, E. S. N., & Kayseri, G. Ö., (2015). Pilling formation [Şekil 1]. In A research about the effect of the anti-pilling treatments on different structured cotton knitted fabrics (Şekil 1, s. X). Yayınlanmamış makale.
- [12] Spencer, D. J., 2001. Knitting Technology: Third Edition. CRC Press, 406 pp.
- [13] Niinimäki, J., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., Gwilt, A., 2020. The environmental price of fast fashion. **Nature Reviews Earth & Environment**, **1**(4): 189-200.

- [14] Brundtland Commission, 1987. Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations, 383 pp.
- [15] Kant, R., 2012. Textile dyeing industry environmental impacts and treatment approaches. **Environmental Science and Pollution Research**, **19**(6): 1771-1787.
- [16] Shen, B., 2014. Towards sustainable textile dyeing and finishing. **Textiles and Clothing Sustainability**, **1**(1): 1-17.
- [17] Chapman, J., 2009. Emotionally Durable Design: Objects, Experiences and Empathy. Routledge, 224 pp.
- [18] Demircan, Ö., Şenyiğit, E., 2024. İplik üretiminde Taguchi tabanlı gri ilişkisel analizi uygulaması. **İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi**, **4**(2): 65-72.
- [19] Budun Gülas, S., Asma, A., Özyazgan, V., Gülal, S., 2022. Sürdürülebilir kumaş tasarımında kompozisyon ve konstrüksiyon farklılıklarının kumaşın fiziksel özellikleri üzerine etkisi. **Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi**, **17**(65): 37-55.
- [20] Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu (Brundtland Komisyonu). 1987. Our common future. Oxford University Press. <https://sustainabledevelopment-un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- [21] Cengizalp, B., 2023. Sürdürülebilir havlu kumaş üretiminde doğal ve rejenere lif uygulamaları. Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 120 s
- [22] Muthu, S. S., 2014. Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain. Woodhead Publishing, 314 pp.
- [23] Kalkancı, M., 2017. Sürdürülebilir tekstil üretiminde “organik pamuk” ve önemi. **Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, **1**(1): 45-52.
- [24] Fletcher, K., 2008. Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys. Earthscan, 336 pp.
- [25] Alper, F., 2015. Sürdürülebilirlik kavramı içerisinde su ayak izi: Tekstil sektörü örneği. **Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, **2**(1): 15-25.

- [26] Shah, K., Patel, M., 2019. Green chemistry in textiles: Present and future. **Materials Today: Proceedings**, **9**: 120-124.
- [27] Şenyiğit, E., İnci, H., 2024. Taguchi tabanlı gri ilişki analizi ile bir tekstil firmasında sürdürülebilirlik uygulaması. **İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi**, **4(2)**: 48-53.
- [28] Patel, M., Shah, R., 2018. Optimization of textile dyeing process using Taguchi and Grey Relational Analysis (GRA). **Journal of Textile Engineering**, **42(4)**: 315-324.
- [29] Özbey, G., 2019. Selülozik materyallerin bentonit ile ağartılması olanaklarının araştırılması. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bartın, 105 s.
- [30] Zhao, Y., Wang, T., Liu, F., 2019. Sustainable production of recycled fibers using Taguchi method and Grey Relational Analysis. **Journal of Cleaner Production**, **128**: 453-461.
- [31] Kumar, S., Patel, A., 2020. Energy optimization in textile production using Taguchi and Grey Relational Analysis. **Energy Efficiency Journal**, **12(5)**: 893-908.
- [32] Chatterjee, A., Banerjee, S., 2021. Optimization of environmental impact in sustainable fashion production using Taguchi method and Grey Relational Analysis. **Sustainable Fashion Journal**, **9(3)**: 145-160.
- [33] Üstüntağ, S., 2018. Denim kumaşlara uygulanan kaplama proseslerinin Taguchi metodu ile incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Kayseri, 210 s.
- [34] Singh, R., Gupta, V., 2022. Optimization of textile waste recycling processes using Taguchi and Grey Relational Analysis. **Waste Management Journal**, **57**: 302-310.
- [35] Kumar, A., Singh, R., 2020. Optimization of surface quality in textile manufacturing using Taguchi method and Grey Relational Analysis. **Materials Today Proceedings**, **29(1)**: 234-241.
- [36] Wang, J., Zhao, X., 2021. Multi-performance optimization in textile fiber production using Taguchi method and Grey Relational Analysis. **Journal of Industrial Textiles**, **51(2)**: 452-467.

- [37] Kumar, A., Sharma, V., 2019. Optimization of surface roughness in turning operation using Taguchi method and Grey Relational Analysis. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **104**(5): 1157-1165.
- [38] Patel, H., Singh, R., 2020. Optimization of engine performance parameters using Taguchi method and Grey Relational Analysis. **Journal of Mechanical Engineering Science**, **234**(8): 1546-1554.
- [39] Gomez, P., Hernandez, R., 2018. Optimization of ice cream production parameters using Taguchi and Grey Relational Analysis. **Journal of Food Processing and Preservation**, **42**(6): e13711.
- [40] Sanchez, J., Fernandez, M., 2020. Optimization of composite material properties in aerospace industry using Taguchi and Grey Relational Analysis. **Composites Part B: Engineering**, **175**: 107089.
- [41] Patel, R., Kaur, S., 2024. Multi-objective optimization of grinding hardened steels using Taguchi and Grey Relational Analysis. **International Journal of Precision Engineering**, **11**(2): 115-124.
- [42] Kim, H., Lee, J., 2023. Optimization of milling parameters using Taguchi method and Grey Relational Analysis. **Journal of Manufacturing Processes**, **85**: 152-160.
- [43] Zhang, Y., Liu, X., 2023. Optimization of pilling resistance of fabrics using Grey Relational Analysis and Taguchi Method. **Textile Research Journal**, **93**(5): 612-623.
- [44] Kim, S., Park, J., 2023. Optimization of abrasion resistance in woven fabrics using Grey Relational Analysis and Taguchi Method. **Journal of Textile Engineering**, **69**(4): 221-230.
- [45] Büyükkoru, B., 2021. Viskon, pamuk ve polyester kumaş türlerinde pilling (boncuklanma) değerlerini iyileştiren ve kumaşlara yumuşak tuşe veren yeni nesil polimerlerin geliştirilmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa, 180 s.
- [46] Patel, M., Gupta, P., 2023. Optimization of dimensional stability in synthetic fabrics using Grey Relational Analysis and Taguchi Method. **International Journal of Textile Science**, **12**(1): 45-53.

- [47] Çetin, E., 2009. Ring ve kompakt ipliklerde sürtünme katsayısının ve iplik tüylülüğünün pilling üzerine etkisi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 90 s.
- [48] Singh, A., Rao, N., 2023. Pilling resistance optimization of cotton fabrics using Grey Relational Analysis and Taguchi Method. **Journal of Cotton Science**, **27**(2): 145-155.
- [49] Rejali, M., Hasani, H., Ajeli, S., Shanbeh, M., 2013. Optimization and prediction of the pilling performance of weft knitted fabrics produced from wool/acrylic blended yarns. **Indian Journal of Fibre & Textile Research**, **39**(1): 83-88.
- [50] Baykal, P. D., Uyanık, S., 2023. Farklı liflerden vorteks ipliklerle örülmüş kumaşlarda boncuklanma davranışlarının incelenmesi. **Tekstil ve Mühendis**, **30**(130): 113-123.
- [51] Ahmad, Z., Nair, P., 2023. Pilling and abrasion resistance optimization in blended yarns using Grey Relational Analysis and Taguchi Method. **Blended Fabrics Journal**, **11**(3): 201-210.
- [52] Masaeli, R., Hasani, H., Shanbeh, M., 2015. Elastik dokuma kumaşların fiziksel özelliklerinin Grey-Taguchi yöntemi kullanılarak optimize edilmesi. **The Journal of The Textile Institute**, **106**(8): 814-822.
- [53] Booth, J. E., 1996. Principles of Textile Testing. Butterworths, 580 pp.
- [54] Özdil, N., 2007. Tekstil Lifleri. Marmara Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 320 s.
- [55] Ito, M., 2008. Air-vortex spinning, pp. 245-263. In: High-speed Fiber Spinning: Science and Engineering Aspects (Eds. A. Ziabicki, H. Kawai). Woodhead Publishing, Cambridge.
- [56] Yılmaz, M., Uçar, N., 2018. Vortex ipliklerinin özellikleri ve kullanım alanları. **Tekstil ve Mühendis**, **25**(111): 15-24.
- [57] Kadoglu, H. T., Babaarslan, O., 2011. An overview of yarn spinning technologies. **Tekstil ve Konfeksiyon**, **21**(3): 218-226.
- [58] Hearle, J. W. S., Grosberg, P., Backer, S., 1969. Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics. Wiley-Interscience, New York, 483 pp.

- [59] Slater, K., 1995. Textile Technology: The Interrelation of Fibres, Yarns, and Fabrics. Prentice Hall, London, 352 pp.
- [60] Eurolab, t.y. Kumaş sıklığı. (Web sayfası: <https://www.laboratuvar.com/tekstil-testleri/fiziksel-testler/kumas-sikligi>) (Erişim tarihi: 14 Nisan 2025).
- [61] Optima Türk, t.y. Kumaş sıklığı tayini. (Web sayfası: <https://optimaturk.com/kumas-sikligi-tayini/>) (Erişim tarihi: 14 Nisan 2025).
- [62] Taguchi, G., 1986. Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes. Asian Productivity Organization, Tokyo, 191 pp.
- [63] Ross, P. J., 1996. Taguchi Techniques for Quality Engineering (2nd ed.). McGraw-Hill, New York, 350 pp.
- [64] Fazeli, F., Tavanai, H., Hamadani, A. Z., 2012. Application of Taguchi and full factorial experimental design to model the color yield of cotton fabric dyed with six selected direct dyes. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, 7(3): 34-42.
- [65] Kghanlou, H. M., Ang, B. C., Talebian, S., Afifi, A. M., Andriyana, A., 2015. Electrospinning of polymethyl methacrylate nanofibers: Optimization of processing parameters using the Taguchi design of experiments. **Textile Research Journal**, 85(4): 356-368.
- [66] Ogulata, R. T., Mezarciöz, S. M., 2011. Optimization of air permeability of knitted fabrics with the Taguchi approach. **The Journal of The Textile Institute**, 102(5): 395-404.
- [67] Deng, J., 1989. Introduction to grey system theory. **Journal of Grey System**, 1(1): 1-24.
- [68] Liu, S. F., Lin, Y. H., 2006. Grey Systems: Theory and Applications. Springer, Berlin, 350 pp.
- [69] Ahmad, N., Kamal, S., Raza, Z. A., Hussain, T., Anwar, F., 2016. Multi-response optimization in the development of oleo-hydrophobic cotton fabric using Taguchi based Grey Relational Analysis. **Applied Surface Science**, 367: 370-381.
- [70] Deng, J., 1989. Introduction to grey system theory. **Journal of Grey System**, 1(1): 1-24.

- [71] Hwang, C. L., Yoon, K., 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer, Berlin, 259 pp.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hatice İNCİ GÖMEÇ

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2022
Lise	Levent Aydın Anadolu Lisesi, Antalya	2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2022-Halen	Boytexs Tekstil	Ürün Geliştirme Uzmanı

YABANCI DİL

İngilizce

Rusça

YAYINLAR

1. H. İnci, E. Şenyiğit (20250000000). " Bir Tekstil Firmasında Öreme Bölümünde Sürdürülebilirlik İçin Gri İlişki Analizi Tabanlı Taguchi Yöntemi İle Çok Amaçlı Karar Verme Uygulaması". 15. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 2025.