

**REAKTİF BOYAMADA LABORATUVAR İLE İŞLETME RENK
FARKININ AZALTILMASI: TAGUCHİ YAKLAŞIMINA DAYALI
BİR UYGULAMA**

**Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İşletme Ana Bilim Dalı
Sayısal Yöntemler Programı**

Emel ERCAN

Danışman: Doç. Dr. Nilfen KUNDAKCI

**Haziran 2019
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

İşletme Ana Bilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı öğrencisi Emel ERCAN tarafından Doç. Dr. Nilsen KUNDAKCI yönetiminde hazırlanan “Reaktif Boyamada Laboratuvar İle İşletme Renk Farkının Azaltılması: Taguchi Yaklaşımına Dayalı Bir Uygulama” başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 26/06/2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Aşkİner GÜNGÖR

Jüri-Danışman

Doç. Dr. Nilsen KUNDAKCI

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇAKIR

Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun 02/08/2019 tarih ve 32/01 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Ahmet BARDAKCI

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atıfta bulunulduğunu beyan ederim.

İmza

Öğrenci Adı Soyadı: Emel Ercan

ÖNSÖZ

“Reaktif Boyamada Laboratuvar İle İşletme Renk Farkının Azaltılması: Taguchi Yaklaşımına Dayalı Bir Uygulama” konulu tez çalışması, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı’nda “Yüksek Lisans Tezi Sunumu” olarak hazırlanmıştır.

Akademik hayatıma başladığım günden beri bana yol gösteren, bu tez çalışmasının ortaya çıkmasında yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen ve üzerimde sonsuz emeği olan çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Nilsen KUNDAKCI’ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamı destekleyen yöneticim Sayın Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU’na, çalışma sürecinde değerli bilgileri ile beni yönlendiren sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Aşkîner GÜNGÖR’e, her türlü bilgiyi benimle paylaşan, tüm imkanları bana sunan ve desteklerini benden esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Esra GELGEÇ’e, Filiz YILDIRIM’a, Sultan ARAS’a ve değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak yüksek lisans eğitimim boyunca motivasyon kaynağım olan biricik kızım Ezgi ERCAN’a, bana her konuda sabırla destek veren, emeklerini benden esirgemeyen ve sevgisini her daim üzerimde hissettiğim eşim Emre ERCAN’a, her zaman yanımda olan annelerime ve babalarıma teşekkür ederim.

Emel ERCAN

ÖZET

REAKTİF BOYAMADA LABORATUVAR İLE İŞLETME RENK FARKININ AZALTILMASI: TAGUCHİ YAKLAŞIMINA DAYALI BİR UYGULAMA

Ercan, Emel
Yüksek Lisans Tezi
İşletme ABD
Sayısal Yöntemler Yüksek Lisans Programı
Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Nilsen KUNDAKCI

Haziran 2019, IX+89 Sayfa

Bu çalışmada, laboratuvar ve işletme koşullarında aynı reçetenin reaktif boyama işlemi ile aynı özellikteki pamuklu havlu kumaşlarına uygulanması sonucunda oluşan renk farkının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Laboratuvarda gerçekleştirilen renk çalışmalarının, işletme koşullarında boyanmış ürünlerdeki renk ile eşdeğer olabilmesi için deney tasarımı tekniklerinden biri olan Taguchi yöntemi kullanılarak laboratuvar boyama işleminde optimum proses koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece kalite değerini oluşturan renk farkının minimum seviyede gerçekleşmesi hedeflenmiştir.

Uygulama kapsamında boyama süresi, tuz/soda miktarı, kostik miktarı ve makine tur sayısı incelenecek faktörler olarak seçilmiştir. Ardından Taguchi yöntemindeki ortogonal dizi matrisindeki kombinasyonlara göre laboratuvar koşullarında reaktif boyamalar gerçekleştirilmiş, sonrasında renk farkları spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda optimum proses koşulları 70 dk boyama süresi, 40/6 g/l tuz/soda miktarı, 0 g/l kostik miktarı ve 20 makine tur sayısı olarak belirlenmiştir. Faktörlerin etki derecelerinin belirlenebilmesi yönelik varyans analizi yapılmıştır.

Çalışmada, Taguchi yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen optimum laboratuvar reaktif boyama koşulu sayesinde işletme ve laboratuvar boyamaları arasındaki renk farkı azaltılmıştır. Böylece boyahane işletmesinde renk farkı hatasından kaynaklanan ilave (tamir) boyamalar azaltılmış ve bu sayede maliyet kazancı sağlanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Taguchi yöntemi, renk farkı, reaktif boyama

ABSTRACT

REDUCING COLOR DIFFERENCE BETWEEN LABORATORY AND DYEHOUSE IN REACTIVE DYEING: AN APPLICATION BASED ON TAGUCHI APPROACH

Ercan, Emel
Master Thesis
Department of Business Administration
Quantitative Methods Programme
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nilsen KUNDAKCI

June 2019, IX+89 Pages

In this study, it is aimed to minimize the color difference resulting from the application of the same prescription to cotton terry fabrics with the same characteristics as the reactive dyeing process in laboratory and operating conditions. In order to ensure that the color studies performed in the laboratory are equivalent to the color of the dyed products under the operating conditions, the optimum process conditions were tried to be determined in the laboratory painting process by using the Taguchi method, which is one of the experimental design techniques. Thus, it is aimed to achieve the minimum color difference which constitutes the quality value.

In the application, dyeing time, salt / soda amount, the amount of caustic and the number of machine turns were selected as the factors to be examined. The color difference was measured by spectrophotometer after the reactive dyeings were performed in laboratory conditions according to the combinations in the orthogonal array matrix in Taguchi method. According to the obtained data, optimum process conditions were determined as 70 min dyeing time, 40/6 g/l salt/soda amount, 0 g/l caustic amount and 20 machine turn number. Variance analysis was performed to determine the effect levels of the factors.

In this study, the optimum laboratory reactive dyeing condition obtained as a result of the application of Taguchi method has reduced the color difference between operating and laboratory dyeings. Thus additional (repair) dyeings due to color difference error in the dyeing plant were reduced and cost savings were achieved.

Keywords: Taguchi method, color difference, reactive dyeing

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLOLAR DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM REAKTİF BOYAMA

1.1. Reaktif Boyama.....	3
1.2. Reaktif Boyamada Düzgünlüğün ve Tekrarlanabilirliğin Sağlanması	6

İKİNCİ BÖLÜM DENEY TASARIMI VE KALİTE

2.1. Kalite	7
2.1.1. Kalite Kontrol ve İstatistiksel Kalite Kontrol	8
2.1.2. Kalite Maliyetleri	9
2.2. Deney Tasarımı	11
2.3. Geleneksel Metodoloji ile Deney Tasarım	14
2.4. İstatistiksel Metodoloji ile Deney Tasarım	15
2.4.1. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı	16
2.4.2. Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı	17
2.5. Taguchi Yöntemi.....	17
2.5.1. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi	19
2.5.1.1. Çevrim içi kalite kontrol	20
2.5.1.2. Çevrim dışı kalite kontrol.....	21
2.5.2. Taguchi Kayıp Fonksiyonu.....	25
2.5.3. Taguchi Sinyal/Gürültü Oranı	27
2.5.4. Robust Tasarım	28
2.5.5. Taguchi Deney Tasarımı Yönteminin Uygulama Adımları	29
2.5.5.1. Problemin tanımlanması	31
2.5.5.2. Performans niteliği ve ölçüm sistemlerinin tanımlanması	31
2.5.5.3. Performans niteliğini etkileyen ilgili faktör ve seviyelerinin tanımlanması	31
2.5.5.4. Faktörlerin kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olarak ayrılması ...	32
2.5.5.5. Etkileşimlerin tanımlanması	32
2.5.5.6. Uygun ortogonal dizi seçimi ve bu dizilere faktörlerin yerleştirilmesi	33
2.5.5.7. Performans istatistiklerinin belirlenmesi	34
2.5.5.8. Deneylerin uygulanması ve sonuçların ölçülmesi	35
2.5.5.9. Verilerin analiz edilmesi	35
2.5.5.10. Doğrulama deneyinin gerçekleştirilmesi	36
2.6. Literatür Araştırması	36

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TAGUCHİ YÖNTEMİNİN BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE UYGULANMASI

3.1.	Uygulama Alanı İşletmenin Tanıtımı.....	45
3.2.	Problem Belirlenmesi.....	45
3.3.	Taguchi Yönteminin Uygulanması	49
3.3.1.	Faktörler ve Seviyelerin Belirlenmesi	50
3.3.1.1.	Kontrol edilemeyen faktörler	50
3.3.1.2.	Kontrol edilebilir faktörler	52
3.3.2.	Deneyin Uygulanması ve Verilerin Analizi.....	54
3.3.3.	Boyanmış Havlu Kumaşların Renk Değeri Farklılıklarının Ölçülmesi.....	58
3.3.4.	Taguchi Yöntemine Göre Optimum Koşulun Tespit Edilmesi	69
3.3.5.	Doğrulama Deneyi.....	75
	SONUÇ VE ÖNERİLER	78
	KAYNAKLAR	81
	EKLER.....	86
	ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Reaktif boyarmaddelerin şematik yapısı.....	3
Şekil 1.2. Reaktif boyama işlem adımları	5
Şekil 2.1. Temel istatistiki kalite teknikleri	9
Şekil 2.2. Kalite maliyetleri kapsamı	10
Şekil 2.3. Bir sürecin genel modeli	12
Şekil 2.4. Geleneksel metodoloji ile yapılan deney tasarımı ve ölçümü	14
Şekil 2.5. Taguchi kalite kontrol sistemi.....	19
Şekil 2.6. Çevrim içi ve çevrim dışı kalite kontrol sistemi kapsamaları.....	20
Şekil 2.7.Taguchi yöntemi çevrimdışı kalite kontrol sistematığı.....	22
Şekil 2.8. Taguchi parametre tasarımı yönteminin akışı.....	24
Şekil 2.9. Taguchi toplum kaybının yapısı	26
Şekil 2.10.Taguchi kayıp fonksiyonunun grafiksel gösterimi	27
Şekil 2.11. Taguchi yöntemi uygulamasında izlenecek sistemli yaklaşım akışı.....	30
Şekil 2.12. İki faktör arasındaki etkileşim grafikleri.....	33
Şekil 3.1. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen 60 °C sıcaklıktaki reaktif boyama grafiği	47
Şekil 3.2. İşletme koşullarında gerçekleştirilen 60 °C sıcaklıktaki reaktif boyama grafiği	48
Şekil 3.3. Laboratuvar ve işletme renk farklılığına neden olabilecek faktörler	51
Şekil 3.4. Rapid: EcoDyer laboratuvar tipi boyama makinesi	56
Şekil 3.5. Elektronik pipetleme işlemi	57
Şekil 3.6. Sıvı çözeltilerin hazırlandığı metal tüpler	57
Şekil 3.7. CIELab renk uzayı	59
Şekil 3.8. Renk açısı, doyumluk ve değer	60
Şekil 3.9. Spektrofotometre cihazı ile renk değeri farklılıkları ölçümü.....	61
Şekil 3.10. a^*-b^* grafikleri	63
Şekil 3.11. L^*-C^* grafikleri	64
Şekil 3.12. ΔE^* grafiği	65
Şekil 3.13. ΔL^* grafiği	66
Şekil 3.14. Δa^* grafiği	66

Şekil 3.15. Δb^* grafiği	67
Şekil 3.16. ΔC^* grafiği.....	68
Şekil 3.17. Δh^* grafiği	68
Şekil 3.18. ΔE^* değeri için ortalamalar grafikleri	74
Şekil 3.19. ΔE^* değeri için S/G oranları grafikleri	74



TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Reaktif boyarmaddelerin uygulama yöntemleri	4
Tablo 2.1. Tam faktöriyel deney tasarımı tablosu	16
Tablo 2.2. S/G oranı formülleri.....	28
Tablo 3.1 Hatalı reaktif boyamalarının maliyet faktörüne etkisi	46
Tablo 3.2. Kontrol edilebilir faktörler ve seviye değerleri.....	52
Tablo 3.3. Taguchi L ₉ ortogonal dizisi deneysel tasarım planı	55
Tablo 3.4. Boyalı havlu kumaşlarının renk değerleri ve renk farklılık ölçüm sonuçları	62
Tablo 3.5. Gözlem değerlerinin Minitab çıktıları	70
Tablo 3.6. Renk farkı çıktısının ortalama ve S/G oranları	71
Tablo 3.7. Varyans analizi sonuçları.....	71
Tablo 3.8. ΔE^* değerleri S/G oranı için yanıt tablosu	72
Tablo 3.9. ΔE^* değerleri ortalamalar için yanıt tablosu	73
Tablo 3.10. Doğrulama deneyinin proses koşulları	75
Tablo 3.11. Laboratuvardaki mevcut durum ve Taguchi yöntemi sonucunun kıyaslanması.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

y_i	Kalite değişkeni
μ	Ortalama
σ	Standart sapma

Kisaltmalar

ANOVA	Varyans Analizi (Analysis of Variance)
db	desibel
G	Gürültü
S	Sinyal
SD	Serbestlik derecesi
SS_M	Ortalama Kareler
SS_T	Kareler Toplamı
S/G	Sinyal/Gürültü

GİRİŞ

Küreselleşen dünyadaki rekabet ortamının varlığı tekstil işletmelerinin yüksek kalitede ve düşük maliyette ürün veya hizmet üretimi gerçekleştirmelerini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda müşterilerde gün geçtikçe artan beklentiler, kalite kavramındaki algının yükselmesine sebep olmuştur. Bu algının karşılanabilmesine yönelik kalite özelliklerinin incelenerek kalitenin geliştirilebilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Günümüzde gerçekleştirilen çalışmalara göre kalitenin üretim aşamasında sağlanabilmesi ve üretim sonrasında kontrol edilmesi yetersiz olduğu için tasarım sürecinde kalitenin sağlanabilmesi ve kontrol edilmesi zorunluluğu oluşmuştur. Yüksek kaliteli ürün üretimi ve ürün kalitesinin geliştirilmesi sağlanırken, tekstil işletmelerinin ürün tasarım aşamasından itibaren ürün kalitesine etki eden parametreleri iyi analiz etmesi ve bu parametrelerin optimum düzeylerde gerçekleştirebilmesi önemlidir.

Tekstil sektöründeki boyahane işletmelerinde reaktif boyamalarının tek seferde doğru yapılabilmesi ve aynı renk uygulamalarında tekrarlanabilirliğin sağlanması oldukça önemlidir. Reaktif boyama çalışmaları müşterilerin isteğine göre laboratuvar ortamında gerçekleştirildikten sonra müşteri onayı doğrultusunda sipariş üretimleri gerçekleştirilmektedir. Ancak laboratuvar renk çalışmaları sipariş üretimine aktarıldığında renk farkı problemi ile karşılaşılabilir. Bu doğrultuda renk farklılığının iyileştirilebilmesi için renk farkına neden olabilecek tüm kalite parametrelerinin her bir seviye için incelenmesi gerekliliği oluşmaktadır. Bu durum da uygulama sayısını arttırarak boyahane işletmelerinde maliyet artışına neden olmakla birlikte zaman kaybı yaşanmasına ve fazla kaynak kullanımına sebep olmaktadır. Bu nedenle günümüzde kalite karakteristiklerin aynı anda analiz edilmesi ile üründen veya süreçten beklenen kalite etkilerinin ve optimum koşulların belirlenmesini sağlayan yöntemler önem kazanmıştır. Taguchi deney tasarımı bu yöntemlerden biridir.

Bu çalışma kapsamında tekstil sektöründeki boyahane işletmelerinin en büyük kalite problemlerinden biri olan renk farkı ele alınmıştır. Çalışmada, aynı reçete uygulamasıyla gerçekleştirilen laboratuvar renk çalışmaları ile işletmede boyanmış

havlu kumaşlarının renk sonuçlarının tam benzerlik göstermemesi sonucunda ortaya çıkan renk farklılığının minimize edildiği optimum proses koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Üç bölümden meydana gelen bu tez çalışmasının ilk bölümünde tekstilde reaktif boyama sürecinden, ikinci bölümünde kalite ile ilgili temel bilgilerden ve deney tasarımı teknikleri ile bu tekniklerinden biri olan Taguchi yönteminden bahsedilmiştir. Uygulamanın aktarıldığı son bölümde ise laboratuvar reaktif boyama işlemine Taguchi yöntemi uygulandıktan sonra, elde edilen veriler yorumlanmıştır.

Taguchi yöntemi ilgili parametrelerdeki farklı seviyeler arasından en iyi kombinasyonun saptanmasını sağlayarak daha az deneysel çalışma yapılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece Taguchi yönteminin kullanılması ile birlikte daha hızlı, daha az kaynak kullanımı ve daha az maliyet ile ürün kalitesinde veya süreç çıktısında iyileşme sağlanması mümkün olabilmektedir. Bu çalışma, deney tasarımı uygulaması olan Taguchi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Renk farkına sebep olabilecek faktörlerin seçimi neden-sonuç diyagramı doğrultusunda belirlenmiştir. Seçilen faktörlerin seviyelerinin de tespit edilmesi sonucunda Taguchi L₉ ortogonal dizimindeki kombinasyonlara uygun biçimde reaktif boyama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Uygulanan deneyler sonucunda elde edilen boyalı havlu kumaşlarının renk değerleri spektrofotometre cihazı ile sayısal olarak belirlenmiştir.

Deney sonuçlarındaki hedef çıktı değeri olan renk farkına en çok etkisi bulunan faktörler varyans analizi ile belirlenmiştir. Ayrıca Taguchi yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen sinyal/gürültü (S/G) oranlarındaki değerler doğrultusunda da laboratuvarda reaktif boyama ile yapılacak olan renk çalışmalarındaki optimum boyama koşulları da tespit edilmiştir. Bu optimum boyama koşulları belirlenen kontrol edilebilir faktörlerinin tek bir seviyesinden oluşmaktadır.

Bu çalışma ve uygulanan deney seti sonucunda laboratuvar ve işletme koşullarında aynı reçete ile reaktif boyanmış havlu kumaşlarında meydana gelen renk farkı azaltılmıştır. Böylece tek seferde daha düzgün ve tekrarlanabilir bir boyama elde edilerek işletmenin ilave boyama yapması önlenmiş ve maliyet azaltılmıştır. Buna ek olarak laboratuvarda gerçekleştirilen renk çalışmalarındaki reaktif boyama koşullarının optimize edilmesi sağlanmıştır.

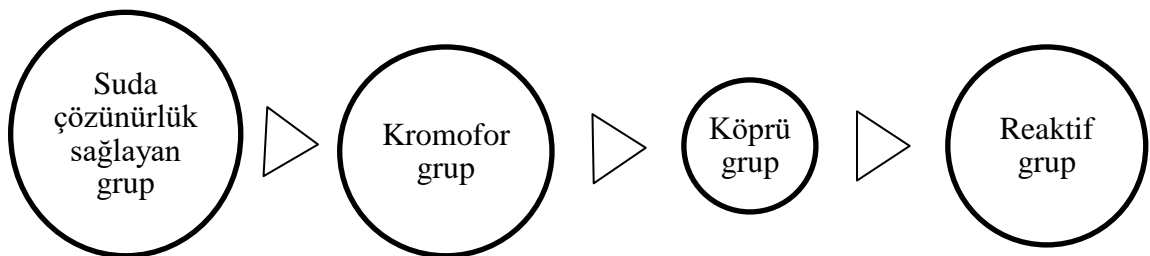
BİRİNCİ BÖLÜM

REAKTİF BOYAMA

1.1. Reaktif Boyama

Tekstilde selülozik liflerden meydana gelen ürünlerin boyanmasında genellikle reaktif boyarmaddeler kullanılarak, istenilen haslık değerleri yeterli seviyelerde sağlanabilmektedir. Ayrıca normal boyama makinelerinde reaktif boyarmaddelerinin kullanılması ile boyama işlemi basitleştirilebilmektedir (Kıroğlu, Fettahov ve Kaplan, 2017: 35).

Reaktif boyarmaddelerin yapısında; rengi veren bir kromofor bölümü, selülozun hidroksil (-OH) grupları ile uygun şartlar altında kovalent bağ oluşturan reaktif bir bölüm, bu iki bölümü bağlayan bir köprü ve boyama işleminin sulu koşulda gerçekleşebilmesi için de suda çözünen gruplar bulunmaktadır. Reaktif boyarmaddelerin reaktif grupları ile pamuğun selüloz makro moleküllerindeki -OH grupları reaksiyona girerek, kovalent bağ oluşumu sağlanmaktadır. Şekil 1.1'de reaktif bir boyarmaddenin yapısı verilmektedir (Saridereli, 2010: 1).



Şekil 1. 1. Reaktif boyarmaddelerin şematik yapısı

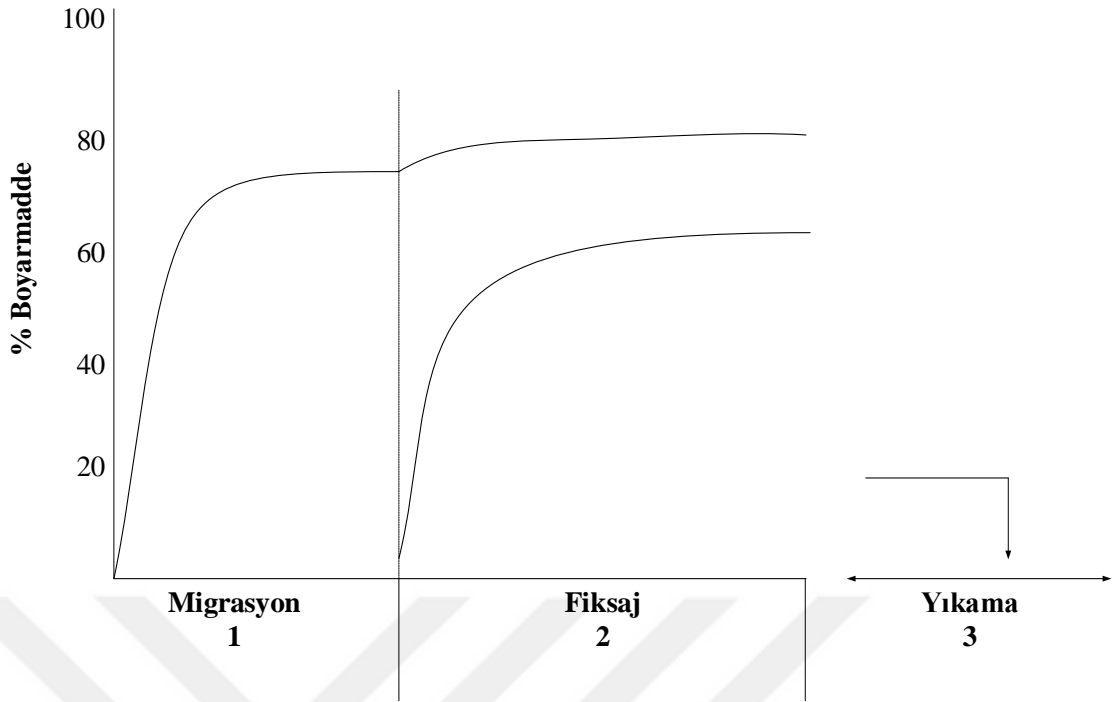
Selülozik liflerden biri olan pamuklu kumaşların boyanmasında kullanılan reaktif boyarmaddelerin diğer boyarmaddelere göre en önemli farklarından biri, bu boyarmaddelerde lif makro molekülleri ile tepkimeye giren bazı gruplar bulunmaktadır. Bu grupların reaktiflik derecesi sıcaklık, zaman ve alkali gibi etkenlere bağlı değişkenlik göstererek reaktif boyama koşullarında büyük farklılıklar meydana getirmektedir. Boyarmadde molekülünde içerisindeki reaktif gruplar alkali yardımıyla selüloz lifindeki hidroksil gruplarına kovalent bağ ile bağlanmaktadır (Sarıdereli, 2010: 1).

Reaktif boyarmaddeler pamuklu kumaşlara çektirme yöntemiyle, emdirme yöntemiyle veya baskı ile uygulanabilmektedir. Tablo 1.1'de verilen uygulama tekniklerinin kullanım oranları incelendiğinde ise en fazla çektirme yönteminin kabul gördüğü görülmektedir (Yurdakul, Orzel ve Atav, 2004: 4).

Tablo 1. 1. Reaktif boyarmaddelerin uygulama yöntemleri

Yöntem		Kullanım Yüzdesi (%)
Çektirme		53
Emdirme	Pad-batch	15
	Kontinu	11
Baskı		21

Reaktif boyama koşulları ve metotları, boyarmaddenin life olan ilgisine ve reaktif gruptaki reaktifliğe göre değişkenlik göstermektedir (Sarıdereli, 2010: 3). Reaktif boyarmaddeler, yüksek reaktiflik gösteren soğukta boyayan boyarmaddeler ve düşük reaktiflik gösteren sıcakta boyayan boyarmaddeler olarak ikiye ayrılmaktadır. Çektirme yöntemine göre gerçekleştirilecek olan reaktif boyama işlemi, kullanılacak reaktif boyarmaddelerin her iki türünde de değişkenlik göstermeden Şekil 1.2'de görüldüğü gibi üç adımda tamamlanmaktadır (Yurdakul, Orzel ve Atav, 2004: 5).



Şekil 1. 2. Reaktif boyama işlem adımları

1. **Adım:** Kullanılan boyarmaddenin life olan substantifliği (life olan ilgi) ve lifin içine difüzyonu artırıldığı aşamadır. Migrasyon olarak tanımlanmaktadır. Bu adımı etkileyen en önemli faktörler tuz miktarı, sıcaklık ve flote oranıdır.
2. **Adım:** Boyarmaddelerin fiksaj olduğu aşamadır. Reaktif boyarmaddelerin liflerle reaksiyona girme hızları boyarmaddede yer alan reaktif grupların cinsine, boyama pH'ına ve sıcaklığa bağlıdır.
3. **Adım:** Yıkama işlemlerinin yapıldığı aşamadır. Fiksaj olmayan veya hidrolize olan boyarmaddelerin üründen uzaklaştırılması olarak ifade edilmektedir (Yurdakul, Orzel ve Atav, 2004: 6-7).

Çektirme yöntemi ile yapılan reaktif boyama işlemi, sabit sıcaklıkta (izotermal) boyama şeklinde veya boyamaya düşük sıcaklıkta başlayarak sıcaklığın artırılması şeklinde gerçekleştirilmektedir (Saridereli, 2010: 6).

1.2. Reaktif Boyamada Düzgünlüğün ve Tekrarlanabilirliğin Sağlanması

Son yıllarda hızla artış gösteren küreselleşme ve rekabet ortamı, tekstil sektöründe olduğu gibi tekstil boyama sürecini de doğrudan etkilemektedir. Bu durum ile birlikte tedarik kavramındaki ve müşteri beklentilerindeki değişim tekstil boyama sürecindeki ekonomikliği ve zamanında teslimatı çok daha önemli kılmaktadır. Bu nedenle de firmalar hızlı hareket ederek, reaktif boyarmaddeler ile kısa sürede doğru rengi tutturmayı ve tekrarlanabilirliği sağlamayı ilke edinmektedirler. Boyama işletmelerinde öncelikle işletme boyamalarının ön hazırlığı olan laboratuvar renk çalışmaları müşteri isteğine göre yapılmaktadır. Laboratuvar koşullarında boyanmış numune kumaş üzerinden müşteriden onay alındıktan sonra ise işletme koşullarında endüstriyel makineler ile sipariş üretimi gerçekleştirilmektedir. Laboratuvarda gerçekleştirilen numune renk çalışmaları ile işletmede gerçekleştirilen boyama süreçleri ne kadar aynı koşullarda yapılırsa da elde edilen renkler arasında ton farklılıkları görülebilmektedir (Kıroğlu, Fettahov ve Kaplan, 2017: 35).

Reaktif boyama işlemlerinin ekonomik biçimde gerçekleştirilebilmesi için istenen rengin düzgün, tekrarlanabilir ve yeterli haslık değerlerinde elde edilebiliyor olması oldukça önemlidir. Aksi durumda boyahane işletmeleri bu boyama hatalarının giderilebilmesine yönelik ilave işlemler gerçekleştirerek maliyetlerini arttırmaktadırlar. Bunun yanında ilave işlemlerde kullanılacak olan fazladan boyarmaddeler, kimyasal maddeler, su ve enerji tüketimi de çevresel yük oluşturmaktadır. Ayrıca ilave işlemlerde kullanılacak süre müşteri teslimatlarında gecikmelere de sebep olabilmektedir. Boyahane işletmelerinin yoğun rekabet ortamında istenilen pazar paylarını elde edebilmesi ve hatta arttırılabilmesi için, reaktif boyama işlemindeki geri dönüşleri en aza indirmeli ve mümkünse istenen rengi tek seferde elde etmelidir (Yurdakul, Orzel ve Atav, 2004: 8).

İKİNCİ BÖLÜM

DENEY TASARIMI VE KALİTE

2.1. Kalite

Sistemlerde kusursuza erişme isteği ve hata ihtimalinin varlığı kalite kavramının var olma gerekçesini oluşturmaktadır. Ürünün, hizmetin veya herhangi bir sürecin durumunu, niteliğini veya değerini kalite kavramı ile aktarmak mümkündür. Kalite kavramı çok kapsamlı olduğu için tanımı farklı şekillerde yapılabilmektedir (Aytekin, 2010: 3).

Bir üründe veya hizmetteki kalite, ancak o ürünün veya hizmetin işleviyle ilişkili olduğunda bir anlam taşımakta ve işe yarayıp yaramadığı görülmektedir. Dr. Juran tarafından kalite, işleve veya kullanıma uygunluk olarak kısa bir şekilde tanımlanmıştır (Doğan, 1991: 2).

Kalite, bir ürün veya hizmet alımında müşterilerin beklentilerinin ve ihtiyaçlarının karşılanabilme durumu olarak ifade edilmiştir. Müşteri beklentileri birçok koşuldan dolayı değişkenlik gösterebileceği için kalite kavramı da değişkendir. Bu nedenle müşteri beklentilerini iyi algılamak ve daha iyi ürün veya hizmet üretimi ile rakiplerin önüne geçebilmek hedeflenmelidir (Kolarik, 1995: 32).

En ekonomik, en kullanışlı ve tüketiciyi daima tatmin eden kaliteli ürünün geliştirilmesi, tasarımının yapılması, üretilmesi, kontrol edilmesi ve satış sonrası hizmetlerinin gerçekleştirilmesi Ishikawa tarafından kalite olarak tanımlanmıştır (Ishikawa, 1998: 6).

Üründeki kalite algısı Genichi Taguchi tarafından, ürünün gerçek işlevleri ile neden olduğu kayıpların yanı sıra, ürün sevkiyatından sonra toplumda neden olduğu en az kayıp ifadesi ile farklı biçimde tanımlanmıştır. Taguchi'nin ifade ettiği kayıp, işlev değişkenliğinin sebep olduğu kayıp ve zararlı yan etkilerin sebep olduğu kayıptır (Loncher ve Matar, 1990: 12).

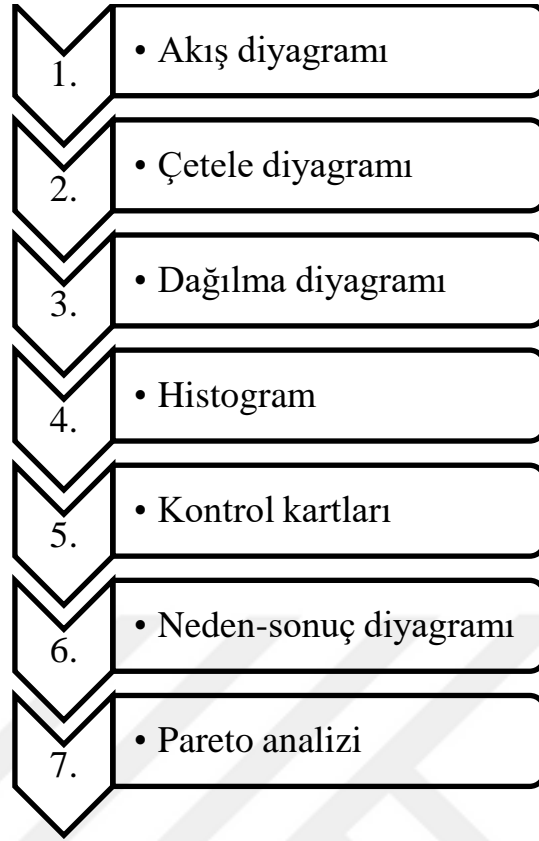
Son yıllarda meydana gelen gelişmelerin üretim aşamasından tüketim aşamasına kadar olan her adımda ortaya çıkardığı değişiklikler, ürünlerdeki kalite algısını daha önemli hale getirmiştir. Bu durum, kalitede yaşanan sorunları da arttırdığı için ürün tasarımıyla tüketiciye ulaşana kadar olan her süreçte yer alan herkesin ilgilendiği başlıca konulardan biri de kalite olmuştur. Kalite kavramı genellikle kullanıma ve amaca uygunluk olarak ifade edilmiştir. Kalitenin alt kapsamı da baz alındığında tüketici ihtiyaçlarını mümkün olduğunca ekonomik karşılama hedefleyen mühendislik ve üretim karakteristiklerinin birleşimi kalite olarak tanımlanabilmektedir (Aytekin, 2010: 4-5).

2.1.1. Kalite Kontrol ve İstatistik Kalite Kontrol

Kalite konusunda belirlenmiş bir hedefe, amaca veya standarda ulaşmak için uygulanan tekniklere ve yapılan çalışmalara kalite kontrol denmektedir. Süreçte karşılaşılan anormal durumların belirlenmesinde, hataların saptanmasında ve bu duruma neden olan faktörlerin belirlenerek ortadan kaldırılmasında kullanılacak olan teknikler ve araçlar kalite kontrol kavramını oluşturmaktadır (WEB_1, 1-2).

Japon endüstriyel standartlarına göre kalite kontrol, tüketicinin ihtiyaçlarına cevap verebilecek kaliteli ürünleri ve hizmetleri ekonomik biçimde meydana getirebilen bir üretim sistemi olarak ifade edilmektedir. Bu sistemde hedeflenen kalite değerine en ekonomik biçimde ulaşılabilmesine yönelik yapılması gereken teknik ve yönetim çalışmalarında, öncelikle kalitenin planlanması sonrasında ise kalitenin kontrol altında tutulması ve geliştirilmesi gereklidir. Bu durum modern kalite sistemi çalışmalarının gerekliliğini oluşturmaktadır. İstatistik metotlardan faydalanılarak yapılan modern kalite kontrol çalışmaları, genellikle istatistik kalite kontrol olarak ifade edilmektedir (Doğan, 1991: 11).

İstatistik kalite kontrol, üretim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi aşamasında meydana gelebilecek hataları veya üretimde yaşanabilecek kontrol dışı durumların en hızlı şekilde görünür kılınmasının sağlanması ile düzeltici önlemlerin zamanında alınmasına imkân sunan istatistik tekniklerin uygulaması olarak ifade edilmektedir. Ishikawa sanayide yaşanan problemlerin % 95'inin basit yedi temel teknikle çözümlenebileceğini söylemiştir. Bu teknikler Şekil 2.1'de verildiği gibidir (Kısaoğlu, 2010: 292).

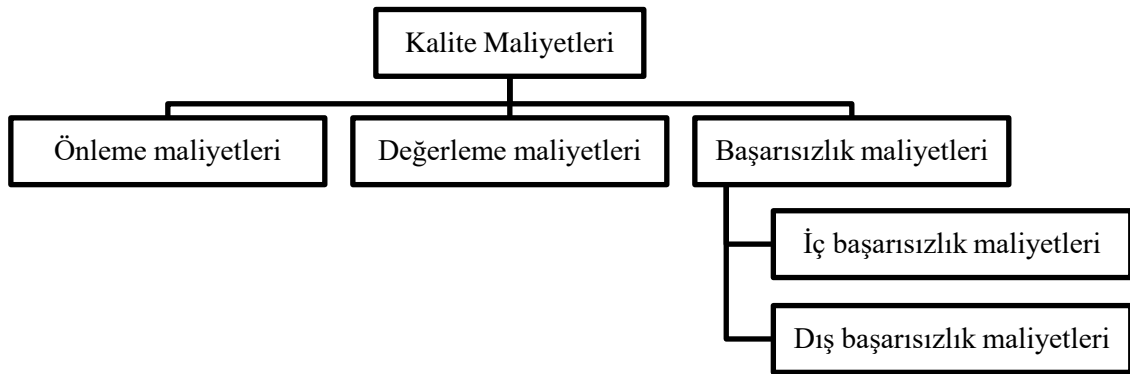


Şekil 2. 1. Temel istatistiki kalite teknikleri

2.1.2. Kalite Maliyetleri

Kalitenin istenilen düzeyde sağlanamadığı durumlarda mevcuttaki hataların düzeltilmesinde ve istenilen seviyenin yeniden oluşturulabilmesinde oldukça fazla para ve zaman harcanabilmektedir. Günümüzdeki rekabet ortamının varlığı dikkate alındığında ise üreticiler bu kaynaklarda fazla harcama yapmak istememektedir.

Şekil 2.2’de görülen önleme maliyetleri, değerlendirme maliyetleri ve başarısızlık maliyetleri kalite maliyetlerinin temelini oluşturmaktadır. Başarısızlık maliyetleri ise iç başarısızlık maliyetleri ve dış başarısızlık maliyetleri şeklinde incelenmektedir (Sower, Quarles ve Broussard, 2007: 122).



Şekil 2. 2. Kalite maliyetleri kapsamı

a. **Önleme maliyetleri:** Üretim gerçekleşmeden ve üretim esnasında meydana gelen maliyetlerdir. İşlenmiş ürünlerdeki tüketici taleplerine olan uygunsuzluğun giderilmesine yönelik başlangıçta ve özel olarak tasarlanmış çalışmaların maliyetlerinden oluşmaktadır (Koç ve Demirhan, 2007: 88). Aşağıdaki çalışmalardan kaynaklanan maliyetler önleme maliyetleri olarak geçmektedir (Özbirecikli, 2001: 84).

- Kalite sistemini geliştirmek ve iyileştirmek
- Kalite planlamasını ve standartlarını oluşturmak
- Kalite performansının artırılmasına yönelik mühendislik faaliyetlerini gerçekleştirmek
- Kalite eğitimini ve denetimini yapmak
- Müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi kapsamında pazar araştırmaları yapmak

b. **Değerleme maliyetleri:** İstenilen kalite düzeyine ulaşmaya ve devam ettirilebilmeye yönelik, girdi, çıktı ve yarı mamullerde gerçekleştirilen tetkik ve test harcamalarını kapsamaktadır (Orhan ve Dursun, 2006: 40). Aşağıdaki çalışmalardan kaynaklanan maliyetler değerlendirme maliyetleri olarak geçmektedir (Özbirecikli, 2001: 84-85).

- Hammadde ve malzemeye kalite kontrol yapmak
- Üretim esnasında kalite kontrol yapmak
- Laboratuvar çalışmaları gerçekleştirmek

- Stoklara yönelik kontrol çalışmaları yapmak
- Kontrol ve test malzemelerine yönelik çalışmalar yapmak

c. **İç başarısızlık maliyetleri:** Müşteriye teslim edilmemiş olan üründe veya hizmette, tespit edildiği ve hedeflenen kalite seviyesine erişilemediği için oluşan maliyettir (Akgün, 2005: 35). Gereksiz ve yinelenen çalışmalar yapılması, hatalı parçaların düzeltilmesi ve üretimden kaynaklanan hataların üretimi durdurması gibi maliyetler iç başarısızlık maliyetleri olarak geçmektedir (Özbirecikli, 2001: 85).

d. **Dış başarısızlık maliyetleri:** Üretim kaynaklı hata maliyetlerini kapsamaktadır. Ürün veya hizmet dağıtımının müşteriye gerçekleştirilmesi sonrasında hatanın veya hata şüphesinin sebep olabileceği maliyetlerin bütünüdür (Yumuk ve İnan, 2005: 180). Üründeki kalite özelliği müşteri ihtiyacını karşılayamıyor ise dış başarısızlık maliyeti oluşmaktadır (Dönmez ve Utku, 2009: 33). Kalite konusundaki şikâyetlerin düzeltilmesi ve müşterilerin iadesi durumunda oluşabilecek masraflar bu duruma örnek oluşturmaktadır (Özbirecikli, 2001: 85).

2.2. Deney Tasarımı

Bir sistemin veya belirli bir sürecin tanımlanması ve anlaşılması için araştırmacılar tarafından yürütülen sistematik çalışmaların bütünü deney olarak tanımlanmaktadır. Literatürde deney, üründe ya da süreçte var olan parametrelerin belirlenmesi ve anlaşılması için uygulanan test olarak da tanımlanmaktadır. Başka bir tanıma göre; bir süreç ya da sistem girdilerinde değişiklik yapılarak çıktılarının gözlemlenmesi ve analiz edilmesidir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 71). Ayrıca, belirli bir hipotezi desteklemek veya çürütmek ya da ürün, proses veya hizmet ile ilgili yeni bir bilgiyi açığa çıkarmak için yapılan planlı bir sorgulama metodu olarak da tanımlanabilir (Yazıcı, 2010: 26).

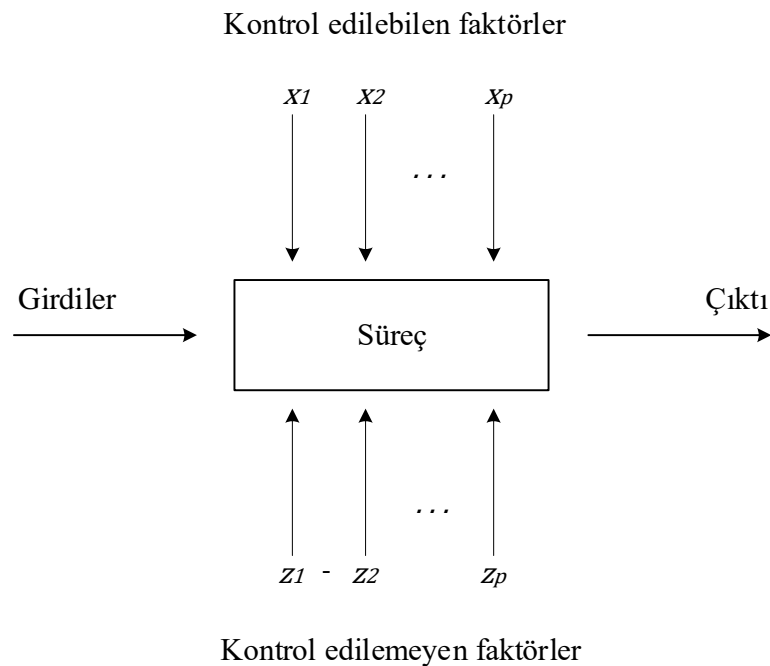
Deney Tasarımı, 1920'li yıllarda ünlü İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından tarım alanında yapılan çalışmalar sırasında bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher tarafından çalışmalar sırasında geliştirilen diğer bir yöntem ise gözlemlenen veri

gruplarının ortalamaları arasında önemli farklılıkların olup olmadığının ölçülmesinde kullanılan varyans analizi (ANOVA) yöntemidir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 71).

Bir süreçteki performansı iyileştirmek için süreci etkileyen faktörler üzerinde değişikliklerin yapılması sonucunda süreç çıktısı üzerindeki değişikliklerin izlenmesi ve yorumlanması deney tasarımı olarak tanımlanmaktadır (Demir, 2004: 7). Deney tasarımının amacı, bir sürecin davranışları hakkında bilgi edinerek süreci etkileyen faktörleri belirlemek ve bu sürecin iyileştirilmesi için faktör seviyelerini belirlemektir. Bu sayede süreçten beklenen performans özellikleri iyileştirilerek optimum seviyeler belirlenebilmekte ve sürecin kalitesi iyileştirilebilmektedir. Deneysel tasarım, imalat süreç performanslarının iyileştirilmesi, süreçlerin geliştirilmesi ve son olarak yeni ürünlerin geliştirilmesi gibi birçok mühendislik çalışmasında kritik öneme sahip bir araçtır (Montgomery, 2017: 2).

Günümüzdeki kalite felsefesinin oluşturduğu algı, ürün ve üretim süreçlerindeki tasarım adımlarında ve değişkenliğin artışına sebep olan faktörlerin kontrol edilebilmesinde istatistiki bir yöntem olan deney tasarımı aktif olarak kullanılmaktadır (Şirvancı, 1997: 12).

Deneysel tasarım uygulamasının gerçekleştirileceği sürecin genel modeli Şekil 2.3'teki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2. 3. Bir sürecin genel modeli (Montgomery, 2017:3)

Yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle sürecin yani prosesin parametrelerinin tanımlanması gereklidir. Daha sonra deney sonucuna etki eden kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler belirlenmektedir. Şekil 2.3'te X_1, X_2, \dots, X_p kontrol edilebilen faktörleri, Z_1, Z_2, \dots, Z_p ise kontrol edilemeyen faktörleri göstermektedir. Ulaşılmak istenen çıktı değeri doğrultusunda kontrol edilebilen faktörlerin en uygun seviyeleri, kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en aza indirecek şekilde belirlenmelidir. Böylece robust (sağlam) bir proses oluşturulmaktadır (Gencel, 2007: 29).

Deney tasarımının planlanması sürecinde etkinliğin artırılmasına yönelik uygulanacak adımların listelenerek takip edilmesi önemlidir. Bunun için bir kontrol listesi oluşturulmalıdır. Kontrol listesinde belirtilen adımların birbiriyle bağımlı olabileceği atlanmadan gerektiği takdirde geriye dönüp bazıları revize edilerek tekrar uygulamaya geçilmelidir. Kontrol listesinde izlenecek adımlar şu şekildedir (Dean ve Voss, 1999: 8):

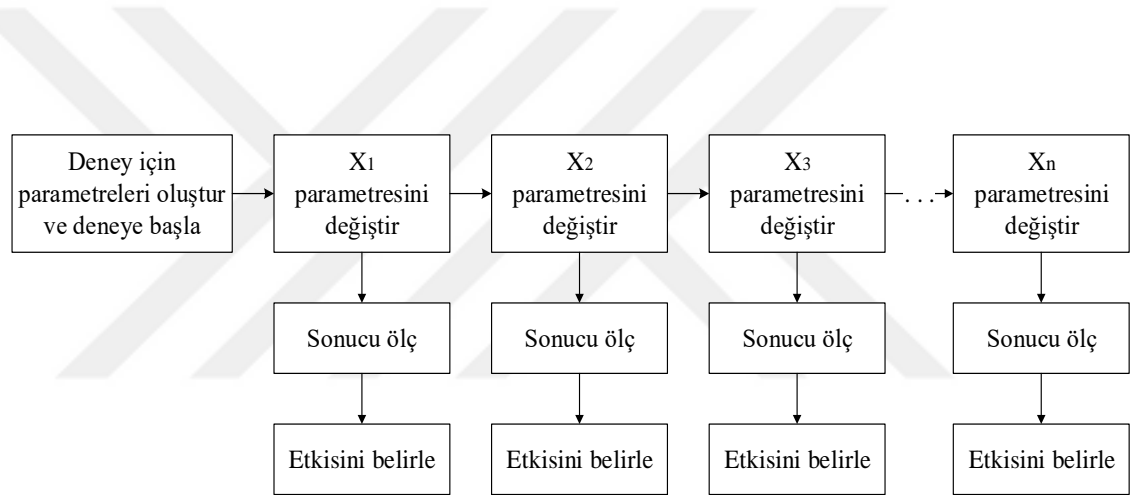
1. Deneyin hedeflerinin belirlenmesi
2. Tüm değişken özelliğe sahip kaynakların tanımlanması
 - a. Kontrol edilebilen faktörler ve seviyeleri
 - b. Kontrol edilemeyen faktörler ve seviyeleri
 - c. Deney üniteleri
 - d. Bloklama işlemleri, gürültü faktörleri ve değişkenler
3. Uygulamada deney ünitelerini ayırmak için bir kuralın seçilmesi
4. Deneyin ölçü birimlerinin belirlenmesi
5. Pilot bir uygulama yapılması
6. Modelin belirlenmesi
7. Analiz taslağının çizilmesi
8. Yapılması gereken gözlem sayısının hesaplanması
9. Yukarıdaki kararların gözden geçirilmesi ve gerekliyse revize edilmesi

Deney tasarımı yöntemi ile ulaşılmak istenen hedefe daha az deney yapılarak erişmek mümkündür. Bu sayede daha kısa sürede, daha az para ve deney malzemesi harcanarak sürecin ekonomik biçimde tamamlanması sağlanmaktadır.

2.3. Geleneksel Metodoloji ile Deney Tasarım

Geleneksel ya da diğer adıyla klasik metodoloji ile yapılan deney tasarımında, tek parametrenin değiştirilmesi ve diğer parametrelerin sabit tutulması ile her bir uygulamanın gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede değiştirilen parametrenin sistem çıktısı üzerindeki etkisi araştırılmaya çalışılmaktadır.

Geleneksel metodoloji ile yapılan deney tasarımında uygulamaya Şekil 2.4'te görüldüğü gibi deney için parametrelerin oluşturulması ile başlanmaktadır. Ardından her bir X parametresinin değiştirilmesi ile deneyin sonucu ölçülmekte ve çıktıya olan etki belirlenmeye çalışılmaktadır. Her deney uygulamasında diğer parametreler sabit tutulmaktadır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 74).



Şekil 2. 4. Geleneksel metodoloji ile yapılan deney tasarımı ve ölçümü (Gökçe ve Taşgetiren, 2009:74)

Geleneksel metodoloji ile yapılan deney tasarımı uygulamalarında çıktı üzerinde sadece kontrol edilebilir faktörlerin etkisi araştırılarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkisi göz ardı edilmektedir.

Yöntemde deneyin seviye göstergesi dışında kalan bir değer deneye olan etkisi hesaplanmak istenirse deney parametresinin nicel olması gerekmektedir. Nitel olan deney parametresinde bu değer tahmin edilememektedir.

Her bir parametre seviyesinin tek tek incelenmesi nedeniyle yöntemdeki deney sayısı oldukça fazla olduğu için sürecin tamamlanması uzun sürmekte, yüksek malzeme

maliyetine katlanması gerekerek pahalıya mal olmaktadır. Ayrıca bu durum parametrelerin aynı anda 4 ya da 5'den fazla seviyesinin bulunmasını mümkün kılmaz. Çünkü 5 parametrelili bir uygulamada her bir parametrenin 5 seviyeye sahip olduğu varsayıldığında toplam olarak $5^5 = 3.125$ farklı kombinasyon denenmelidir. Tekrar edilebilirlik ilkesi gereği deneysel hataların azalacağı öngörüldüğü için her bir deney 3 kez tekrarlandığında toplam $3.125 \times 3 = 9.375$ deney uygulanmalıdır. Sonuç olarak klasik ya da geleneksel yöntemlerle yapılan deney çalışmalarından eş zamanlı analiz mümkün olamamaktadır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 73-74).

2.4. İstatistiksel Metodoloji ile Deney Tasarım

İstatistiksel deney tasarımı, deneyi planlama sürecini ifade etmektedir. Süreçte uygun veriler, geçerli ve nesnel sonuçların elde edilmesine yönelik istatistiksel yöntemlerle toplanıp analiz edilmektedir. Verilerden anlamlı sonuçlara ulaşmak istendiği takdirde ise deneysel tasarıma istatistiksel yaklaşımın uygulanması gereklidir (Montgomery, 2017: 11).

İstatistiksel deney tasarımı ile birden fazla faktörün ürün veya süreç parametrelerine olan etkileri ve bu faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri daha az deney sayısı ile elde edilebilmektedir. Böylece daha kısa sürede ve daha düşük maliyetle sonuca ulaşılmaktadır (Demir, 2004: 3).

Bir ürün veya süreçte kontrol edilemeyen dış faktörlere karşı istenilen performansın elde edilebilmesi olarak tanımlanan robust tasarımların geliştirilmesinde istatistiksel deney tasarımı yaygın olarak kullanılmaktadır (Demir, 2004: 9). İstatistiksel deney tasarımıyla minimum zaman, kaynak ve harcama ile anlamlı verilerin maksimum olarak elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle deney tasarımı geleneksel yöntemlerden farklı olarak araştırmalara yeni bir yaklaşım sunmaktadır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 73).

Geleneksel deney tasarımında karşılaşılan yetersizliklerin giderilebilmesi için farklı istatistiksel deney tasarımı yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlere, tam faktöriyel deney tasarımı, kesirli faktöriyel deney tasarımı ve Taguchi deney tasarımı örnek olarak verilebilir.

2.4.1. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı

Faktöriyel tasarım, her bir faktöre ait seviyelerin tüm olası kombinasyonlarının denenmesi ile oluşturulmaktadır. Diğer bir ifadeyle, en az iki faktör ve bu faktörlere ait en az iki seviyenin bulunduğu deneylerde seviyelerin birbirleri ile çarpımları sonucunda oluşan kombinasyon tam faktöriyel deney tasarımı olarak tanımlanmaktadır (Akman ve Özkan, 2011: 190).

Örnek olarak 3 faktörlü ve 2 seviyeli bir deney tasarımının tam faktöriyel yöntemiyle oluşturulabilmesi için Tablo 2.1’de görüldüğü gibi $2^3 = 8$ adet deney yapılmalıdır. Böylece her bir faktör ve seviye kombinasyonu denenmiş olacaktır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 75).

Tablo 2. 1. Tam faktöriyel deney tasarımı tablosu

Deney No	Faktörler ve seviyeleri			Deney Çıktısı
	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	
1	1	1	1	Ç1
2	1	1	2	Ç2
3	1	2	2	Ç3
4	1	2	1	Ç4
5	2	1	1	Ç5
6	2	1	2	Ç6
7	2	2	1	Ç7
8	2	2	2	Ç8

Tam faktöriyel deneylerin analizinde istatistiksel yöntemler olan Varyans Analizi (ANOVA) ve regresyon analizi kullanılarak bir faktörün deney üzerindeki etkisi hesaplanabilmektedir. Bu yöntemler sayesinde işlemlerin sıralamasında herhangi bir değişiklik yapılmadan farklılıkların kaynağı belirlenebilmektedir (Akman ve Özkan, 2011: 190).

Faktör ve seviye sayısının fazla olduğu uygulamalarda tam faktöriyel deney tasarımı yöntemi uygulanmak istendiğinde deney sayısı artacağı için maliyetin artacağı ve deneylerin uygulanabilirliğinin zorlaşacağı atlanmamalıdır.

2.4.2. Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı

Tam faktöriyel deney tasarımında tüm faktörlerin tüm seviyelerinin kombinasyonları tek tek denendiği için elde edilen bilgi kazancı, maliyet ve süre maksimum seviyededir. Tasarım sonucunda elde edilecek bilgi ile deneylerde harcanan maliyet ve süre arasındaki dengenin optimum şekilde oluşturulabilmesi oldukça önemlidir (Gencel, 2007: 37). Bu doğrultuda deney sayısının belli bir oranda azaltılması ile maliyet ve süre kazancının sağlanabileceği kesirli faktöriyel deney tasarımı geliştirilmiştir. Yöntemde tam faktöriyel ile oluşturulmuş kombinasyonların 1/2, 1/4 veya 1/8 gibi kesirli bir bölümü seçilerek uygulanmaktadır. Seçilen kısmın deney tasarımının genel hattını bozmayacak yapıda olması ve faktörlerin deney çıktısına olan etkisini değiştirmemesi gerekmektedir (Yazıcı, 2010: 29).

Örneğin 7 faktörlü ve 2 seviyeli bir deneyin tasarımı tam faktöriyel olarak yapılmak istendiğinde $2^7 = 128$ adet deney planı hazırlanarak uygulamanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu deney sayısının 1/8 oranında azaltılması ile deney planı 16'ya düşürülerek yöntem kesirli faktöriyel deney tasarımına uygun hale getirilebilmektedir (Kocabaş ve Savaş, 2018: 1176). Deney sayısının azaltılması ile sürecin daha uygulanabilir, daha ekonomik ve daha kısa sürede tamamlanması sağlanmaktadır.

2.5. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi, Japon kalite yönetim uzmanı olan Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş bir metodoloji olup, ürüne veya sürece ait faktörlerin iyileştirilmesini ve kalite sürekliliğinin sağlanabilmesini esas almaktadır. Metodoloji sayesinde ürüne veya prosese ait faktörlerin optimum seviyesi belirlenerek, çıktı değerlerinde oluşan değişkenliklerin minimize edildiği ürünler veya süreçler elde edilmeye çalışılmaktadır (Yazıcı, 2010: 30).

Taguchi yöntemi, üründe ve proste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin optimum düzeylerini tespit

ederek, ürün ve prosesteki değişkenliği minimize etmeye çalışan bir deneysel tasarım aracı olarak tanımlanmaktadır (Alhalabi ve Sabır, 2011: 20).

Taguchi yöntemi deneylerin uygulanmasında ve deney sonuçlarının değerlendirilmesinde verimliliği artırarak, deney sayısının önemli ölçüde azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Deney sayısındaki azalmanın diğer bir gerekçesi ise faktörler arasındaki etkileşimlerin belirli ölçüde göz ardı edilmesindedir. Yöntem yüksek kalitede istenen sistem tasarımlarının oluşturulmasında oldukça faydalıdır. Yöntemin uygulanması sonucunda oluşan deney çıktıları Sinyal/Gürültü (S/G) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Kalite boyutunda hedeflenen değer doğrultusunda S/G oranı minimum değer en iyi, maksimum değer en iyi, nominal değer en iyi olacak şekilde hesaplanmakta ve analiz edilmektedir (Savaşkan, Taptık ve Ürgen, 2004:119).

Taguchi yöntemi; parametre, sistem ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarımı ve optimizasyon yöntemidir. Kalite yönetim sistemi kapsamında toplanan verilerin istatistiksel analizlerinin gerçekleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem ile farklı faktörlerin farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyon seçiminin yapılması oldukça pratiktir. Daha az deney sayısı ile daha fazla sayıda faktörün incelenmesini mümkün kılmaktadır. Yöntemde, tasarım matrisi aşamasında kontrol edilemeyen faktörlere yani gürültü faktörlerine yer verilerek ortam koşullarının benzeri oluşturulmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle robust tasarım olarak tanımlanmaktadır (Sağol, 2015: 34).

Taguchi yöntemi ile oluşturulan standart tasarımlarda faktörlerin farklı seviyeleri için her deney koşulunda eşit sayıda örnekleme yapıldığı için faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilebilmesi mümkündür. Yani yöntem ile oluşturulan deney tasarımı dengelidir (Taylan, 2009: 33).

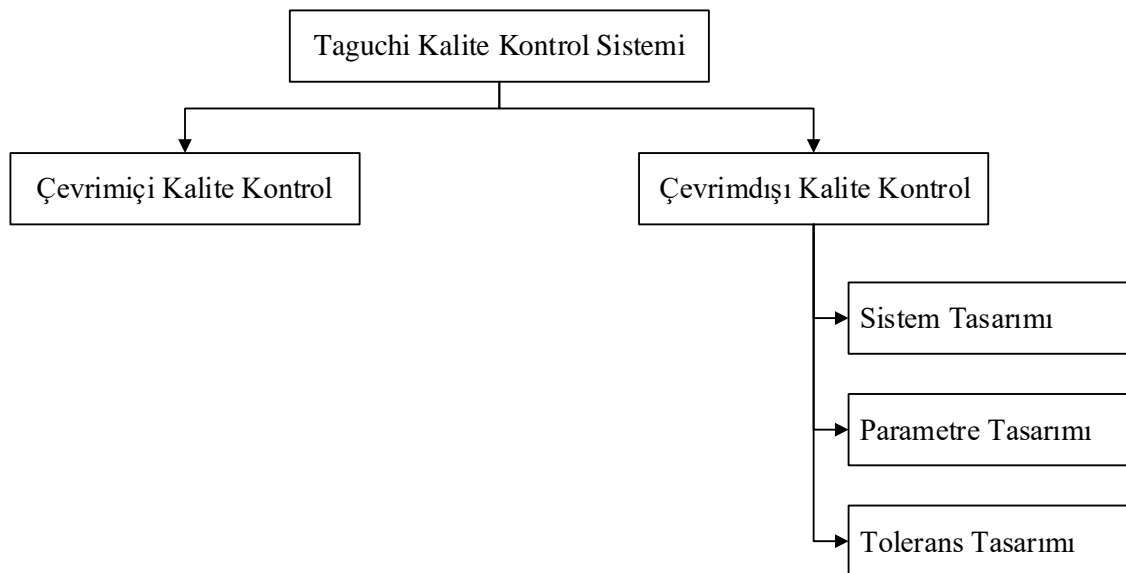
Taguchi yöntemi tasarımları performans, kalite ve maliyet açısından optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Çeşitli koşullarda tutarlı ve en uygun şekilde çalışan sürecin tasarlanmasında etkili bir yöntemdir. Yöntem sınırlı istatistik bilgisine sahip kullanıcılar tarafından kolaylıkla uygulanabilmektedir. Her geçen gün popülerliği artan Taguchi yönteminin endüstrideki kullanımı daha uygun olsa da bilimsel araştırmalar için de kullanılabilir (Thamizhmanii, Saparudin ve Hasan, 2007: 503-504).

Taguchi Deney Tasarımı tekniğine göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar aşağıdaki şekildedir (Yang ve Tarng, 1998: 124):

1. Faktörlerin seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi (beyin fırtınası, akış diyagramı, sebep sonuç diyagramı gibi metotlar kullanarak)
2. Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi
3. Doğru dengeli tasarımın seçimi
4. Faktörlerin ve/veya aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney düzenindeki kolonlarla eşleştirilmesi
5. Deneylerin daha önceki adımlarda planlanan şekilde gerçekleştirilmesi yani testlerin yapılması
6. Sonuçların analizi
7. Doğrulama deneyinin veya deneylerinin yapılması

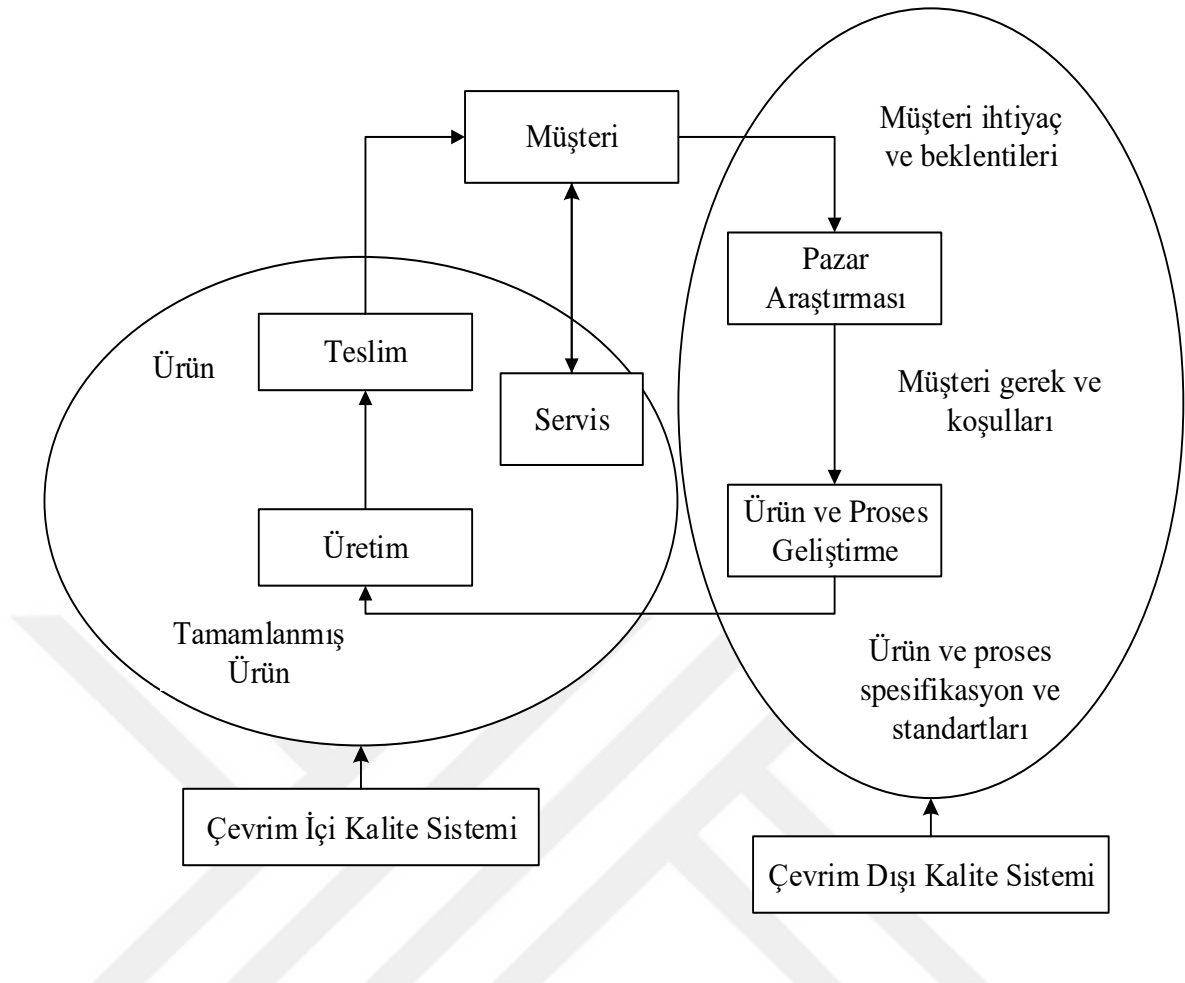
2.5.1. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi

Taguchi kalite kontrol sistemi, kalitenin sağlanacağı faaliyet alanları doğrultusunda Şekil 2.5'te görüldüğü gibi çevrimiçi kalite kontrol ve çevrimdışı kalite kontrol olmak üzere ikiye ayrılarak incelenmektedir (Şirvancı, 1997: 14).



Şekil 2. 5. Taguchi kalite kontrol sistemi

Çevrim içi ve çevrim dışı kalite kontrol sisteminin kapsadığı faaliyet alanları ise Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6. Çevrim içi ve çevrim dışı kalite kontrol sistemi kapsamı (Şirvancı, 1997: 14)

2.5.1.1. Çevrim içi kalite kontrol

Ürünün üretim sırasındaki ve üretim sonrasındaki kalite faaliyetleri çevrim içi kalite kontrol sistemini oluşturmaktadır. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler bu alan içerisinde gerçekleştirilmektedir. Çevrim içi kalite kontrol çalışmaları, üretim kalite kontrol yöntemleri ve müşteri ilişkileri olmak üzere iki aşamadan meydana gelmektedir.

Üretim kalite kontrol yöntemleri üç şekilde incelenmektedir:

- **Prosesin teşhis edilmesi ve ayarlanması:** Proses ihtiyaç duyulan periyoda göre izlenmektedir ve gerek görülürse prosesde düzeltmeler yapılmaktadır.

- **Öngörü ve düzeltme:** Prosesteki değişkenler düzenli periyotlarla ölçülmektedir. Hedef değere göre proseste sapma mevcut ise yeniden ayarlama yapılarak, proses olması gereken doğru duruma getirilir.
- **Ölçüm ve eylem:** Kalitenin muayene işlemiyle sağlanmasıdır. Muayene işlemi her parçaya uygulanmaktadır. Hatalı olanlar yeniden tamir edilmekte ve değerini yitiren parça olarak ayrılmaktadır. Bu nedenle kalite kontrolün en pahalı biçimidir.

Müşteri ilişkilerinde hatalı olan ürünün değişiminin yapıldığı veya tamir edildiği aşama olarak ifade edilmektedir. Bu aşamada ürünle ilgili müşteri algıları hakkında geri bildirim sağlanmalıdır (Baynal, 2003: 123).

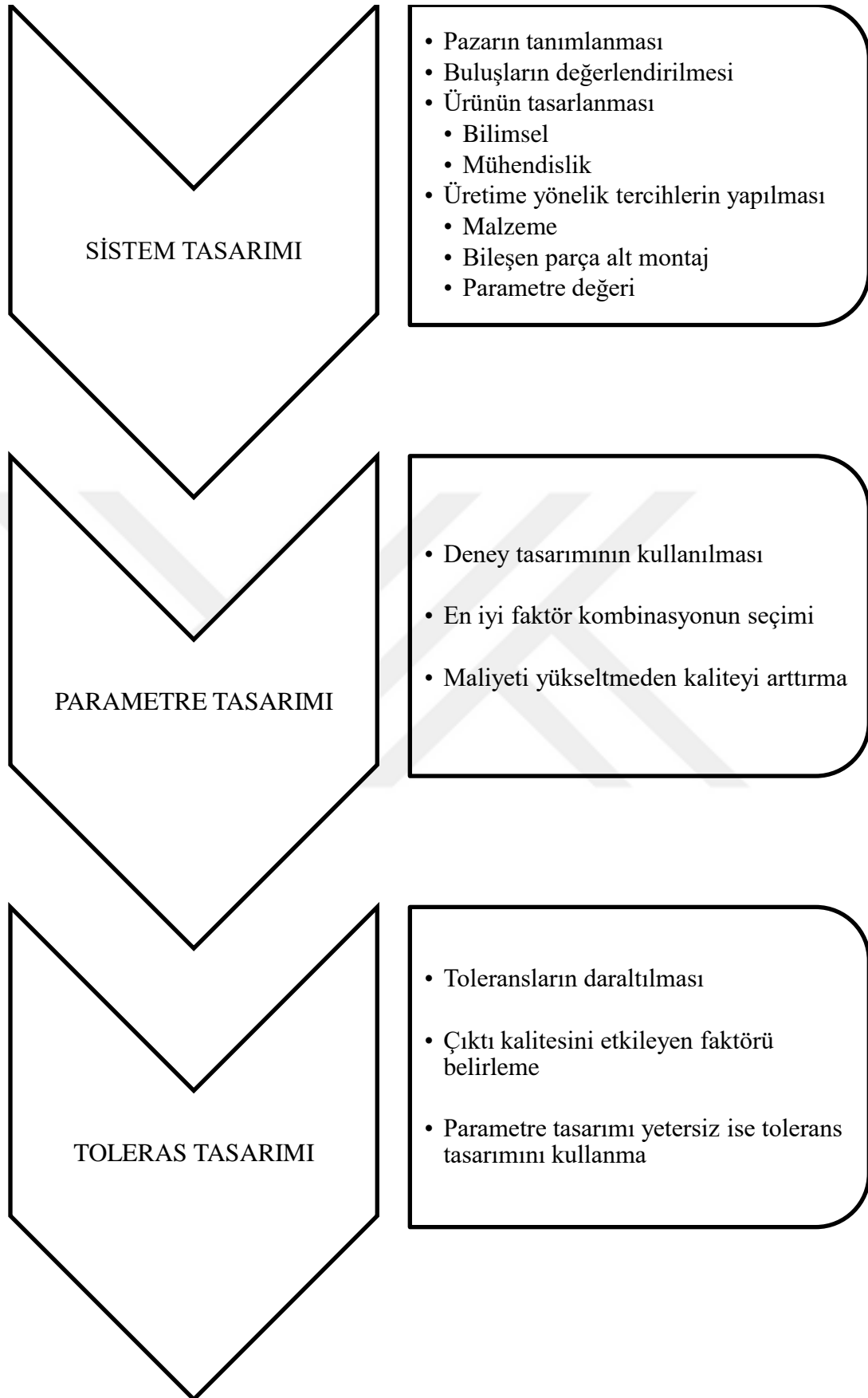
2.5.1.2. Çevrim dışı kalite kontrol

Ürün üretimi gerçekleştirilmeden yapılan kalite geliştirme çalışmalarını oluşturmaktadır. Süreç pazar araştırması ile başlayıp, ürün ve proses geliştirme faaliyetleri ile devam etmektedir.

Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, çevrimdışı kalite kontrol faaliyetleri içerisinde yer almaktadır. Hem ürün hem de proses tasarımında kalitenin sağlanabilme aşaması üç şekilde tanımlanmaktadır (Şirvancı, 1997: 15). Bunlar:

- **Sistem tasarımı:** Kavram oluşturma aşamasıdır.
- **Parametre tasarımı:** Ürün ve süreç için hedef oluşturma aşamasıdır.
- **Tolerans tasarımı:** Sonucu istenen hedefe ulaşamadığında yapılan ilave çalışmalardır (İç ve Yıldırım, 2012: 448).

Taguchi yöntemine göre çevrim dışı kalite kontrol sisteminde tanımlanan bu üç aşamanın kapsamaları Şekil 2.7'de verildiği gibidir (Aytekin, 2010: 57).

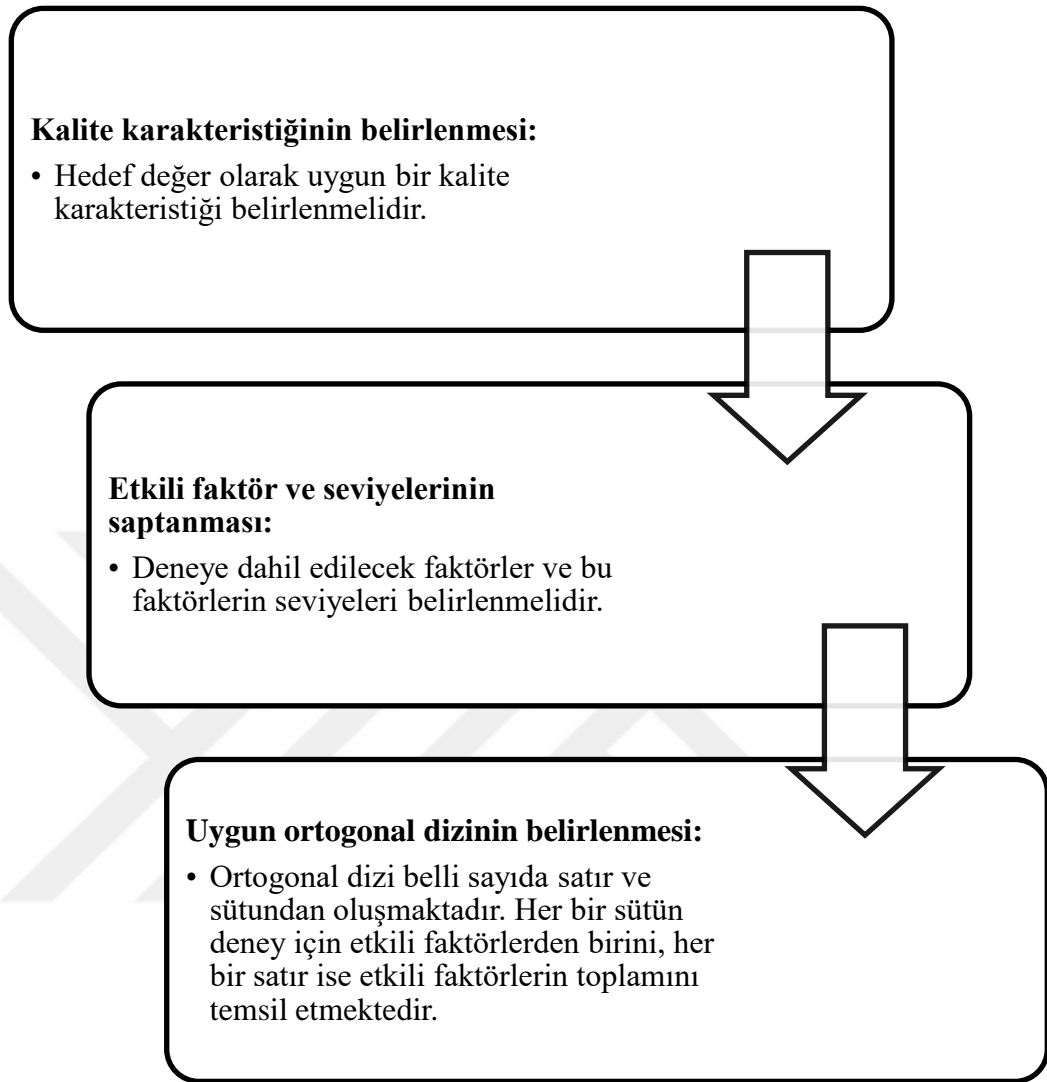


Şekil 2. 7.Taguchi yöntemi çevrim dışı kalite kontrol sistematığı

a. Sistem tasarımı: Prosesin ilk aşaması olup, üründen istenen özelliklerin sağlanmasına yönelik teknolojik tasarım ve en uygun ürün seçimi tasarımcı tarafından bu aşamada yapılmaktadır. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarına hazırlık olarak da tanımlanmaktadır. Buradaki asıl hedef, üretim aşamasında spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle üretimin gerçekleştirilebilmesidir. Buna yönelik pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlar incelenebilir (Taguchi, Chowdhury ve Wu, 2005: 221-225).

b. Parametre tasarımı: Taguchi'ye göre, hem ürün hem de proses tasarımlarında, ürün kalitesini iyileştirebilmek için en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama olarak nitelendirilmektedir. Ürünün parametre tasarımında; ürün parametrelerinin, malzeme (çelik, lastik, kağıt, plastik vb.) formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi optimal değerlerin belirlenmesi anlamını taşımaktadır. Proses parametre tasarımında ise; kontrol edilebilen üretim proses faktörlerinin (hat hızı ve türevleri, makine sıcaklığı ve türevleri ve çeşitli süreler) optimal seviye ve ayarların belirlenmesi olarak kullanılmaktadır. Her ikisinde de asıl amaç, üründe ve proseste, varyasyon (hedeflenen değere göre oluşan farklılık, değişkenlik, kalitesizlik) yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün ve prosesteki varyasyonu minimize etmektir. Bu doğrultuda yapılan ürün ve proses tasarımı robust tasarım olarak tanımlanmaktadır (Şirvancı, 1997: 15). Robust tasarımda, değişkenlik oluşturan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka faktörlerin ayarlanması ile azaltılabilmektedir (Aytekin, 2010: 59).

Parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerinin belirlenmesi gereken çok sayıda faktör vardır. Bu faktörlerin birçoğu da birbiriyle etkileşim halindedir. Kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürün performansına olan etkilerinin birlikte belirlenebilmesi için istatistiksel deney tasarımı yöntemi en etkin olanıdır. Deney tasarımı sayesinde, birçok faktörün ürün üzerindeki etkisi düşük maliyetle belirlenmekte ve tasarım aşamasında değişkenlik oluşturan faktörlere karşı önlem alınması mümkün kılınabilmektedir (Şirvancı, 1997: 15). Parametre tasarımı yönteminin özeti Şekil 2.8'de görüldüğü gibidir (Aytekin, 2010: 60).



Şekil 2. 8. Taguchi parametre tasarımı yönteminin akışı

Kalitenin tamamen iyileştirilmesine yönelik mühendislerin, yeni üründe veya süreçteki teknolojilerin esas işlevlerindeki robustluğu iyileştirmek için odaklanması ve reel şartlarda ideal işlevlere yaklaşan asıl işlevler yapabilmesi amacıyla parametre tasarımı yöntemlerini uygulamaları gerekmektedir. Buradaki robust tasarım etkinliklerinin, reel ürünlerin planlanmasından önce araştırma ve geliştirme birimleri tarafından yapılması önemlidir. Çünkü yeni teknolojilerin üretilebilirliğinin geliştirilmesi asıl hedeftir (Taguchi, 1987: 534).

c. Tolerans tasarımı: Parametre tasarımı aşamasında yapılan çalışmaların yetersiz görüldüğü durumlarda bu aşama uygulanmaktadır. Taguchi, toleranslarla çalışmayı istememekle beraber tamamen ret edememektedir. Kalitenin nasıl değerlendirileceği sorusunun cevaplandığı aşama olarak da tanımlanmıştır (Hamzaçebi ve Kutay, 2001: 290).

Tolerans tasarımında değişkenlik, performans karakteristiği üzerinde önemli etkiye sahip olan faktörlerin toleransları ve maliyetleri dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Dar tolerans üretim maliyetini, geniş tolerans ise performans değişkenliğini arttırdığı için parametre tasarımında düşük maliyetli ve geniş toleranslı bileşenlerin veya faktörlerin kullanılması sağlanabilir. Değişkenliğin istenilen değere getirilebilmesi amacıyla seçilen bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi gerekliyse tolerans tasarımı uygulanır (Ross, 1989: 54).

2.5.2. Taguchi Kayıp Fonksiyonu

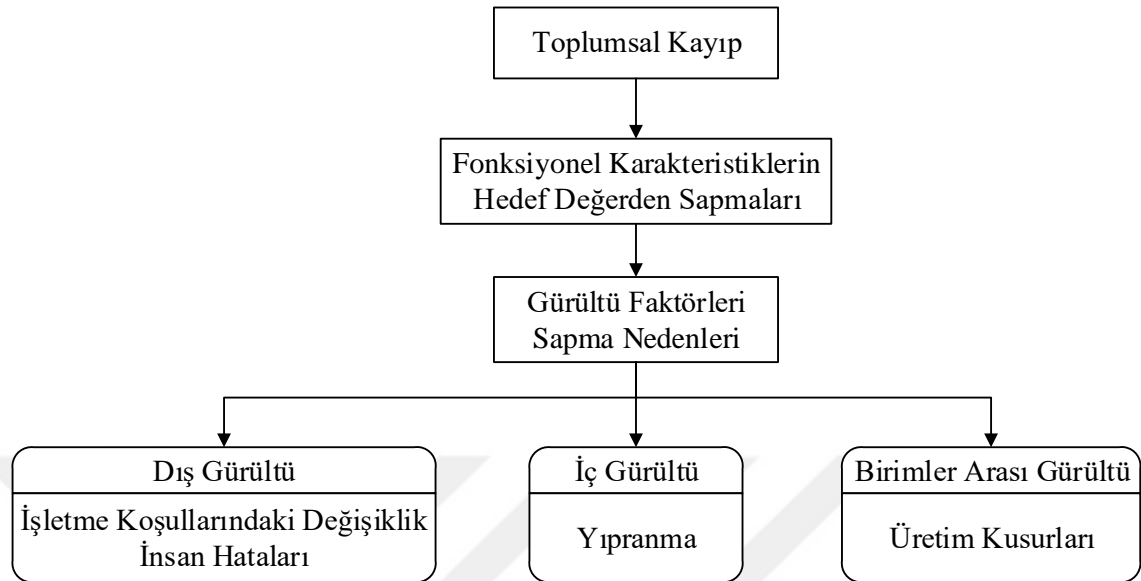
Taguchi'deki kalite prensibinin temelini kayıp fonksiyonu oluşturmaktadır. Kalitenin maddi olarak ele alınması kayıp fonksiyonu ile mümkündür. Kayıp fonksiyonundaki dağılım doğrultusunda orta seviye en düşük, kenar seviyeler ise en yüksek kayba sebep olur. Burada belirtilen kayıplara örnek olarak şunlar verilebilir (Aytekin, 2010: 62):

- Müşteri memnuniyetsizliği,
- Üreticiye intikal eden ek işçilik, kaynak ve enerji masrafı
- İşletmenin kazandığı kötü ün
- Uzun periyotta pazar payının azalması

Herhangi bir ürün tesliminin ardından topluma mal edilen kayıp, kalite kaybı olarak ifade edilmiştir. Ürün ne kadar fazla istenirse toplumsal kaybın o ölçüde az olması beklenmektedir. Toplumsal kayıp, kalite maliyeti ile ilgili kararları etkilemektedir. Çünkü, işletmenin topluma kazandıracağı tutum doğrultusunda toplum tarafından ödül veya ceza uygulaması yapılmaktadır (Schonberger ve Knod, 1991: 156).

Müşterilerin kullanımına uygunluktaki eksiklik ve ideal performansa uymadaki eksiklik ve ürünün neden olduğu zararın yan etkileri ürünün toplumsal kayıplarını

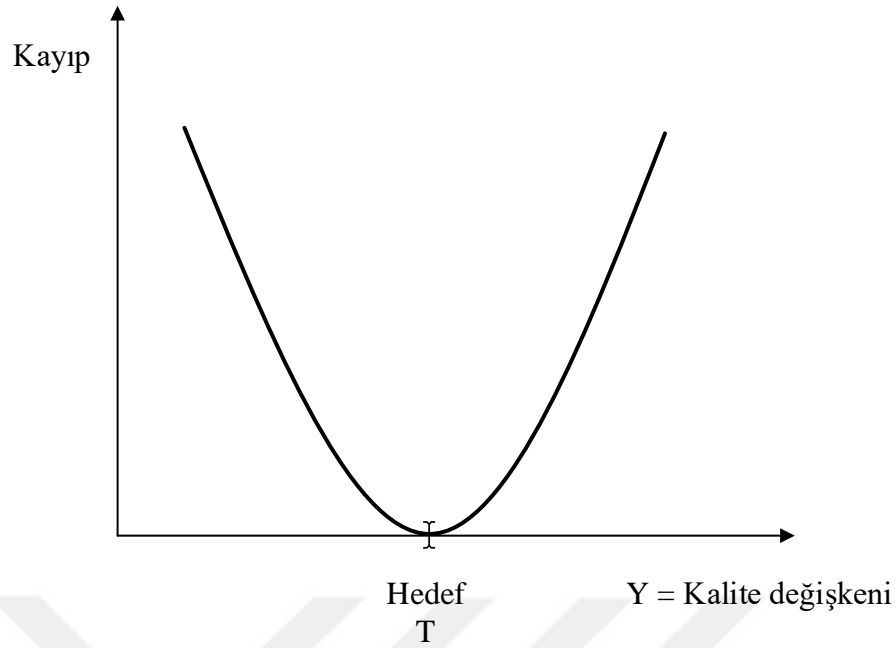
oluşturmaktadır (Aytekin, 2010: 63). Taguchi'nin toplumsal kaybı Şekil 2.9'da verilmiştir (Byrne ve Taguchi, 1987: 20).



Şekil 2. 9. Taguchi toplum kaybının yapısı

Taguchi yönteminde ürünün işlevsel özelliklerinde değişkenlik yaratan, doğrudan kontrol edilemeyen ve kontrol edilebilirliği yüksek maliyet gerektiren faktörler gürültü olarak tanımlanmaktadır. Yöntemde gürültü faktörleri dış, iç ve ürünler arası olmak üzere üçe ayrılarak incelenmektedir (Ross, 1989:169).

Geleneksel kalite kontrol yönteminde üretilen ürünlerin tanımlanmış standartlar değerleri içerisinde olup olmadığına bakılmakta ve olmadığı durumda ürünler yeniden işlenmekte veya hurdaya ayrılmaktadır. Bu durum da işletme kaybı tam ya da yok olarak görülmektedir. Taguchi bu görüşün gerçeği yansıtmadığını belirterek karesel kayıp fonksiyonu olarak ifade edilen kayıp fonksiyonunu geliştirmiştir. Şekil 2.10'da verilen kayıp fonksiyonu sayesinde, hedef olarak belirlenen kalite değerinden sapmanın maliyeti değerlendirilebilmektedir. Şekilde yataydaki eksen hedeften sapılan düzeyi, dikeydeki eksen ise parasal kaybı gösterir. Buradaki parasal kayıp, ürünün işletme çıkışından itibaren meydana gelen tüm kaybın toplamını belirtir. Bu durum, iade, garanti talebi, müşterinin tamir masrafı gibi maliyetleri içermektedir. Hedeflenen değere göre sapma arttıkça, sapmanın karesi oranında kayıp artmaktadır (Şirvancı, 1997: 79).



Şekil 2. 10. Taguchi kayıp fonksiyonunun grafiksel gösterimi (Şirvancı, 1997: 80)

Kayıp fonksiyon denklemleri şu şekildedir:

$$\text{Kayıp} = k (Y-T)^2 \quad (2.1)$$

Denklemdaki, T: hedef değeri, Y: değişkenin ölçülen değerini, k ise sapmayı para birimine çeviren bir katsayıyı ifade etmektedir (Şirvancı, 1997: 79).

Taguchi kayıp fonksiyonu ile hedeflenen sadece tanımlanmış standartları yakalamak değil, hedeften sapmaları en aza indirerek varyansı azaltmaktır.

2.5.3. Taguchi Sinyal/Gürültü Oranı

Taguchi deney tasarım yönteminde ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü (G) faktörüne oranı kalite karakteristiklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değer sinyal değeri, ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payı ise gürültü faktörü olarak simgelenmiştir. Uygulanan deneyler sonucunda ulaşılmak istenen kalite değeri özelliğine göre üç farklı S/G oranı mevcuttur (Aytekin, 2010: 69).

Taguchi yönteminde, kayıp fonksiyonu veya gürültü oranı (S/G-Sinyal/Gürültü) fonksiyonu olarak belirtilen üç farklı amaca göre fonksiyon bulunmaktadır. Bu

doğrultuda amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre Tablo 2.2.’de görülen formüller kullanılarak S/G oranları hesaplanmaktadır (Jeyapaul, Shahabudeen ve Krishnaiah, 2005: 1332).

Tablo 2. 2. S/G oranı formülleri

Hedeflenen Kalite Değeri	S/G Oranı Formülleri	Açıklama
En büyük en iyi	$-10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$ <p>n: tekrar sayısı</p>	İlgilenilen kalite karakteristiğinin maksimize edileceği problemlere uygulanır.
En küçük en iyi	$-10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$ <p>n: tekrar sayısı</p>	İlgilenilen kalite karakteristiğinin minimize edileceği problemlere uygulanır.
Nominal en iyi	$-10 \log_{10} \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$ <p>μ: ortalama σ: standart sapma</p>	Belirli bir hedef değer etrafında ortalama karesel hatanın minimize edilmeye çalışıldığı problem türü nominal en iyi olarak tanımlanmıştır. Ortalamayı herhangi bir yöntem ile hedefe göre ayarlamak, sorunu kısıtlı bir optimizasyon sorununa getirmektedir.

2.5.4. Robust Tasarım

Robust tasarım sayesinde performans özellik, kontrol edilemeyen faktörlerin değişiminden etkilenmemektedir. Çünkü kontrol edilemeyen herhangi bir faktör etkisi kontrol edilebilen farklı bir faktörün ayarlanması ile azaltılabilmektedir. Robust tasarım ile amaçlanan, üründe ve süreçte meydana gelen değişkenliğin yani kalitesizliğin en aza indirilmesidir. Taguchi yönteminin parametre ve tolerans tasarımı aşamalarında robust tasarım mevcuttur.

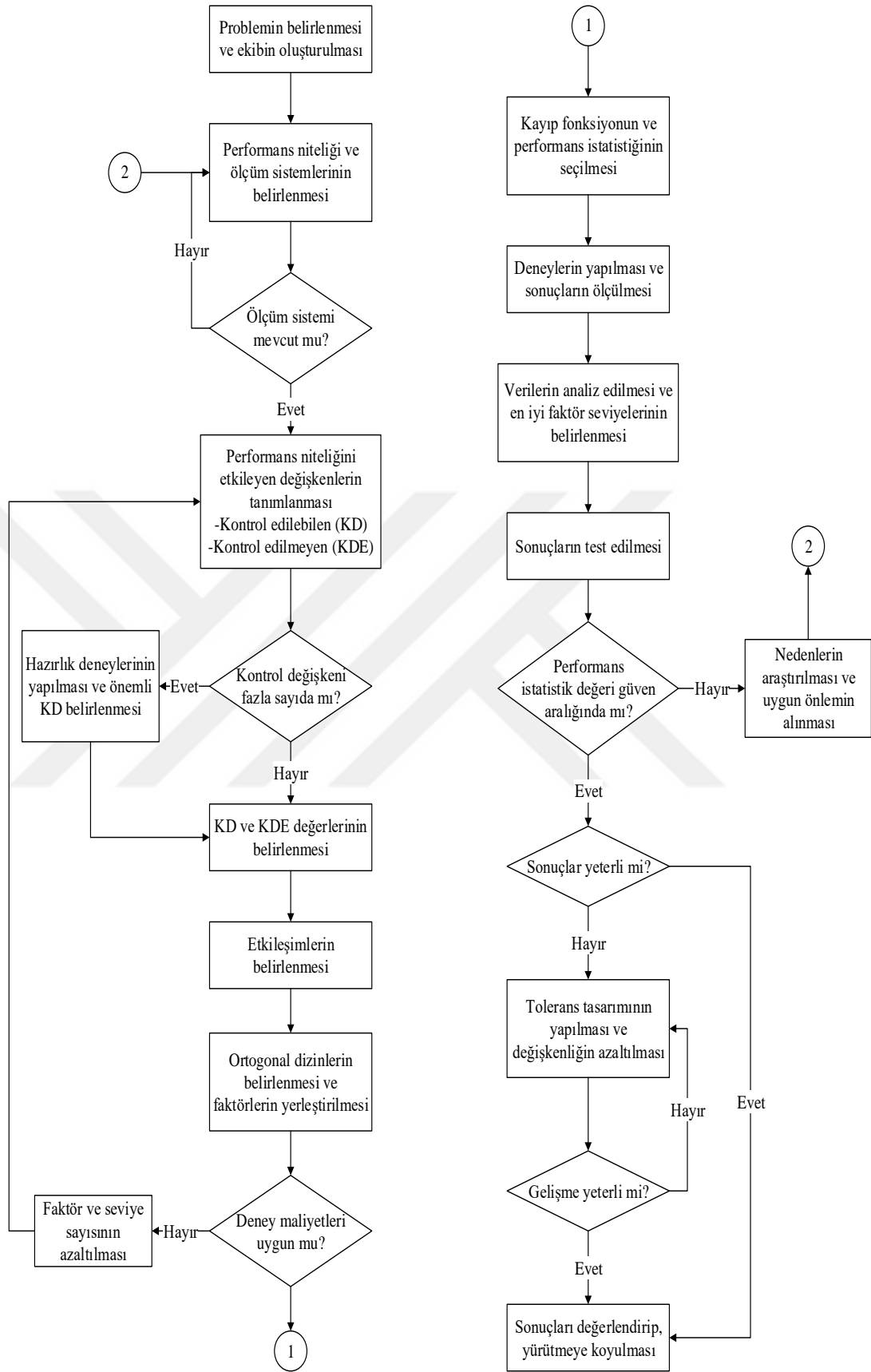
Taguchi robust tasarım yöntemi ile, performansı üretim eksiklikleri, çevresel değişimler ve bozulmalar gibi gürültülere karşı duyarsızlaştırarak hedeflenen değerden çıktı değişkenliğini azaltmayı amaçlamıştır. Özellikle ürün geliştirme ve üretim proses tasarımı bu amacı karşılamakta oldukça etkilidir (Aytekin, 2010: 70).

Robust tasarım ürün ve süreç performansında oluşabilecek değişkenliği azaltarak kaliteyi arttırmayı amaçlamaktadır. Bu durum da ürün ve süreçte değişkenlik oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerinde en uygun değerlerin seçilmesi ile ürün ve süreçte oluşabilecek değişkenliğin minimuma indirilmesiyle sağlanmaktadır. Bahsi geçen robust, nem, toz, ısı gibi çevre koşullarını oluşturan kontrol edilemeyen faktörlerden, müşteri kullanım farklılıkları ve malzeme farklılıklarına duyarsız hale gelmesi yani bu faktörlerden etkilenmemiş ürün ve süreç olarak bahsedilmektedir (Bayrak, 1996: 123-125).

2.5.5. Taguchi Deneysel Tasarım Yönteminin Uygulama Adımları

Taguchi deneysel tasarımı yönteminin başarılı ve etkin bir biçimde ürüne veya sürece uygulanabilmesi için sistemli bir yaklaşım izlenmesi önemlidir. Bu yaklaşım sayesinde yöntemin daha anlaşılabilir olması ve en doğru sonuçlara daha kolay biçimde ulaşılabilmesi mümkündür. Bu doğrultuda Taguchi yönteminin uygulanmasında izlenecek akış Şekil 2.11'de verildiği gibidir. Şekil 2.11'deki akış doğrultusunda, Taguchi deneysel tasarımı yöntemi kapsamında uygulanması gereken faaliyetler şu şekilde derlenebilir (Bayrak, 1996: 124-126):

1. Problemin tanımlanması
2. Performans niteliği ve ölçüm sistemlerinin tanımlanması
3. Performans niteliğini etkileyen ilgili faktörler ve seviyelerinin tanımlanması
4. Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması
5. Etkileşimlerin belirlenmesi
6. Uygun ortogonal dizi seçimi ve bu dizilere faktörlerin yerleştirilmesi
7. Performans istatistiklerinin belirlenmesi
8. Deneylerin uygulanması ve sonuçların ölçülmesi
9. Verilerin analiz edilmesi
10. Doğrulama deneyinin gerçekleştirilmesi



Şekil 2. 11. Taguchi yöntemi uygulamasında izlenecek sistemli yaklaşım akışı

2.5.5.1 Problemin tanımlanması

Bir problemin çözümünde deneysel tasarım yönteminin kullanılması gerekliliği çok kolay anlaşılammaktadır. Bu nedenle problem tanımının net ve anlaşılır biçimde yapılması da zor olmaktadır. Fakat probleme göre oluşturulacak deney amaçları ile birlikte problemin net biçimde ortaya konması, sürecin anlaşılabilirliğinin artırılmasında ve çözümün daha gerçekçi biçimde oluşturulmasında etkilidir. Yapılması planlanan çalışmadaki problem yeni bir ürün veya süreç geliştirme ile ilgili olduğunda tasarımcı, gerekli tüm verileri ilgili birimlerden toparlayarak ve ilgili teknolojik gelişmeleri düşünerek tasarıma başlamalıdır. Fakat yapılması planlanan çalışma mevcut bir ürün veya süreç kalitesinin geliştirilmesi olduğunda problem buradaki aksaklıkların belirlenmesi ve müşteri gereksinimlerine uygun olarak yeniden tasarlanmasıdır. Ayrıca problem tanımını ve Taguchi yöntemindeki tüm süreci ilerletebilecek bir ekibin varlığı da çalışma etkinliğinin artması yönünden önemlidir (Aytekin, 2010: 86).

2.5.5.2. Performans niteliği ve ölçüm sistemlerinin tanımlanması

Ürün kalitesinin ölçümü performans niteliği ile sağlanmaktadır. Ayrıca ürünün müşterinin beklediği fonksiyonları sağlayabilmesinde kalitesini belirten özellikler olarak da ifade edilmektedir. Ürün kalitesinin geliştirilmesi performans niteliğine bağlı olduğu için belirlenmesi gereklidir. Amaç doğrultusunda belirlenen performans niteliği sayesinde başarılı bir çalışma elde edilmesi mümkündür (Taguchi, Chowdhury ve Wu, 2005: 97).

Performans niteliklerinin belirlenmesi deney çıktılarını etkileyebileceği için ivedilikle incelenmelidir. Uygun bir performans niteliği ve ölçüm sistemi seçiminde üzerinde durulması gereken birçok konu vardır. Performans niteliğinin net ve ölçülebilir tanımlanması, müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi, maliyetin çok artmaması, ölçüm biriminin anlaşılabilirliği, ölçüm ortamının uygunluğu ve ölçüm yapılacak sistemler veya aletlerin varlığı bunlardan önemli olanlarıdır (Aytekin, 2010: 87).

2.5.5.3. Performans niteliğini etkileyen ilgili faktör ve seviyelerin tanımlanması

Hedef olarak belirlenen değerdeki sapma gerekçeleri araştırılmaktadır. Faktörler sapmaya sebep olan kaynaklardır ve çıktı üzerinde etkiye sahiptir.

Deney tasarımı gerçekleştirecek kişi veya ekip, ürün performansını etkileyen faktörleri tanımlarken, konu hakkındaki önceki çalışmalardan ve bilgi birikimlerinden faydalanmaktadır. İlgili faktörleri belirlemek amacıyla kalite araçlarından olan beyin fırtınası, sebep-sonuç diyagramı gibi yöntemlerden faydalanılabilmektedir (Durmaz, 2008: 50).

2.5.5.4. Faktörlerin kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olarak ayrılması

Kontrol faktörleri, ürün veya süreç üzerinde etkisi olduğu düşünülen kontrol edilebilir girdilerdir. Örneğin talaşlı üretim sürecinde kesici uç, dalma derinliği, ilerleme hızı, dönme hızı gibi kontrol edilebilen faktörler kontrol faktörleridir. Deneysel tasarımdaki amaç bu faktörlerin değişik seviyelerinin kullanılması ile kalite ölçütünün ne şekilde etkilendiğinin tespit edilmesidir (Savaşkan, 2003: 44).

Gürültü faktörleri, sistemde etkisi olduğu düşünülen, sıcaklık, nem gibi kontrol edilebilirliği zor olan veya kontrol edilmeyecek olan faktörler olarak tanımlanmaktadır. Bu faktörlerin uzun süreli kontrol edilmek istenmesi pahalıya mal olmaktadır. Taguchi yönteminin sağladığı en önemli kazançlardan bir tanesi de gürültü faktörlerinin ürün veya süreç üzerindeki etkisini en aza indirip her durumda robust bir tasarım sağlamasıdır (Aytekin, 2010: 88-89).

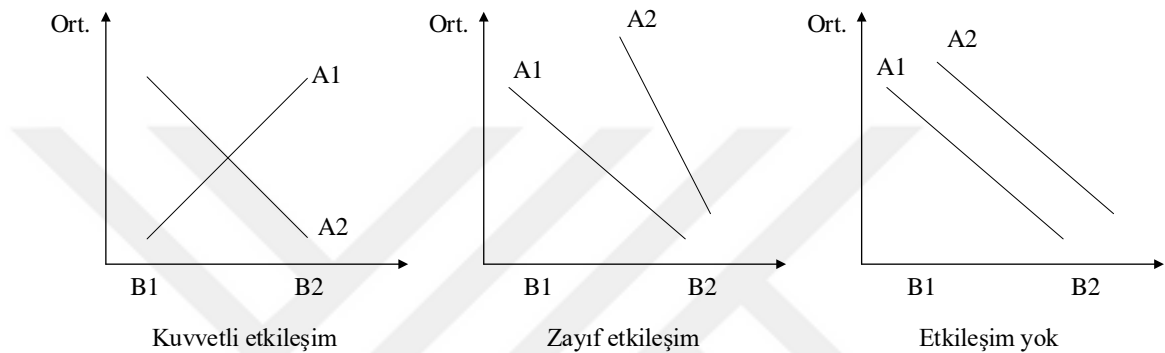
Belirlenen faktörlerin en az iki seviyeye sahip olması gerekmektedir. Seviye değerlerinden ölçülebilir ve ayarlanabilirliği kolay olanlar kontrol edilebilen faktörleri, seviye değeri bulunmayan veya kontrol edilebilirliği zor olanlar ise kontrol edilemeyen faktörleri temsil etmektedir (Ross, 1995: 72).

2.5.5.5. Etkileşimlerin tanımlanması

Taguchi yöntemindeki denemeler gerçekleştirilmeden faktörler arasındaki etkileşim, daha önce gerçekleştirilmiş çalışma sonuçlarındaki verilerden elde edilebilmektedir. Fakat bu durumun ivedilikle incelenmesi gereklidir. Çünkü belirtilmemiş olan önemli bir etkileşim, deney çıktılarına olumsuz biçimde etkileyebilir. Performans niteliğini etkilemesi muhtemel olan etkileşim faktörlerinin deneylerde göz önünde bulundurulması önemlidir (Şanyılmaz, 2006: 41).

Faktörler arasındaki etkileşimlerin deney tasarımındaki uygulamalar süresince etkisi araştırılıp, temel faktörler gibi işlem görmesi sağlanmalıdır. Oluşturulacak ortogonal dizinlerde de etkileşimler kolonlara yerleştirilmelidir (Aytekin, 2010: 91)

İki faktörün etkileşimli olması, bir faktörün (A), diğer faktörün (B) duruma göre değişmesi ile anlatılmaktadır. Etkileşim durumu AxB olarak ifade edilmektedir. Etkileşimli ve etkileşimli olmayan faktörlerin grafikleri Şekil 2.12’de verilmiştir (Ross, 1989: 45-46).



Şekil 2. 12. İki faktör arasındaki etkileşim grafikleri

2.5.5.6. Uygun ortogonal dizi seçimi ve bu dizilere faktörlerin yerleştirilmesi

Uygun ortogonal dizinin seçilebilmesi için toplam serbestlik dereceleri hesaplanmalıdır. Serbestlik dereceleri, süreç faktörleri arasında hangi seviyenin ne ölçüde daha iyi olduğunu gösterecek karşılaştırmaların sayısı olarak ifade edilmektedir. İki süreç faktörleri arasında bulunan etkileşim ile ilgili serbestlik dereceleri, iki süreç faktörünün serbestlik derecesi sonucuyla verilmektedir. Serbestlik derecesi süreç faktörleri ile aynı sayıda veya daha yüksek değerdedir (Ross,1995: 117).

Taguchi yöntemindeki önemli adımlardan biri de ortogonal dizinlerdir. Deney tasarımındaki her bir faktörün serbestlik dereceleri toplamı ortogonal dizinin belirlenebilmesini sağlamaktadır. Serbestlik derecesi sayısı, ilgili faktördeki seviye değerinden bir küçüktür.

$$V_A = k_A - 1$$

(2.2)

$V_A = A$ faktörünün serbestlik derecesi

$k_A = A$ faktörünün seviye sayısı,

Etkileşim faktörlerinin seviye sayıları ise ilgili faktörlerin serbestlik sayılarının çarpımı ile belirlenmektedir.

$$V_{A \times B} = V_A \times V_B = (k_A - 1)(k_B - 1) \quad (2.3)$$

$V_{A \times B} = A \times B$ faktörünün serbestlik derecesi

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamı ile elde edilmektedir.

$$V_T = V_A + V_B \quad (2.4)$$

Faktör grubuna ait serbestlik derecesi oluşturulduktan sonra, serbestlik sayısına göre deney sayısı içeren deney tasarımı seçilmektedir. Serbestlik sayısı en fazla seçilecek olan ortogonal dizinin deney sayısından bir eksik olabilir. $L_a(b^c)$ standardında ifade edilen ortogonal dizinler a deney tasarımıdaki deney sayısını ifade etmektedir. Faktör grubuna ait serbestlik derecesi ve a arasındaki ilişki Eşitlik (2.5)'de verildiği gibidir.

$$V_T = a - 1 \quad (2.5)$$

Örneğin 3 seviyenin ve 2 faktörün bulunduğu bir deney tasarımı çalışmasında toplam serbestlik derecesi $2+2=4$ olacaktır. Bu nedenle yapılması gereken deney sayısı en az 4'tür. Bu durumu ifade eden ortogonal dizin ise $L_4(3^2)$ ortogonal dizinidir.

Seçilmiş olan ortogonal dizindeki kolonlara faktörleri ve etkileşimlerin atarken, Dr. Taguchi'nin geliştirdiği doğrusal grafikler ve üçgensel tablolardan faydalanılmaktadır. Faktörlerin atanması gereken sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşiminde kullanılacağı doğrusal grafikler ile belirtilmektedir. Üçgensel tablolar ise faktörler arasındaki tüm etkileşimleri kapsamaktadır (Taylan, 2009: 44).

2.5.5.7. Performans istatistiklerinin belirlenmesi

Denemeler gerçekleştirildikten sonra oluşan verilerin analizi seçilen performans istatistiklerine uygun gerçekleştirilmektedir. Performans istatistiklerinin hatalı olarak

seçilmesi ise belirlenecek faktör ve seviye kombinasyonun hatalı olmasına ve analizin başarısız olmasına sebep olacaktır.

Taguchi deney tasarımı yönteminde en sık kullanılan performans istatistiği S/G oranı olup bu oran en iyi robust tasarım performansını ölçmektedir. Fakat bu adımda belirlenecek S/G oranının kullanılıp kullanılmamasından ziyade, S/G oranının performans niteliğindeki hedeflenen değere ve yapısına uygun seçilen farklı tipleridir. (Aytekin, 2010: 94)

2.5.5.8. Deneylerin uygulanması ve sonuçların ölçülmesi

Deneyler, probleme göre belirlenen ortogonal dizinin satırlarındaki kombinasyonlar doğrultusunda gerçekleştirilir. Gözlem sayısındaki artışın fazlalığına bağlı olarak, deney sürecindeki hatanın en aza indirilmesi ve gürültü faktörlerinin etkisinin görülebilmesi mümkündür. Deney güvenilirliğinin artırılması içinse belirlenen her bir deney kombinasyonun çok sayıda test edilmesi gerekmektedir (Taylan, 2009: 45)

Uygulanacak deneylerdeki öngörülemeyen hataların etkisini azaltabilmek amacıyla akış sırasının rastgele yapılması önemlidir. Burada amaçlanan birbirini takip edecek olan deneylerdeki, faktör düzeylerinden ve bilinmeyen veya kontrol edilemeyen faktörlerden kaynaklanan etkilenmenin önlenmesidir (Taylan, 2009: 19) Temelde rassallık tamamen rassallaştırma, basit tekrar ve bloklar içinde tamamen rassallaştırma yöntemleriyle sağlanabilmektedir. Her bir deney setinin tekrarı artırılarak istatistiki deney güvenilirliği artırılabilir. Ayrıca bu tekrarlamalar sayesinde hem hata payının azaltılması hem de kontrol edilemeyen faktörlerin deney çıktılarına olan etkisinin azaltılması mümkündür. Hatta bu etkilerin daha kolay ölçülebilmesi de bu sayede muhtemeldir (Açar, 2001: 67).

2.5.5.9. Verilerin analiz edilmesi

Ürün performansını etkileyecek olan faktörler ve uygun seviyelerinin belirlenmesinin ardından, sadece kritik öneme sahip faktör ve etkileşimlerden oluşan bir deney tasarımındaki veriler analiz edilmektedir. Elde edilen gözlem sonuçlarının analiz edilmesinde varyans analizi (ANOVA), faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu, hesap tablosu metodu gibi yöntemler kullanılmaktadır (Taylan, 2009: 45). Taguchi yöntemi ise, bir nevi basitleştirilmiş ANOVA olan sütun etkileri metodunu önerir.

Veriler analiz edildikten sonra analiz sonuçları doğrultusunda önemli faktör veya etkileşimleri belirlemek mümkündür. Verileri yorumlamak için katkı yüzdesi, ortalama tahmini ve tahmin edilen ortalama etrafında güven aralığı metotları kullanılmaktadır (Ross, 1989: 182).

2.5.5.10. Doğrulama deneyinin gerçekleştirilmesi

Deney analizi doğrultusunda en uygun olarak belirlenen koşullara göre yapılan deney doğrulama deneyi olarak tanımlanmaktadır. Eğer deney sonucunda en uygun kombinasyon olarak belirlenen koşuldaki faktör seviyeleri en iyi performans niteliği değerini taşırsa deney tasarımı ile hedeflenene ulaşılmıştır.

Doğrulama deneyi sonuçları belirlenmiş güven aralığında olmadığı zaman uygulanan deney tasarımının başarısız olduğu söylenebilmektedir. Bu durumda prosesin yeniden incelenmesi ve hataların tespit edilmesi gereklidir. Hataların belirlenmesiyle deney tasarımı yeniden başlatılarak en iyi kombinasyonun sağlandığı faktör seviyelerinin bulunması gereklidir (Aytekin, 2010: 107).

2.6. Literatür Araştırması

Çalışma kapsamında kullanılan Taguchi deney tasarımı yöntemi sayesinde sonucun elde edilebilmesine yönelik etkin bir yol izlenebilmiştir. Literatürde, Taguchi deney tasarımı yönteminin tekstil sektöründeki boyama alanında uygulanmış çalışmalarına rastlamak mümkündür. Ancak reaktif boyamada laboratuvar ile işletme renk farkının azaltılabilesine yönelik Taguchi yöntemi ile yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, yapılan çalışmanın özgün bir değer taşıdığı ve bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalara da örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

Kuo vd. (2006) çalışmalarında ham kumaşın boyanmasında istenilen rengin elde edilebilmesine yönelik optimum proses parametrelerini belirlemişlerdir. Çalışmada belirlenen proses parametreleri ile istenen kumaş rengi elde edilirken kumaş kalitesinin de artırılması amaçlanmıştır. Uygulamada naylon-likra karışımli ham kumaş kullanılmıştır. Boyama metodunun uygulanması ise iki bölümlü tek banyoda asit boyarmaddeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parametre dizaynı Taguchi yöntemi ile oluşturulduktan sonra; optimum durum, önemli faktörler ve yüzdelik katkılarını düzenlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Taguchi yöntemi ile makine

işlem sıcaklığı, boyama zamanı, boya çözelti konsantrasyonu ve banyo oranı parametreleri 3 seviyeli olarak ele alınmıştır. Her bir deney seti 3 kez tekrar edilerek toplamda 27 uygulama gerçekleştirilmiştir. Taguchi yönteminin uygulanması sonucunda optimum boyama prosesi 100°C makine işlem sıcaklığı, 50 dk boyama zamanı, 0.6 % o.w.f. (boyanın kumaş ağırlığına oranı) boya çözelti konsantrasyonu ve 1:20 banyo oranı olarak elde edilmiştir. ANOVA sonucundan ise boya çözelti konsantrasyonu ve banyo oranının önemli faktörler olduğu tespit edilmiştir. Sonuçların güvenilirliği hedef değere göre test edildiğinde %99 güven aralığında olduğu görülmüştür. Böylece Taguchi yöntemi ile tasarlanan deney setlerinin güvenilir ve tekrarlanabilir olduğu gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada optimum koşulların tahmin edilebilmesine yönelik, geri yayımlı sinir ağlarının ağırlıklarının bulunabilmesi için genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Önerilen bütünleşik yaklaşım sayesinde elde edilen sonuçlar, genetik algoritma yönteminin geri yayımlı sinir ağlarının ağırlıklarının bulunmasında etkili olduğunu göstermiştir. Bu bütünleşik yaklaşımın en önemli katkısı da kumaş kalite özelliğinin kesin olarak tahmin edilmesi olmuştur.

Tavaani vd. (2006) çalışmalarında matematiksel modelleme ile reaktif boyama sürecindeki değişkenlerin rolünü incelemeye çalışmışlardır. Buhar sıcaklığı, buharlama süresi ve alkali konsantrasyonu, pamuklu kumaşların reaktif boyalarla iki fazlı pad-steam işlemi ile boyanmasında renk verimini belirleyen en önemli üç değişkendir. Çalışma kapsamında bu değişkenler kullanılarak iki fazlı pad-steam fiksaj yönteminde seçilen reaktif boyalarla pamuklu kumaşın boyanmasında renk veriminin modellenebilmesi amaçlanmıştır. Numuneler, deneysel tasarıma göre boyanarak elde edilmiştir. İlk başta, seçilen boyalar için polinom regresyona dayalı modeller üretilmiştir. Bu modeller gerekli gereksinimleri karşılamadığı için ortogonal polinom regresyonu kullanılmıştır. Vinilsülfon haricinde her monoklorotriazin, diklorotriazin, trikloropirimidin grubunda seçilen boyalar için modeller benzerlik göstermiştir ve kabul edilebilir olarak alınmıştır. Faktöriyel tasarımı varyans analizi sonuçlarına göre 100-160 °C aralığında buhar sıcaklığının, seçilen boyaların renk verimini etkilemediğini ve dolayısıyla modellerde ortaya çıkmadığı görülmüştür. Modellerin matematiksel tepki yüzeyleri ile seçilen her bir boyanın renk veriminin maksimize edileceği optimum alkali konsantrasyonu ve buharlama süresi aralığı oluşturulmuştur.

Kuo vd. (2008) çalışmalarında polyester-likra karışimli ham kumaşların dispers boyalar kullanılarak iki bölümle tek banyo boyama metodu ile boyanmasında en uygun proses koşullarını bulmayı ve kalite özelliklerini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Parametre dizaynı Taguchi yöntemi ile oluşturularak; makine çalışma sıcaklığı, boyama zamanı, boya konsantrasyonu ve banyo oranı boyama prosesini etkileyen kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir. Optimum proses koşullarının, önemli faktörlerin ve bu faktörlerin yüzdelerdeki katkılarının belirlenebilmesi için ise varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Taguchi yönteminin uygulanması sonucunda 140°C'lik makine çalışma sıcaklığı, 30 dakikalık boyama süresi, %1'lik boya banyosu konsantrasyonu ve 1:20'lik banyo oranı koşulunun sağlandığı durum optimum olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen ANOVA analizi ile boya katkısı konsantrasyonu ve banyo oranı faktörlerinin yüzdelerdeki katkıları sırasıyla %35.27 ve %34.23 bulunarak önemli faktörler olduğu görülmüştür. Çalışmada uygulanan gri kumaş için renk kuvveti değerinin en küçük olması hedeflenmiştir ve deneyin tekrarlanabilirliğini doğrulamak için hesaplamalar yapılmıştır. Deneysel sonuçlar doğrultusunda optimum boyama koşulları altında boyanmış gri kumaşın renk kuvvetinin hedef değere yaklaştığı tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, boyama performansını önemli derecede etkileyen faktörlerin tahmin edilebilmesi için genetik algoritma ile geri yayımlı sinir ağları metodu bütünleşik olarak uygulanmıştır. Bütünleşik uygulanan yöntem sonucunda optimum ağ ağırlık değerlerinin bulunması sağlanmıştır. Bunun sonucu olarak da öğrenme algoritmasıyla başlangıç şartlarına olan bağımlılık azalmış ve gri kumaşın renk kuvvetinin sağlam bir öğrenme algoritması ile tahmin edilmesi sağlanmıştır.

Yazıcı (2010) çalışmasında Taguchi yöntemiyle makine halıcılığında kullanılacak hav ipliklerinin hammaddesi olan akrilik elyaf ürünün boyama işlemindeki proses şartlarını renk tonu sapmasının minimize edecek şekilde iyileştirerek, renk şiddetinin optimize edilmesini, lif mukavemetinin maksimize edilmesini ve boya banyosundaki boyarmadde miktarının minimize edilmesini hedeflemiştir. Çalışmada Taguchi deney setinin girdi değişkenleri olarak boyama sıcaklığı, boyama süresi, yumuşatıcı, anti-statik, malzeme miktarı, pH, retarder ve dispergator parametreleri incelenmiştir. Optimum proses şartları, önemli faktörler ve bu faktörlerin katılım yüzdeleri varyans analizi ile belirlenmiştir. Elde edilen optimum boyama prosesi parametreleri, hibrit Gri tabanlı Taguchi- Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanarak belirlenmiştir. Performans değeri olan Gri ilişkisel derece değeri, Gri İlişkisel Analiz

yöntemi ile değişken sayısının azaltılmasında kullanılmıştır. Ayrıca Taguchi yöntemi ile belirlenmiş olan optimum boyama prosesi parametreleri YSA metodu ile geliştirilmiştir. Bu doğrultuda Taguchi yöntemi ile optimum boyama koşulları 100 °C sıcaklık, 40 dk. zaman, C tipi yumuşatıcı, A tipi anti-statik, 5 gr malzeme miktarı, 5.5 0,15 ml retarder ve 0,25 ml dispergator ile sağlanırken; bu parametreler YSA metodu ile sırasıyla 92 °C, 40 dk., tip C, tip A, 5 gr, pH 5.5, 0,15 ml ve 0,25 ml olarak geliştirilmiştir. Performansı belirten gri ilişkisel derece değeri Taguchi yönteminde 0,7333, YSA metodunda 0,7497 olarak elde edilmiştir.

Alhalabi vd. (2011) çalışmalarında optimum iplik kalite parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla, liflerin sürtünmesiyle oluşan statik elektriklenme seviyesi ve yağlayıcı madde miktarı faktörleri ile birlikte bu iki faktörün etkileşimli etkilerini Taguchi yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma kapsamında polyester elyaftan Ne24 numara ring iplik numuneleri üretilmiştir. Üretilen iplik numunelerine yağlayıcı madde iki farklı miktarda uygulandıktan sonra üretim sırasında oluşan statik elektriklenme seviyesi iki farklı tarak hızı kullanılarak ayarlanmıştır. Üretilen numuneler sonucunda elde edilen statik elektriklenme ortalama değerleri ile birlikte ipliğin kopma mukavemeti $F[cN]$, kopma uzaması (E%), düzgünlüğü [%CVm] ve hataları (iplikteki ince yerler (-50%), kalın yerler (+50%), neps sayısı (+200%)) ölçülmüştür. Çalışma kapsamında elde edilen verilerin istatistiksel analizi Minitab 14 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Taguchi yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen verilere göre iplik kopma uzaması hariç bütün iplik kalite parametrelerinde statik elektriklenme seviyesinin yağlayıcı madde miktarına göre daha önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm iplik kalite parametreleri için 100 m/dk tarak hızındaki statik elektriklenme seviyesinin ve 450 g yağlayıcı madde miktarının (neps hariç) en iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Fazeli vd. (2012) çalışmalarında Taguchi yöntemi, tam faktöriyel deney tasarımları ile birlikte yanıt yüzey regresyon analizi gerçekleştirerek; seçili altı boya ile boyanmış %100 pamuklu kumaşın renk verimini (F_k) modellemişlerdir. Taguchi yöntemi ile deney setlerinin oluşturulabilmesi için boya konsantrasyonu, elektrolit (sodyum klorür) konsantrasyonu, sıcaklık ve boyama zamanı faktörleri, iki seviyeli olarak uygulanmıştır. Taguchi deney tasarımının uygulanması sonucunda elde edilen (F_k) verilerinde, anlamlı olan faktörlerin belirlenebilmesi için varyans analizi (ANOVA)

yapılmıştır. ANOVA sonucunda ise elektrolit konsantrasyonu ve boyama sıcaklığının renk verimi üzerinde en önemli faktörler olduğu görülmüştür. Taguchi modeli ve ANOVA uygulamalarında istatistiksel yazılım paketi olan Minitab 17.0 14 paket programından faydalanılmıştır. Belirlenen anlamlı faktörlerin seviyeleri ikiden üçe çıkarılarak, tamamlayıcı testlerin tam faktöriyel tasarım kullanılarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Testlerin sonuçlarına yeniden ANOVA uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önemli faktörler göz önüne alınarak ilk yanıt yüzey regresyon modeli üretilmiştir. İlk modellerin geçerliliğini doğruladıktan sonra, modellerin geçerliliği sağlanana kadar Box-Cox dönüşümü gerçekleştirilmiştir.

Kuo vd. (2013) çalışmalarında pamuklu kumaş boyama işleminden kaynaklanan atık suyun oluşturduğu yüksek düzeydeki çevre kirliliği problemini ele almışlardır. Uygulama kapsamında pamuklu kumaş boyaması için bir dizi biyolojik olarak parçalanabilir yüzey aktif madde kullanılmıştır. Bu yüzey aktif maddelerinin pamuklu kumaş boyamadaki optimal parametrelerin analiz edilmesi için Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Kontrol edilen faktörler olarak yüzey aktif maddenin hidrofobik grup zincir uzunluğunu ve yüzey aktif madde konsantrasyonunu ve işlem süresi incelenmiştir. Bu faktörlerin her biri üç seviyeli olarak ele alındığı için L_9 ortogonal dizisine göre deney seti oluşturulmuştur. Deney sonuçlarının S/G oranı kalite karakteristiği en büyük en iyi durumuna göre hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda faktör seviyeleri yüzey aktif cisminin hidrofobik grup zincir uzunluğunun 14, işlem süresinin 40 dakika ve yüzey aktif madde konsantrasyonunun 1 g/l olduğu durumda optimum koşul elde edilmiştir. Parametrelerin boyama sonuçları üzerindeki etkisi ise varyans analizi uygulanarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda en önemli etken faktörünün işlem süresi olduğu görülmüştür. Bunu yüzey aktif madde konsantrasyonunun ikinci önemli etken olarak izlediği belirlenmiştir. Ayrıca, yüzey aktif maddesinin eklenmesi ile, proses sırasında boyama etkisinin arttırılabileceği görülmüştür.

Sarpkaya (2014) çalışmasında haşılama prosesini Taguchi yöntemi ve Gri İlişkiler Analizine Dayalı Taguchi yöntemi kullanarak optimize etmeye çalışmıştır. Uygulamada materyal olarak pamuklu iplik kullanılmıştır. Optimize edilmesi gereken girdi değişkenleri, haşıl prosesindeki süre ve maliyet parametreleri dikkate alınarak çözgü iplik sevk hızı (m/dk), haşıl çözeltisi viskozitesi (Ns/m^2) ve iplik numarası (Ne)

olarak belirlenmiştir. Belirlenen girdi parametreleri ile prosesteki mukavemet ve randıman çıktılarının optimize edilebilmesi için Taguchi yöntemi ile deney setleri oluşturulmuştur. İşletme şartlarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda en iyi mukavemet değeri hız 40 m/dk, viskozite 24 Ns/m², iplik numarası Ne 70/1 olduğu koşulunda, en iyi randıman ise hız 70 m/dk, viskozite 20 Ns/m², iplik numarası Ne 60/1 olduğu koşulda elde edilmiştir. Gri ilişkiler analizi ile randıman ve mukavemet çıktıklarına sırasıyla 0,5-0,5, 0,7-0,3 ve 0,3-0,7 katsayılarında ağırlıklandırma uygulanmıştır ve her ağırlıklandırma sonucunda girdi değişkenlerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. Taguchi ve gri ilişkiler analizine dayalı Taguchi yöntemlerindeki her bir deney setine ANOVA analizleri yapılarak girdi parametrelerinin hangisinin daha etkili olduğu belirlenmiştir. Tahmin edilen girdi parametrelerinin optimum seviyelerine doğrulama deneyi yapılarak, elde edilen sonuçların işletmede uygulanandan daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Hossain vd. (2015) çalışmalarında Taguchi yöntemini kullanarak hem optimum boyama koşullarını bulmayı hem de viskoz/likra karışımı örme kumaşın renk kuvvetini (CS) tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, boyalı numunelerin hazırlanması için tekli jarse viskoz/likra (%95 viskon, %5 likra) karışımı düz örgü kumaşlar kullanılmıştır. Taguchi modeli; hem girdi değişkenleri olan boya konsantrasyonu, sıcaklık, süre, alkali konsantrasyonu, tuz konsantrasyonu ve banyo oranı parametreleri hem de bağımlı değişken olan kumaş renk kuvveti ele alınarak oluşturulmuştur. Deney seti L25 ortogonal dizaynına göre oluşturulmuştur ve her deney üç kez tekrarlanarak toplamda 25 deney yapılmıştır. Uygulanan Taguchi yöntemi sonucunda boyama prosesindeki optimum parametreler %9 boya konsantrasyonu, 60 dk süre, 75 ° C sıcaklık, 14 g/l alkali konsantrasyonu, 50 g/l tuz konsantrasyonu ve 1:8 banyo oranı olarak belirlenmiştir. %95 güven seviyesinde yapılan ANOVA analizi sonucunda ise boya konsantrasyonu ve sıcaklığın önemli faktörler olduğu görülmüştür. Önerilen Taguchi modeli, boyama prosesindeki parametreler ve bu parametrelerinin renk kuvveti üzerindeki etkileri arasındaki etkileşim hakkında iyi bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada uygulanan Taguchi yöntemi, doğrulama deneyi ve ilk defa denenmiş deneysel veri ile doğrulanmıştır. Taguchi matematiksel modeli tahmin analizinden, ortalama mutlak hata %3.48 ve belirleme katsayısı (R^2) 0.88 olarak elde edilmiştir. Böylece Taguchi matematiksel modeli ile tahmin edilen ve gerçekte kullanılan kumaşların renk kuvvetleri arasında ilişki açıklanmıştır. Böylece Taguchi yönteminin

boyama prosesindeki kumaş renk kuvvetinin tahmin edilmesinde ve optimizasyonunda etkili olduğu görülmüştür.

Wahyudin vd. (2017) çalışmalarında bir tekstil firmasındaki boyama prosesinin optimum koşullarını ve her bir parametrenin önem düzeyini belirleyebilmek amacıyla Taguchi yöntemi ve ANOVA kullanmışlardır. Denede 5 gr'lık kare şeklinde kesilmiş olan %100 pamuklu örgü kumaşı kullanılmıştır. Çalışmada Taguchi yöntemi kullanılarak boyama prosesinin optimum koşulu boya konsantrasyonunun % 3.5, Na_2SO_4 konsantrasyonunun 80 g/l, Na_2CO_3 konsantrasyonunun 5.8 g/l ve sıcaklığın 80 °C olduğu durumda bulunmuştur. ANOVA uygulaması ile de parametrelerin önem düzeyleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla %60.53 boya konsantrasyonu, %19.23 sıcaklık, %10.51 Na_2SO_4 konsantrasyonu ve %3.1 Na_2CO_3 konsantrasyonu olarak elde edilmiştir. Taguchi yöntemi kullanılarak elde edilen optimum koşulların doğrulanması amacıyla, tahmin edilen çıktı ile optimal koşullar altında gerçekleştirilmiş beş deney arasındaki benzerlik incelenmiştir ve sonuç doğrulanmıştır. Böylece elde edilen sonucun etkili olduğu kanıtlanmıştır.

Pervez vd. (2018) çalışmalarında Taguchi tabanlı gri ilişkisel analiz kullanarak, formaldehit içermeyen reçineli bitim işlemi faktörlerinin pamuklu kumaş üzerindeki etkisini ve optimize edilmesini deneysel olarak incelemiştir. Reçine bitiminde birden fazla kalite hedefine ulaşabilmek için gerekli proses parametrelerinin en uygun kombinasyonu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında beş faktör ve her bir faktör için seçilen üç seviyeye uygun olan L_{27} ortogonal dizimine göre Taguchi deney tasarımı yöntemi uygulanmıştır. Taguchi tekniği sonucunda kalite değişkenlerini oluşturan buruşmazlık açısı (CRA), yırtılma mukavemeti (TE) ve beyazlık indeksi (WI) değerleri gri bir ilişkisel analiz ile tek bir çıktı değişkenine dönüştürülmüştür. Reçineli bitim işlemi için parametrelerin optimum seviye değerleri 80 g.L^{-1} reçine konsantrasyonu, 40 g.L^{-1} polietilen yumuşatıcı, 25 g.L^{-1} katalizör, 140 °C kür sıcaklığı ve 2 dk kür süresinin olduğu durumdur. Gri ilişkisel analiz değerlerine uygulanan varyans analizi sonucunda verilerin uygunluğu doğrulanmış ve parametrelerin etki sıralaması büyükten küçüğe doğru reçine konsantrasyonu, polietilen yumuşatıcı, katalizör, kür sıcaklığı ve kür süresi olarak bulunmuştur. Dolayısıyla reçine konsantrasyonu, reçineli bitim işleminde gri ilişkisel analiz için en önemli parametredir. Ayrıca tüm işlem parametrelerinin p değeri 0,05'den küçük olduğu için hepsinin önemli olduğu

görülmüştür. Gri ilişkisel analiz yöntemi ile A3B1C3D2E1 koşulundaki ilk parametre kombinasyonundan A1B3C3D2E1 koşulundaki optimum parametre kombinasyonuna geçildiğinde sağlanan iyileşme 0.103676 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, optimize edilmiş kumaş yüzeyi üzerinde iyice biriken reçinenin varlığını doğrulanmış ve termal stabilitede bir iyileşme sağlanmıştır.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TAGUCHİ YÖNTEMİNİN BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE UYGULANMASI

Tekstil pazarında son yıllarda artan küreselleşme ve rekabet, boyahane işletmelerine de yansımakta ve üretilecek siparişlerde istenen renklerin düzgün, tekrarlanabilir ve iyi haslık değerlerinde olması daha da önem kazanmaktadır. Boyahane işletmeleri istenen rengi tek seferde düzgün ve iyi renk haslıklarında boyayabildiğinde, renk düzensizliğinden kaynaklı yaptığı ilave boyamaları gerçekleştirmemektedir. Bu durum maliyetin düşürülmesini sağlamaktadır. Ayrıca siparişlerin müşteriye zamanında teslim edilmesi de sağlanan diğer önemli faydalardan biridir. Tekstil boyahane laboratuvarlarında işletmede yapılacak boyamaların ön denemeleri yapılmaktadır. Ancak bu boya reçetelerinin üretime aktarılması konusunda sorunlarla karşılaşmakta ve renk değerlerinin tutmasında problemler yaşanabilmektedir. Bunun sonucunda işletme boyamalarına ilaveler yapılması zorunlu hale gelerek tamir maliyetlerine katlanılmaktadır. Ayrıca bu ilave boyamalar için gereğinden fazla kaynak, zaman, enerji ve su harcanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında laboratuvar ve işletme boyamaları arasındaki renk farklılıklarının azaltılması amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle renk farklılığına neden olabilecek faktörler belirlenip bu faktörlerin test edilmesi için Taguchi L₉ ortogonal dizimine uygun deney setleri oluşturulmuştur. Deney setlerindeki kombinasyonlara uygun şekilde laboratuvar koşullarında reaktif boyama denemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen boyalı kumaşlardaki renk değerleri spektrofotometre cihazı ile sayısal olarak ölçülmüştür. Ölçüm değerlerinde elde edilen veriler bir tekstil firması ve firma müşterilerinin belirlediği renk toleransları doğrultusunda grafiksel olarak kıyaslanmıştır. Müşterilerin renk değerlendirmede en önemli gördükleri renk farkı değeri ise Taguchi yöntemi analizinde çıktı değişkeni olarak incelenmiştir. En küçük renk farkı değeri en iyi sonucu yansıttığı için Taguchi analizi bu doğrultuda yapılmıştır. İlgili faktörlerdeki seviyelerin S/G oranları dikkate alınarak laboratuvar koşullarındaki optimum reaktif

boyama kombinasyonu belirlenmiştir. Tahmin edilen optimum koşulun doğrulama deneyi yapılarak sonuçların tutarlılığı kontrol edilmiştir.

3.1. Uygulama Alanı İşletmenin Tanıtımı

Laboratuvar ve işletme koşullarında reaktif boyama işleminde aynı reçete ile boyanmış aynı özellikteki havlu kumaşlarda meydana gelen renk farklılıklarının giderilmesine yönelik Taguchi deney tasarımı yöntemi, bir tekstil firmasındaki boyahane işletmesinin laboratuvar biriminde uygulanmıştır.

Uygulamanın gerçekleştirildiği tekstil firmasında, ev tekstili ürünleri kategorisinde bulunan havlu, bornoz ve nevresim ürünlerini üretilmektedir. Firma özellikle havlu – bornoz üreticileri arasında Ortadoğu ve Avrupa'nın en büyük üretim kapasitesine ve modern teknolojisine sahiptir. 300 havlu ve kumaş dokuma tezgahı, 100 iç giyim ve örgü makinesi, 21 HT, 8 Polyamid, 6 Bobin Boya, 1 Açık En Boya, kapitone ve yorgan makineleri ile beraber 700 dikiş makinesi ile aylık 1000 ton üretim kapasitesine sahiptir. 1500'den fazla çalışanı ile birlikte sağladığı ürün kalitesi, üretim ve servisteki hızı ile başta Avrupa olmak üzere İngiltere'ye, Amerika'ya, Rusya'ya, Orta Doğu ülkeleri ve Afrika'ya satış gerçekleştirmektedir. Firma kalite standartları ve çevresel sürdürülebilirlik politikaları ile fark yaratarak sürekli gelişmektedir.

3.2. Problemin Belirlenmesi

Günümüzde hızla artmakta olan küreselleşme ve rekabet ortamı, tekstil sektörünün çoğu alanında olduğu gibi boyahanelere de yansımaktadır. Özellikle müşteri memnuniyetinin ve beklentilerinin ön planda tutulma zorunluluğu, boyahanelerde üretilen kumaşlarda istenen renklerin düzgün, tekrarlanabilir ve iyi haslık değerlerine sahip olmasını gerekli kılar. Müşterinin üreticiden istediği kumaş renginin tek seferde düzgün ve iyi renk haslıklarında elde edilebiliyor olmasıyla boyahane işletmelerinin renk düzgünsüzlüğünden dolayı gerçekleştirdiği ilave boyamalara gerek kalmamaktadır. Bu durum hem üreticinin katma değersiz işlem olan tamirden dolayı katlandığı fazla maliyeti önlemekte hem de su ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca tamir kaynaklı yaşanan gecikmelerin de önlenmesiyle siparişlerin zamanında teslim edilmesi sağlanan en önemli kazançlardandır. Bu sayede müşteride oluşabilecek prestij kaybı da önlenmektedir.

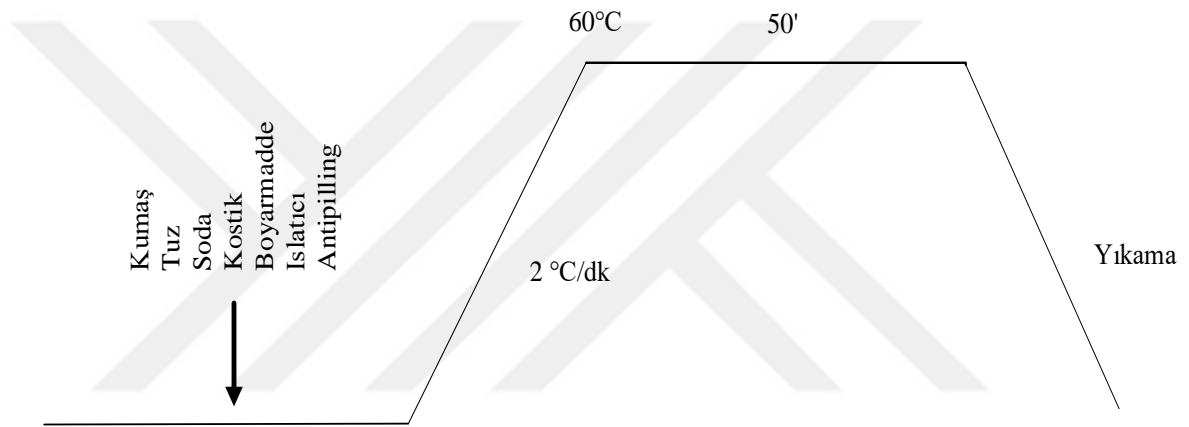
Tekstil sektöründe boyahane işletmelerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan bir tanesi laboratuvar ortamında gerçekleştirilen renk çalışmalarının işletme koşullarında boyanmış kumaş renk sonuçları ile benzerlik göstermemesidir. Laboratuvarda yapılan renk çalışmaları işletmede yapılan boyamaların ön hazırlığı niteliğindedir. Tekstil boyahane laboratuvarlarında işletmede yapılacak boyamaların ön denemeleri yapıldıktan sonra boya reçetelerinin üretime aktarılması sonucunda bazı sorunlarla karşılaşmakta ve renk farklılıklarının olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sonucunda işletme boyamaları yeniden yapılarak israf olarak görülen tamir işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle işletme boyamaları için fazladan kimyasal, su, enerji ve zaman harcanarak fazla üretim maliyetine katlanılmaktadır.

Reaktif boyalarla gerçekleştirilen tekstil boyamalarında genellikle trikromi renkler (bir rengi oluşturmak için üç boyarmaddenin birlikte kullanılması) kullanılmaktadır. Bu nedenle bu boyamaların laboratuvar koşullarında elde edildikten sonra işletme koşullarına aktarılmasında veya partiden partiye düzgün boyanmasında sıkça sorunlarla karşılaşmaktadır. Bazı durumlarda boyama koşullarındaki farklar nedeniyle %5-10'luk geri dönüşler ve tamirler yaşanabildiği belirtilmektedir. Bu oran işletmeden işletmeye farklılık göstermekle birlikte maliyet olarak da olumsuz etkiler göstermektedir. Hatalı boyamaların neden olduğu maliyetler incelendiğinde ise boyamaların %80'inin hatasız tek seferde, %15'inin nüanslama işlemine tabi tutulduğu, %3'ünün düzgünleştirme işleminden geçirildiği ve %2'sinin sökülerek tekrar boyandığı kabul edilmektedir (Tarakçıoğlu,1984: 123-124). Hatasız boyamaların maliyet faktörü 1 birim alındığında, hatalı reaktif boyamaların sebep olabileceği maliyet fazlalığı Tablo 3.1'de verildiği gibidir (Yurdakul, Orzel ve Atav, 2004:2).

Tablo 3. 1. Hatalı reaktif boyamalarının maliyet faktörüne etkisi

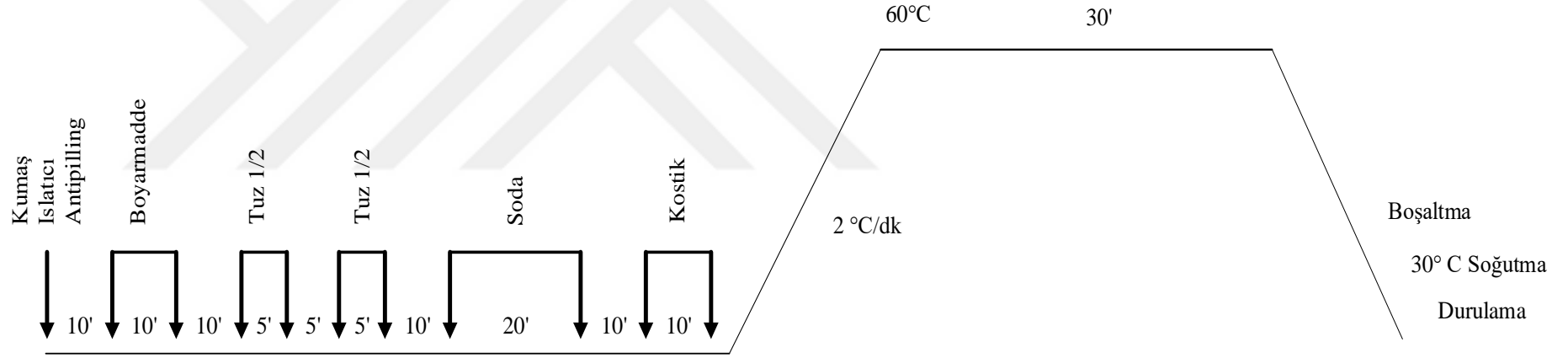
Reaktif boyama detayı	Maliyet faktörü
Tek seferde boyama	1 birim
Nüanslama ile boyama	1,4 birim
Düzenleştirme ile boyama	1,8 birim
Sökerek yeniden boyama	2,7 birim

Müşterilerin numune aşamasında işletmeden talep ettiği ürünlerdeki renk alternatiflerinin fazla olması ve numune teslim sürelerinin kısa olması laboratuvar ortamında uygulanan proseslerin minimum sürede gerçekleştirilmesini zorunlu kılar. Bu doğrultuda uygulamanın gerçekleştirildiği tekstil işletmesinin boyahane laboratuvarlarında yapılan reaktif boyamalarda kumaş, tuz, soda, kostik ve boyarmadde boyamanın başlangıcında eklenmekte, 2°C/dk sıcaklık artışı sağlanmakta ve sıcaklık 60°C'ye ulaştığında 50 dakika boyama yapılmaktadır. Boyama işleminin ardından yıkama proseslerine geçilerek laboratuvar koşullarındaki reaktif boyama süreci tamamlanmaktadır. Bu süreç kapsamında uygulanan işlem akışı ve süreler Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen 60 °C sıcaklıktaki reaktif boyama grafiği

Sipariş aşamasında ise kumaş üzerinde kimyasal ve boya maddelerinin stabil bir afinite sağlayabilmesi için işletme koşullarında gerçekleştirilen reaktif boyama sürecinin işlem akışı ve süreleri Şekil 3.2'deki gibidir. Diyagramda gösterilen reaktif boyama adımlarına göre başlangıçta kumaş, ıslatıcı ve antipilling enzimi verildikten 10 dakika sonra boyarmadde, 10 dakika sonra tuz miktarının yarısı, yine 5 dakika sonra kalan tuz miktarı, 10 dakika sonra soda ve 10 dakika sonra kostik beslenmektedir. Flotteye sırasıyla alkali ortamı sağlayacak olan soda 20 dakika ve kostik 10 dakika boyunca yavaş yavaş beslenmektedir. Daha sonra sıcaklık 60°C'ye yükseltilmekte ve 30 dakika daha boyama işlemi yapılmaktadır. Toplam olarak reaktif boyama işlemi 125 dakika sürmektedir. Boyama süreci ardından ise suyun makineden boşaltılması, su sıcaklığının



Şekil 3. 2. İşletme koşullarında gerçekleştirilen 60 °C sıcaklıktaki reaktif boyama grafiği

30°C'ye düşürülmesi ve durulama işlemleri takip edilerek yıkama işlemleri yapılmaktadır.

Belirtilen durumlardan dolayı laboratuvar ve işletme koşullarında gerçekleştirilen reaktif boyamaların yöntem ve süre olarak farklılık göstermesi, laboratuvar ve işletme koşullarında aynı reçete ile boyanmış aynı özellikteki havlu kumaşlarda renk farklılığına neden olabilecek önemli bir durumdur. Reaktif boyama işleminde karşılaşılan bu sorunlar, uygulamanın gerçekleştirildiği tekstil işletmesinin boyahane biriminde de görülerek benzer sonuçların ve kalitesizlik maliyetlerinin yaşanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle laboratuvar ve işletme koşullarında aynı reçete ile boyanmış havlu kumaşlarında oluşan renk farklılıklarının azaltılması önemlidir. Çalışma kapsamında boyahane biriminde trikromi nedeniyle renk farklılığı yaratma riski en yüksek boyarmaddelerin denenmesi uygun görülmüştür. Bu doğrultuda seçilen renk reçetesine göre laboratuvar ve işletme reaktif boyamaları arasındaki renk farklılıklarının azaltılabilmesine yönelik Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi deney seti işletme tecrübeleri, müşteri geri dönüşleri ve tekrarlı üretim miktarları göz önünde bulundurularak, boyarmaddelerin hassasiyeti ve boyarmadde oranlarının yakın olduğu 4808 renk numaralı reçete için gerçekleştirilmiştir.

3.3. Taguchi Yönteminin Uygulanması

Laboratuvar ve işletme reaktif boyamaları arasında oluşan renk farklılıklarının giderilmesine yönelik öncelikle renk farklılığına neden olabilecek tüm faktörler ve bu faktörler içerisinde etki derecesinin fazla olanları belirlenmiştir. Etki derecesi fazla olan faktörlerin seviyelerinin test edilmesi için Taguchi deney tasarımındaki ortogonal dizi kullanılarak uygulanacak deney setleri oluşturulmuştur. Belirlenen deney setleri laboratuvar ortamında gerçekleştirildikten sonra işletme koşullarında boyanmış kumaşa göre ne kadar sapma gösterdiği spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarından elde edilen renk farklılık değerleri doğrultusunda işletme koşullarında boyanmış havlu kumaşına en yakın renk değerini verebilecek faktörlerin seviyeleri belirlenmiştir. Tahmin edilen deney seti sonucunda ise olası gerçekleşecek renk farklılık değeri tahmin edilmiştir. Tahmin edilen renk farklılık değerinin doğrulanmasına yönelik öngörülen deney seti uygulanarak sonuçların karşılaştırılması sağlanmıştır.

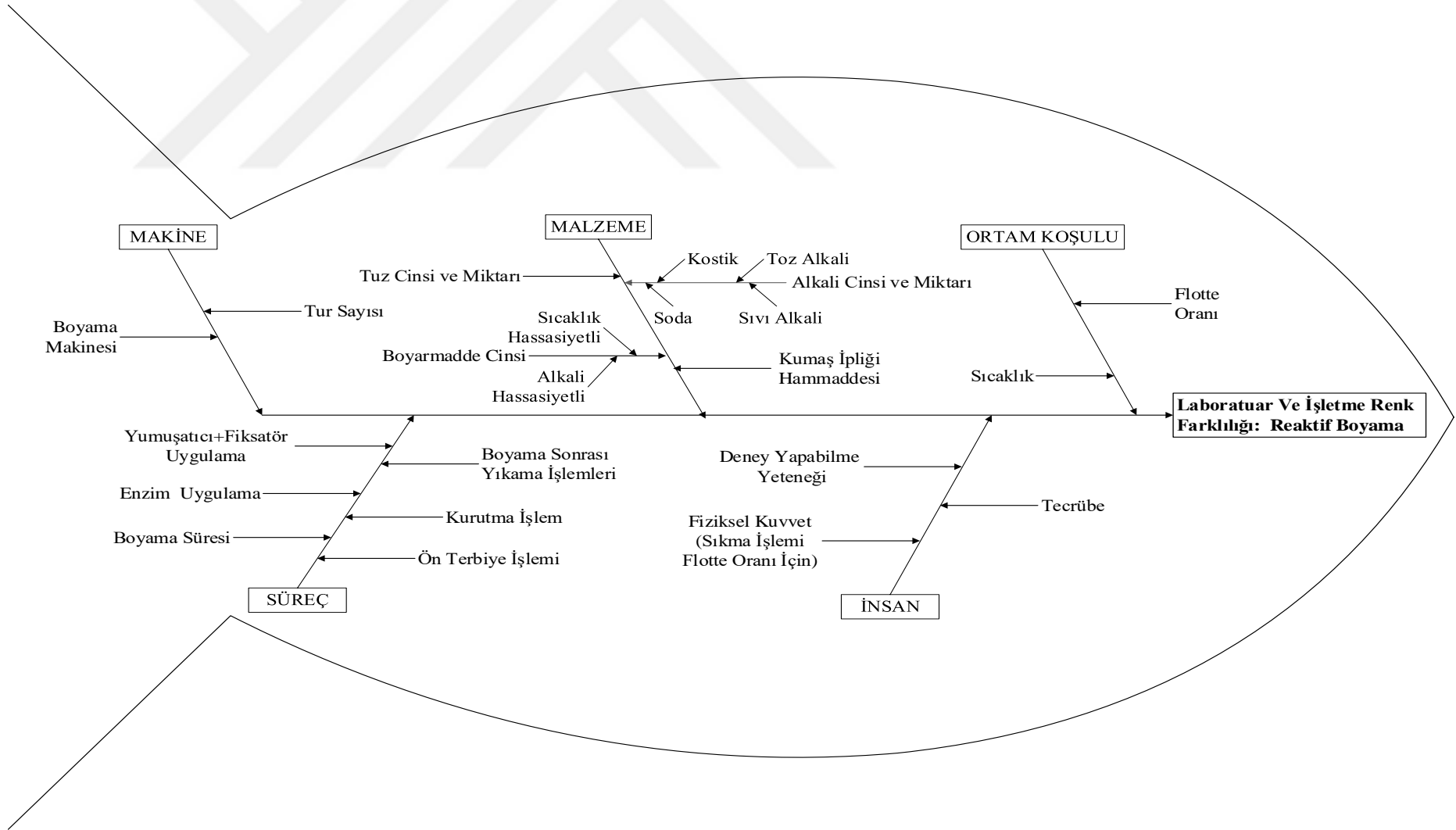
3.3.1. Faktörler ve Seviyelerin Belirlenmesi

Taguchi deney tasarımı yönteminin uygulanabilirliği için öncelikle laboratuvar ve işletme reaktif boyamaları arasında renk farklılıklarına neden olabilecek faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Renk farklılıklarına neden olabilecek kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler, uzman bir ekip ile birlikte gerçekleştirilen odak grup toplantısı sonucunda belirlenmiştir. Renk farklılığına etkisi olduğu düşünülen tüm faktörler Şekil 3.3'te neden-sonuç araçlarından biri olan balık kılıcı diyagramında gösterilmiştir.

3.3.1.1. Kontrol edilemeyen faktörler

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilecek olan reaktif boyama işlemlerine etki eden fakat kontrol edilemeyen faktörler Taguchi deneyleri sürecinde sabit tutularak, sonuçlara olan etkileri minimize edilmeye çalışılmıştır. Bu faktörler su, reaktif boyama sıcaklığı, flotte oranı ve boyarmadde cinsi olarak belirlenmiştir. Belirlenen kontrol edilemeyen faktörlerin değerleri ve gerekçeleri şu şekildedir:

- Reaktif boyamalarda kullanılacak suyun bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bunlar pH' ının 7 seviyesinde korunması, Ca^{++} ve Mg^{++} iyonları içermemesi ve sertliğinin 4°dH'dan küçük olmasıdır. Ayrıca boyama düzgünlüğü ve tekrar edilebilirliğinin sağlanması için sudaki bikarbonat miktarı da kontrol altında tutulmaktadır.
- Reaktif boyama işleminde kullanılan boyarmaddelerin aktif olabilmesi için optimal sıcaklığın 60°C olması gerekmektedir. Bu nedenle sıcaklık tüm deney koşullarında sabit tutulmuştur.
- Boyanan kumaş miktarı çok az olduğu için flotte oranı 1/10 alınarak çözelti miktarı arttırılmaktadır. Laboratuvar reaktif boyama yönteminde yardımcı maddelerin tamamı prosese en başında verildiği için üründe abraj oluşmasının engellenmesi amacıyla flotte oranı tüm deney koşullarında sabit hazırlanmıştır.
- Tedarikçi firmadan temin edilen boyarmaddelerin aynı döneme ait malzemeleri kullanılarak farklı özellik gösterme ihtimali önlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. 3. Laboratuvar ve işletme renk farklılığına neden olabilecek faktörler

İşletmeden elde edilen bilgiler doğrultusunda laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen reaktif boyamalar sırasında kontrol edilemeyen faktörler ve seviyeleri sabit tutularak renk farkı değerlerini oluşturan çıktılar üzerindeki etkileri azaltılmaya çalışılmıştır.

3.3.1.2. Kontrol edilebilir faktörler

Taguchi deney seti uygulaması sırasında kullanılacak, renk farklılık değeri üzerinde etkisinin incelenmek istendiği ve seviyeleri net olarak kontrol edilebilecek faktörler, işletmenin kendi bünyesinde gerçekleştirdiği denemelerden elde ettiği veriler doğrultusunda uzman ekip tarafından yapılan beyin fırtınası tekniği ile belirlenmiştir. Bu doğrultuda etki derecesinin en fazla olduğu düşünülen dört faktör ve bu faktörlerin üç ayrı seviyede incelenmesi uygun görülmüştür. Uygulamalar dört kontrol faktörünün üç seviyeli olarak ele alınmasıyla $L_9(3^4)$ ortogonal dizisi kullanılarak, her bir deneyin 2 kez tekrarlanmasıyla toplamda 18 deney ile gerçekleştirilmiştir. Belirlenen kontrol edilebilir faktörler ve seviyeleri Tablo 3.1'deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3. 2. Kontrol edilebilir faktörler ve seviye değerleri

No	Faktörler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1	Boyama Süresi	dk	50	60	70
2	Tuz/Soda Miktarı	g/l	40/6	45/8	50/10
3	Kostik Miktarı	g/l	0	1	2
4	Makine Tur Sayısı	-	20	35	40

Kontrol edilebilir faktörler ve seviyelerinin seçilme gerekçeleri şu şekildedir:

1. Faktör: Boyama süresi

Reaktif boyarmaddeler ile yapılan boyamalarda, boyarmaddenin fiksaj adımını tamamlayabilmesi için sabit sıcaklıkta belli bir süre boya işleminin yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda boyama süresi faktörüne ait belirlenen seviyeler aşağıda belirtilmiştir:

- **50 dk:** Laboratuvarında yapılan reaktif boyamalar için mevcut süreç 60°C sıcaklıkta yapılan 50 dakikalık boyama süresidir. Bu yüzden ilk seviye olarak 50 dk seçilmiştir.
- **60 dk:** 1. ve 3. seviyeye eşit değerinde olan 60 dk 2. seviye olarak belirlenmiştir.
- **70 dk:** Laboratuvarında yapılan ön denemelerde boya alımının 70 dk'dan sonra azaldığı görüldüğü için 3. seviye olarak 70 dk seçilmiştir.

2. *Faktör: Tuz/Soda miktarı*

Reaktif boyamalarda boyarmaddenin kumaşa tutunmasını artırmak amacıyla tuz kullanılmaktadır. Tuzun verilmesi sayesinde boyanın kumaş tarafından daha fazla çekilmesi sağlanmaktadır. 4808 renk numaralı boyarmaddelerdeki substantiflik, boyama koyuluğu, boyama sıcaklığı ve flotte oranı göz önünde bulundurularak flotte içerisine konulacak tuz miktarının ilk seviyesi 40 g/l, ikinci seviyesi 45g/l, üçüncü seviyesi ise 50 g/l olarak belirlenmiştir.

Soda kullanımı ise reaktif boyama için gerekli olan alkali ortamı sağlamaktadır. Reaktif boyama başlangıcında alkali ilave edilirken öncelikle zayıf olandan başlanıp sonrasında kuvvetli olana geçilmektedir. Çünkü pH düzeyinde gerçekleşebilecek ani bir değişim düzgün olmayan boyamaya neden olmaktadır. 4808 renk numaralı boyarmaddelerdeki reaktiflik seviyeleri, boyama koyuluğu ve boyama sıcaklığı göz önünde bulundurularak 1:10 flotte oranına göre zayıf alkali ortamı sağlayacak olan soda miktarının ilk seviyesi 6 g/l, ikinci seviyesi 8 g/l, son seviyesi ise 10 g/l olarak incelenmiştir.

3. *Faktör: Kostik miktarı*

Reaktif boyamada ortamın kuvvetli biçimde alkali yapılması için kullanılan kimyasal üründür. Alkali ortamın sağlanmasında sodaya göre daha hızlı etki göstermesi nedeniyle reaktif boyamalarda kullanılmaktadır. 4808 renk numaralı boyarmaddelerdeki reaktiflik seviyeleri, boyama koyuluğu ve boyama sıcaklığı göz önünde bulundurularak 1:10 flotte oranına göre kuvvetli alkali ortamı oluşturacak olan kostik miktarının ilk seviyesi 0 g/l, ikinci seviyesi 1 g/l ve üçüncü seviyesi ise 2 g/l olarak ele incelenmiştir.

4. *Faktör: Makine tur sayısı*

Boyama makinesinin çalışma prensibi gereği makine merkez kaç kuvvetiyle dönerken boyama işlemi yapılmaktadır. Tur sayısı ise makinenin dakikada döndüğü devir sayısını ifade etmektedir. Seviyeler belirlenirken kullandığımız makinenin minimum çalışma değeri olan 20 ilk seviye, mevcut durumda kullandığımız 35 ikinci seviye ve maksimum çalışma değeri olan 40 üçüncü seviye olarak seçilmiştir.

3.3.2. **Deneyin Uygulanması ve Verilerin Analizi**

Taguchi yöntemi, ürün veya süreç üzerinde etkili olan faktörlerin iyileştirilmesi ile kalite boyutunda iyileştirilme veya süreklilik sağlanabilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntem ile ürün veya sürece ait faktörlerin optimum seviyeleri belirlenerek çıktı değerlerindeki değişkenlikler minimize edilmektedir. Böylece ürün veya süreçlerin istenen nitelikte, tekrarlanabilir ve düzgün gerçekleşmesi sağlanmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında da reaktif boyamalar için laboratuvar ve işletme renk farklılığına etkisi olan faktörler tespit edilmiş ve Taguchi deney tasarımı yöntemi ile belirlenen faktörlerin optimum seviyeleri bulunmuştur. Uygulanan çalışma sonucunda ise renk değeri farkı olarak belirlenen çıktı sonucunun minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Gerçekleştirilecek Taguchi deney uygulamaları için öncelikle 4 faktör ve 3 seviyeye uygun olan ortogonal dizi matrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilecek olan reaktif boyama deneylerinin belirlenebilmesi için ortogonal dizi matrisi, istatistiksel paket programı olan Minitab 17.0 versiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Program içeriğine girilen 4 faktör ve 3 seviyeye uygun olarak L₉ deney planı seçilmiştir. Tablo 3.2' deki gibi elde edilen matris doğrultusunda uygulanacak olan deneylerin koşulları belirlenmiştir.

4808 renk numaralı reçetenin laboratuvar ve işletme koşullarında uygulanması sonucunda yaşanan renk değeri farklılığının azaltılabilmesi için laboratuvar ortamında reaktif boyama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen matris doğrultusunda uygulanacak olan 9 deney koşulu Taguchi'nin tekrarlanma prensibi göz önünde bulundurularak ikişer kez yapılmıştır.

Tablo 3. 3. Taguchi L₉ ortogonal dizisi deneysel tasarım planı

Deney No	Deney Adı	Faktörler			Makine Tur
		Boyama Suresi (dk)	Tuz/Soda Miktarı (g/l)	Kostik Miktarı (g/l)	
1	D1111	50	40/6	0	20
2	D1222	50	45/8	1	35
3	D1333	50	50/10	2	40
4	D2123	60	40/6	1	40
5	D2231	60	45/8	2	20
6	D2312	60	50/10	0	35
7	D3132	70	40/6	2	35
8	D3213	70	45/8	0	40
9	D3321	70	50/10	1	20

Tüm deneylerde aynı kullanılacak hammadde ve malzemeler ise şu şekilde belirlenmiştir:

- **Havlu kumaş:** İşletme koşullarında boyama hazırlık işlemine tabi tutulmuş 500 gr/m², %100 pamuklu 10 gr'lık havlu kumaşlar kullanılmıştır.
- **Boyarmaddeler:** Uygulama kapsamındaki tüm deneylerde çıktı olarak kullanılacak renk farkı değerlerinin karşılaştırılabilmesi için aynı miktarda reaktif boyarmaddeler kullanılmıştır. Laboratuvar koşullarında uygulanacak deneyler için kullanılması gereken boyarmadde miktarları çok az olduğu için toz boyalardan çözelti hazırlanarak boyaların elde edilmesi sağlanmıştır. Boyama deneylerinde kullanılan çözelti halindeki boyarmaddeler ve miktarları Gri: 0,4 ml, Sarı: 0,14 ml, Kahve: 0,0950 ml şeklindedir.

Taguchi deney tasarımına uygun olarak aynı kumaşlar ve aynı boyarmaddeler kullanılarak aynı laborant tarafından tek reçete kullanımı ile aynı laboratuvar makinesinde reaktif boyama denemelerinin tamamı gerçekleştirilmiştir. Denemelerde kullanılan Rapid: EcoDyer laboratuvar tipi boyama makinesi Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3. 4. Rapid: EcoDyer laboratuvar tipi boyama makinesi

Uygulama koşulları belirlenen Taguchi deneylerinin tümünde ortak olarak uygulanan boyama ve yıkama işlemlerinin adımları aşağıda belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir:

1. **Adım:** Kullanılacak toz boyarmaddelerden 1 g alınıp 100 ml su içerisine konularak %1'lik çözeltiler hazırlanır.
2. **Adım:** Çözülen boyalar reçetede belirlenen miktarda Şekil 3.5'te görüldüğü gibi elektronik pipetle alınır.



Şekil 3. 5. Elektronik pipetleme işlemi

3. Adım: Şekil 3.6'daki tüp içerisine tüm sıvı çözeltiler aşağıdaki adımlara göre eklenir.

- Deney setlerinde belirlenen sıvı çözelti miktarı toplamı -100 ml olana kadar pH seviyesi 7 olan su ilave edilir.
- Deney setlerinde belirlenen tuz miktarı eklenir.
- Deney setlerinde belirlenen soda miktarı eklenir.
- Deney setlerinde belirlenen kostik miktarı eklenir.



Şekil 3. 6. Sıvı çözeltilerin hazırlandığı metal tüpler

- 4. Adım:** Tüp içerisine hazırlanan çözeltilerin içine 10 g havlu kumaş eklenir.
- 5. Adım:** 60° C’de belirlenen sürelerde boyama işlemi gerçekleştirilir.
- 6. Adım:** Rengi sabitlemek için, pH:5.5 olan 50° C suda boyalı kumaş 15 dk karıştırılarak bekletilir.
- 7. Adım:** Hidrolize olmuş boyaları akıtmak için, pH:7 olan 70° C suda boyalı kumaş 15 dk karıştırılarak bekletilir.
- 8. Adım:** Hidrolize olmuş boyaları akıtmak için, pH:7 olan 90° C suya sabun ilave edilerek boyalı kumaş 15 dk karıştırılır.
- 9. Adım:** Boyalı kumaş kurutma makinesinde kurutulduktan sonra renk ölçümlerine bakılır.

Uygulanan deney koşulları sonucunda çıktı olan her boyalı havlu kumaş üzerine deney koşullarının yazıldığı etiketler yapıştırıldıktan sonra şeffaf poşetlere yerleştirilerek muhafaza edilmiştir.

3.3.3. Boyanmış Havlu Kumaşların Renk Değeri Farklılıklarının Ölçülmesi

Taguchi deney tasarımı yönteminde çıktı olarak belirlenen renk değeri farkının ölçülebilmesi için laboratuvar test cihazı olan spektrofotometre kullanılmıştır. Spektrofotometre cihazları renk değerlerini sayısal olarak göstermekle birlikte standart bir yaklaşım sunduğu için genellikle tekstil sektöründe renk değerlendirme amacıyla kullanılmaktadır.

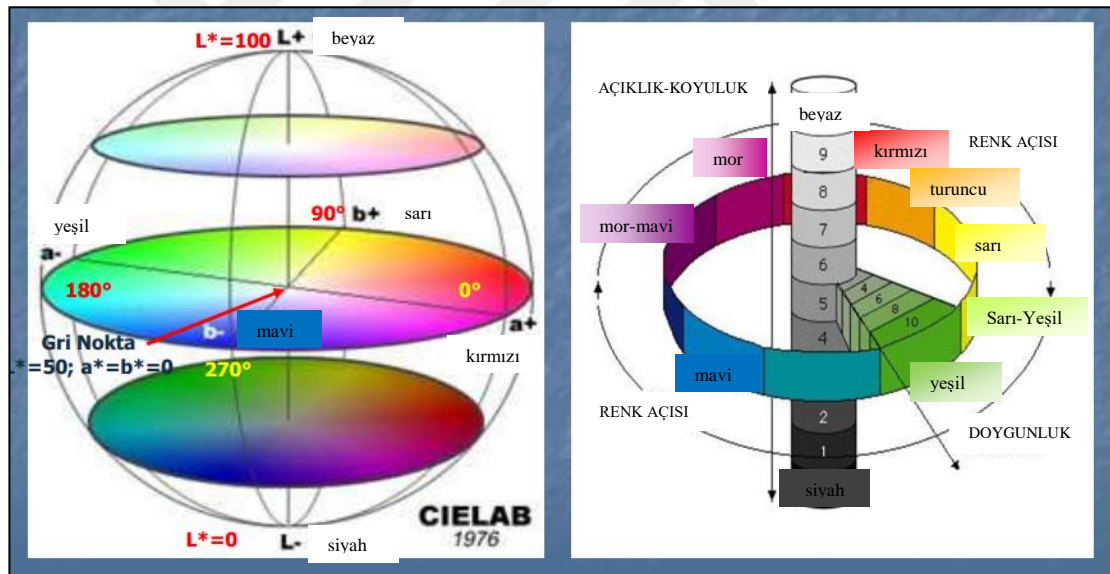
Rengin değerlendirilebilmesi için öncelikle renk konusu incelenmeli ve değerlendirmede kullanılacak çıktı değişkenleri belirlenmelidir. Renk ışık enerjisini kapsayan fiziksel bir objeye insan gözünün yanıtı olarak tanımlanabilir. Rengin görünmesi için ışığın bulunması zorunludur. Renk belli bir dalga boyu ve frekansı olan elektromanyetik bir dalgadır (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011: 23). Rengin matematiksel olarak ifade edilebilmesi için bazı sistemler geliştirilmiştir. Bunlardan en çok bilineni ve uygulananı CIELab sistemidir ve bu sistem sayesinde rengin sayısal olarak değerini belirlemek mümkündür. CIELab sisteminde rengi matematiksel olarak tanımlayabilmek için renk koordinatları bulunmaktadır. Fakat zayıf renk hafızası, farklı gözlem şartlarında insan gözünün renkleri farklı algılayabilmesi, renk körlüğü gibi sınırlamalar insan gözünün renk değerlerini yanlış değerlendirmesine neden olabilmektedir (Becerir,

2017: 21-23). Bu nedenle tekstilde renk değerlendirme işlemleri için daha standart bir yaklaşım olması açısından spektrofotometreler kullanılmaktadır. Spektrofotometreler renk değerlerini sayısal olarak verebilmektedir.

Renk koordinatları ile ölçülebilen renk değerlerinin açıklaması şu şekildedir (Becerir, 2017: 40):

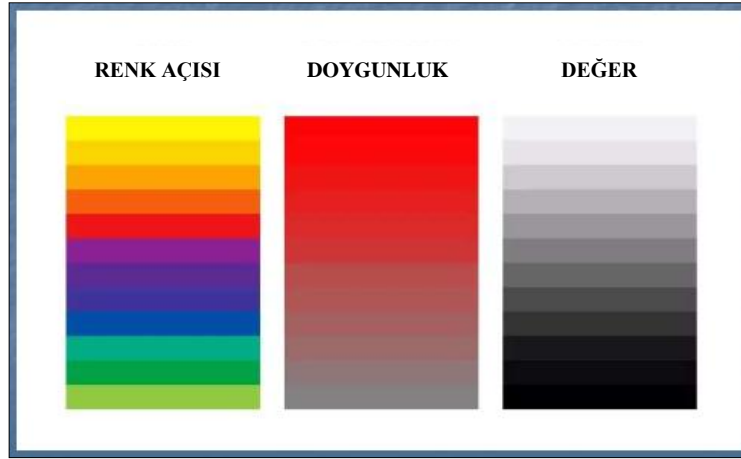
- L^* (Lightness) : rengin açıklık koyuluk koordinatı değerlerini
- a^* : rengin kırmızılık-yeşillik koordinatı değerlerini
- b^* : rengin sarılık-mavilik koordinatı değerlerini
- C^* (Chroma) : rengin doygunluk değerlerini
- h° (hue angle) : renk açısı değerlerini

CIELab uzayındaki renk koordinatlarının yerleri Şekil 3.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.7. CIELab renk uzayı (Becerir, 2017: 36)

Rengin tanımlanabilmesi için kullanılan renk açısı, doygunluk ve değer skalasının görseli Şekil 3.8’de belirtilmiştir.



Şekil 3.8. Renk açısı, doygunluk ve değer (Becerir, 2017:38)

CIELab değerlerine göre renk farkı değeri olan ΔE^* 'nin belirlenebilmesi için kullanılacak formül ise şu şekildedir (Sarıdereli, 2010: 64):

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.1)$$

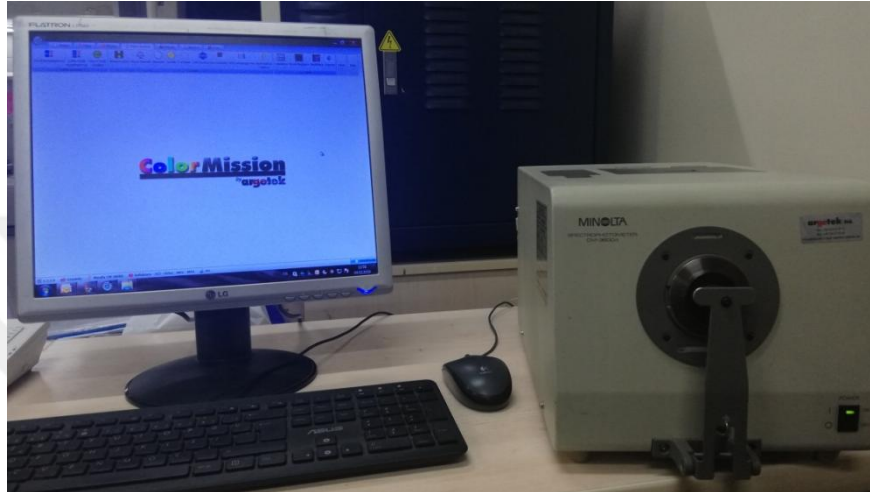
Δ : Numune renk değeri –Standart (İşletme koşullarında boyanmış ürün) renk değeri

Renk farkı değerleri renk kalitesinin nicel olarak değerlendirilmesinde kullanılan tek yöntemdir. Kabul edilebilir bir renk eşleştirme yapabilmek için iki rengin değerlendirilmesi sırasında belli sınır değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerler tolerans değerleri olarak da tanımlanabilmektedir. Bu değerlerin belirlenmesinde uluslararası bir standart bulunmamakla birlikte, üreticinin kalite politikası gerekliliği ve müşteriler ile üreticiler arasında yapılan anlaşmalar bu değerlerin belirlenmesinde yol gösterici olabilmektedir (Kıroğlu, Fettahov ve Kaplan, 2017: 37). Uygulama kapsamında değerlendirilecek renk farkı tolerans değerleri şu şekilde verilebilir;

- ΔE^* : renk farkı : < 1,5
- ΔL^* : açıklık koyuluk toleransı : < 0,5
- Δa^* : kırmızılık-yeşillik toleransı: < 0,3
- Δb^* : sarılık-mavilik toleransı: < 0,3
- ΔC^* : doygunluk toleransı: < 0,3
- Δh^0 : renk açısı toleransı: < 0,3

Verilen tolerans değerleri arasında olan boyama sonuçları renk bakımından geçerli ve kabul edilebilir olarak görülmektedir.

Her bir deney koşulunun iki kez tekrarlanarak uygulanması sonucunda ortaya çıkan 18 adet boyalı havlu kumaşın işletme koşullarında boyanmış havlu kumaşa göre renk değeri farklılıkları Şekil 3.9'da görülen spektrofotometre cihazı ile llerek elde edilmiştir.



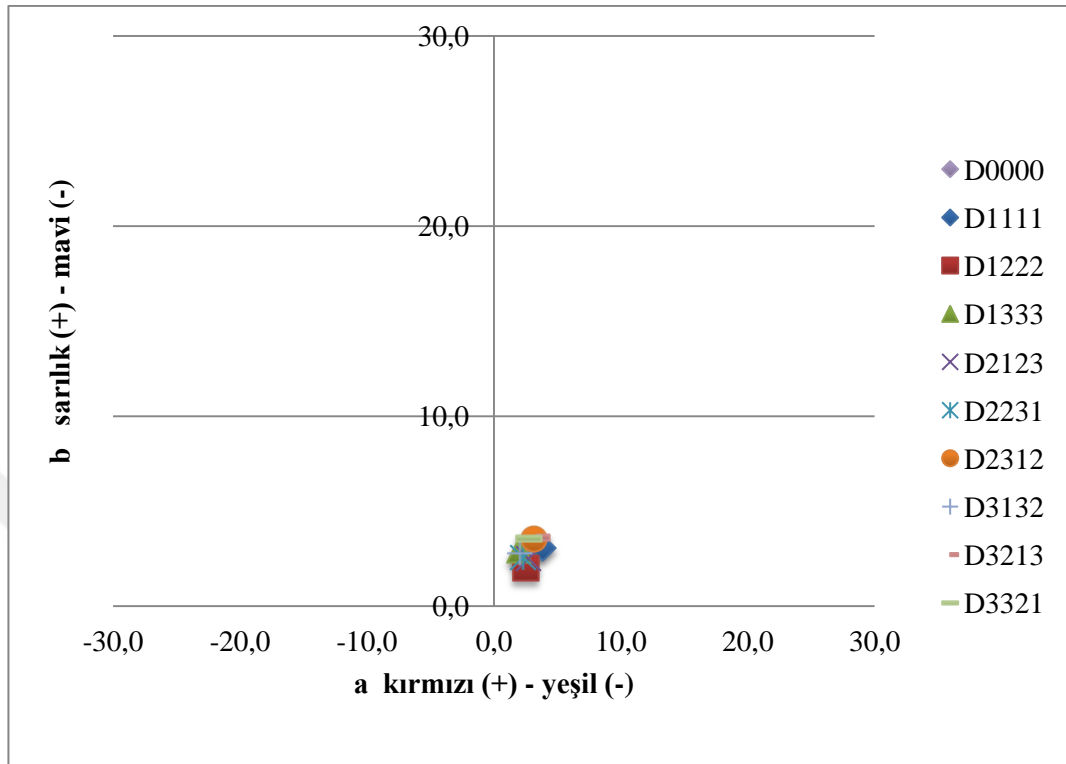
Şekil 3. 9. Spektrofotometre cihazı ile renk değeri farklılıkları lm

Renk değeri farklılığının belirlenebilmesi için öncelikle referans olarak belirlenen havlu kumaşın renk değerleri spektrofotometre cihazında llmştr. Referans olarak 4808 renk numaralı reçete ile işletme koşullarında reaktif boyama yapılmış 500 gr/m² olan %100 pamuklu havlu kumaş alınmıştır. Daha sonra Taguchi yöntemi ile koşulları oluşturulup laboratuvar ortamında uygulanan 18 deney sonucunda elde edilen boyalı havlu kumaşların Spektrofotometre cihazı ile renk değeri farklılıklarının lm CIELab sistemi referans alınarak, ışık kaynağı D65'e göre, 10°'lik gözlem açısıyla yapılmıştır. Boyalı kumaşlar ikiye katlandıktan sonra hav yönleri dikkate alınarak boyalı kumaşın i ve dış yüzeyindeki her iki kısım spektrofotometre cihazındaki göze yerleştirilmesi sonucunda toplamda 4 farklı yerin incelenmesi ile ölüm değerleri elde edilmiştir. Renk değerleri ve renk farkları Tablo 3.4'teki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3. 4. Boyalı havlu kumaşlarının renk değerleri ve renk farklılık ölçüm sonuçları

Deney No		Süre	Tuz/Soda	Kostik	Tur	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i>	<i>dE</i> *	<i>L Farkı (DL)</i>	<i>a Farkı (Da)</i>	<i>b Farkı (Db)</i>	<i>C Farkı (DC)</i>	<i>h Farkı (DH)</i>	
	D0000	İşletme Koşulları				49,972	3,412	3,064	4,585	41,928	-	-	-	-	-	-	-
1	D1111	50	40/6	0	20	49,042	3,929	3,150	5,036	38,719	1,067	-0,930	0,517	0,086	0,450	0,269	
						48,887	3,812	2,941	4,815	37,651	1,163	-1,084	0,400	-0,123	0,229	0,351	
2	D1222	50	45/8	1	35	45,198	2,567	2,153	3,350	39,983	4,932	-4,773	-0,844	-0,911	-1,235	0,133	
						47,006	2,464	1,817	3,062	36,401	3,354	-2,966	-0,947	-1,247	-1,524	0,361	
3	D1333	50	50/10	2	40	47,373	2,035	3,034	3,653	56,145	2,941	-2,599	-1,376	-0,030	-0,932	1,013	
						47,021	1,988	2,829	3,458	54,894	3,284	-2,951	-1,423	-0,235	-1,128	0,899	
4	D2123	60	40/6	1	40	47,616	2,663	2,697	3,790	45,364	2,499	-2,356	-0,748	-0,367	-0,795	0,250	
						47,313	2,852	2,329	3,682	39,235	2,815	-2,659	-0,559	-0,735	-0,903	0,193	
5	D2231	60	45/8	2	20	46,336	2,382	2,790	3,668	49,509	3,789	-3,636	-1,030	-0,274	-0,917	0,542	
						47,997	2,199	2,367	3,231	47,108	2,420	-1,975	-1,212	-0,697	-1,354	0,348	
6	D2312	60	50/10	0	35	47,256	3,063	3,038	4,314	44,766	2,738	-2,716	-0,349	-0,026	-0,271	0,220	
						47,727	3,192	4,045	5,152	51,724	2,459	-2,244	-0,220	0,981	0,567	0,830	
7	D3132	70	40/6	2	35	47,739	2,039	3,024	3,647	56,004	2,621	-2,232	-1,372	-0,040	-0,939	1,002	
						48,621	2,020	2,530	3,238	51,395	2,011	-1,350	-1,391	-0,534	-1,347	0,636	
8	D3213	70	45/8	0	40	48,900	3,384	3,241	4,685	43,760	1,086	-1,071	-0,028	0,177	0,100	0,148	
						49,454	3,430	4,021	5,285	49,540	1,088	-0,517	0,018	0,957	0,700	0,654	
9	D3321	70	50/10	1	20	48,133	2,952	3,467	4,554	49,588	1,938	-1,839	-0,459	0,403	-0,032	0,611	
						46,277	2,553	3,677	4,476	55,230	3,842	-3,694	-0,859	0,613	-0,109	1,050	

Taguchi deney tasarımı yöntemine göre gerçekleştirilen reaktif boyamaların a^*-b^* (sarılık - kırmızılık) değerleri ile oluşturulan grafik Şekil 3.10'da verilmiştir.

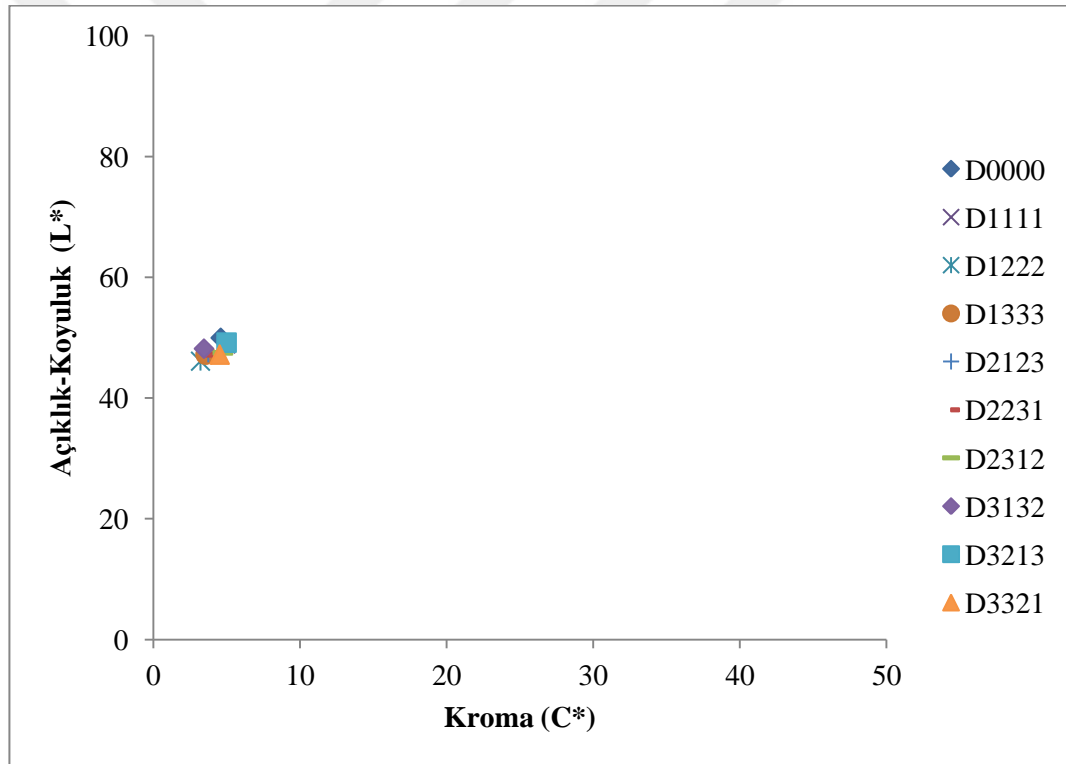


Şekil 3. 10. a^*-b^* grafikleri

Sarılık ve kırmızılık değerlerinin birbirine yakın olduğu ve belirgin bir trende veya farka sahip olmadığı görülmektedir. İşletme koşulunda gerçekleştirilmiş boyamanın kırmızılık ve sarılık değerleri ile Taguchi deney tasarımındaki sonuçlar karşılaştırıldıklarında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. 2 numaralı deneye ait D1222 koşullarına göre 50 dk. boyama süresi, 45/8 g/l tuz/soda oranı, 1 g/l kostik miktarı ve 35 tur sayısı ile gerçekleştirilen reaktif boyama sonucunda elde edilen sarılık ve kırmızılık değerleri incelendiğinde bu değerlerin D0000 olan işletme koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyamaya göre daha yeşil ve daha mavi bir renk sağladığı görülmektedir. 3 numaralı deneye ait D1333 koşullarına göre 50 dk. boyama süresi, 50/10 g/l tuz/soda oranı, 2 g/l kostik miktarı ve 40 tur sayısı ile gerçekleştirilen reaktif boyama sonucundaki sarılık ve kırmızılık değerlerinin D0000 işletme şartına göre daha mavi renk değeri sergilediği görülmektedir. Bunun yanında 1 numaralı deneye ait D1111 şartındaki 50 dk. boyama süresi, 40/6 g/l tuz/soda oranı, 0 g/l kostik miktarı ve 20 tur sayısı ile gerçekleştirilen reaktif boyamanın sarılık ve kırmızılık değeri işletme şartlarına göre sarı bir renk değeri vermektedir. D1333, D1222, D2231, D3132 ve

D2123 koşuluna sahip Taguchi deney tasarımı ile oluşturulmuş reaktif boyamalarının renkleri sarılık ve kırmızılık değerleri bakımından incelendiğinde ise işletme koşulunda gerçekleştirilmiş reaktif boyama değerine göre biraz daha mavi-yeşil renk değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Ancak aradaki farklılık çok büyük değildir. Şekil 3.10 incelendiğinde, D1111, D2312, D3213 ve D3321 koşullarına göre gerçekleştirilmiş reaktif boyamaların sarılık ve kırmızılık değerlerinin işletme koşullarında gerçekleştirilen reaktif boyamaya daha yakın değerlerde çıktığı görülmektedir.

Sarılık ve kırmızılık değerlendirmelerinin yanında renk tonlarındaki yakınlığın görülebilmesi amacıyla açıklık-koyuluk/kroma grafiğinin de incelenmesinde fayda vardır. Bu doğrultuda daha ayrıntılı bir değerlendirme yapabilmek için Şekil 3.11'de verilen L*-C* (açıklık- koyuluk, kroma) grafiği de incelenmiştir.

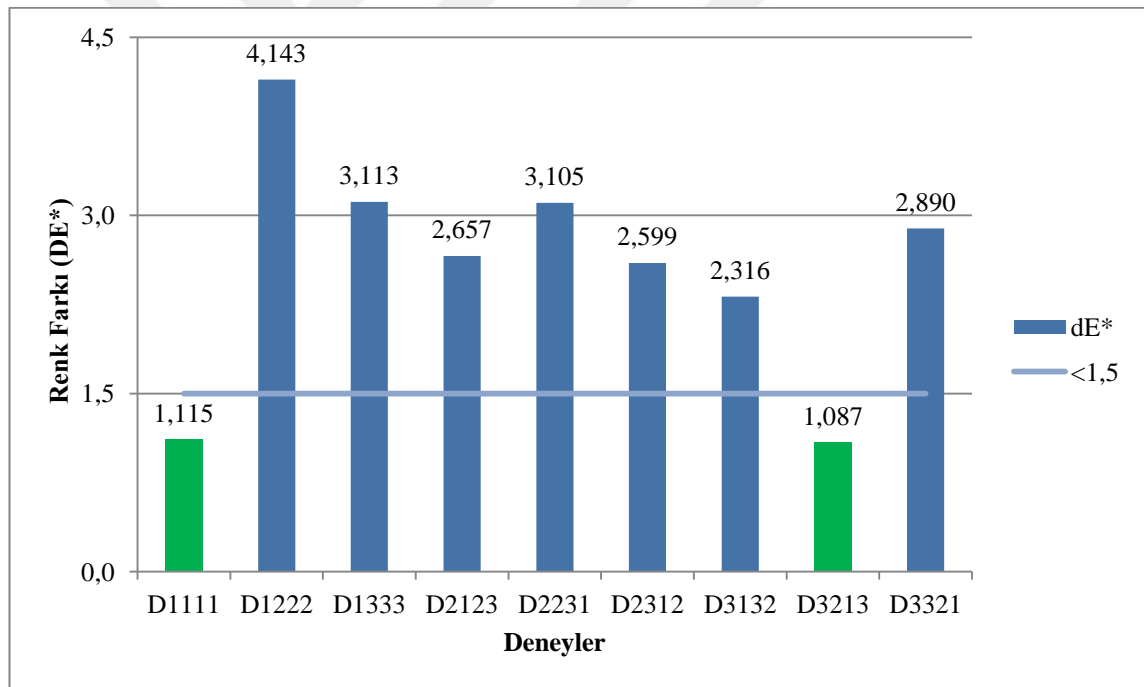


Şekil 3.11. L*-C* grafikleri

L*-C* (açıklık- koyuluk, kroma) grafikleri de incelendiğinde işletmede koşullarında reaktif boyanan havlu kumaşı ve Taguchi deney tasarımı doğrultusunda oluşturulan laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyama denemelerinin arasındaki fark olduğu fakat sarılık-kırmızılık grafiğindeki kadar belirgin olmadığı görülmektedir. Reaktif boyama koşullarından elde edilen L*-C* (açıklık- koyuluk,

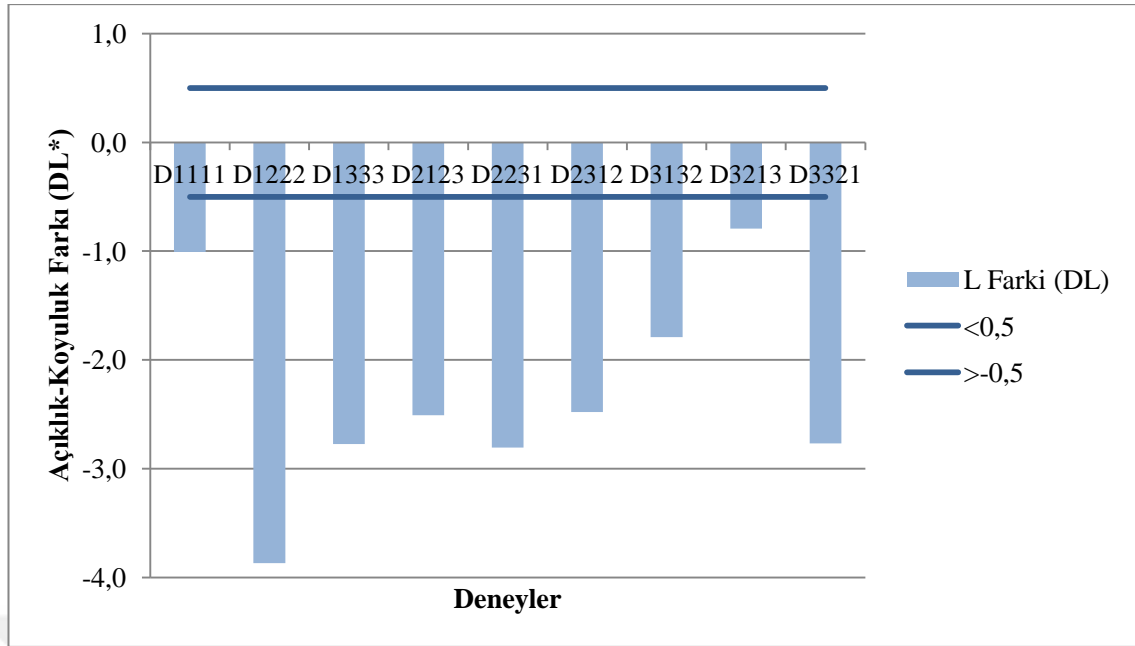
kroma) grafiğindeki değerler incelendiğinde işletme boyaması olan D0000'ın D1111, D3213, D2312, D3321 ile benzer değerleri sergilediği görülmektedir. Şekil 3.11'deki grafiğe göre yine bu değerlerin D1222, D1333, D2123, D2231 ve D3132 koşullarındaki reaktif boyamalarından elde edilmiş değerlerden daha doygun ve biraz daha açık renk değerleri sergilediği görülmektedir. Ancak değerler arasında çok belirgin bir farklılık gözlemlenmemektedir.

Daha etkili bir karar oluşturabilmek amacıyla boyamalara ait renk farkı grafiklerinin de incelenmesinde fayda vardır. Tekstil işletmesinin boyahane biriminde uyguladığı renk farkı tolerans değerlerine göre laboratuvar ortamında Taguchi deney koşullarına göre gerçekleştirilmiş reaktif boyamaların renk değeri sonuçlarının bu tolerans değerleri aralığında olması beklenmektedir. Elde edilen sonuçların kıyaslamaları aşağıda verilmiştir.



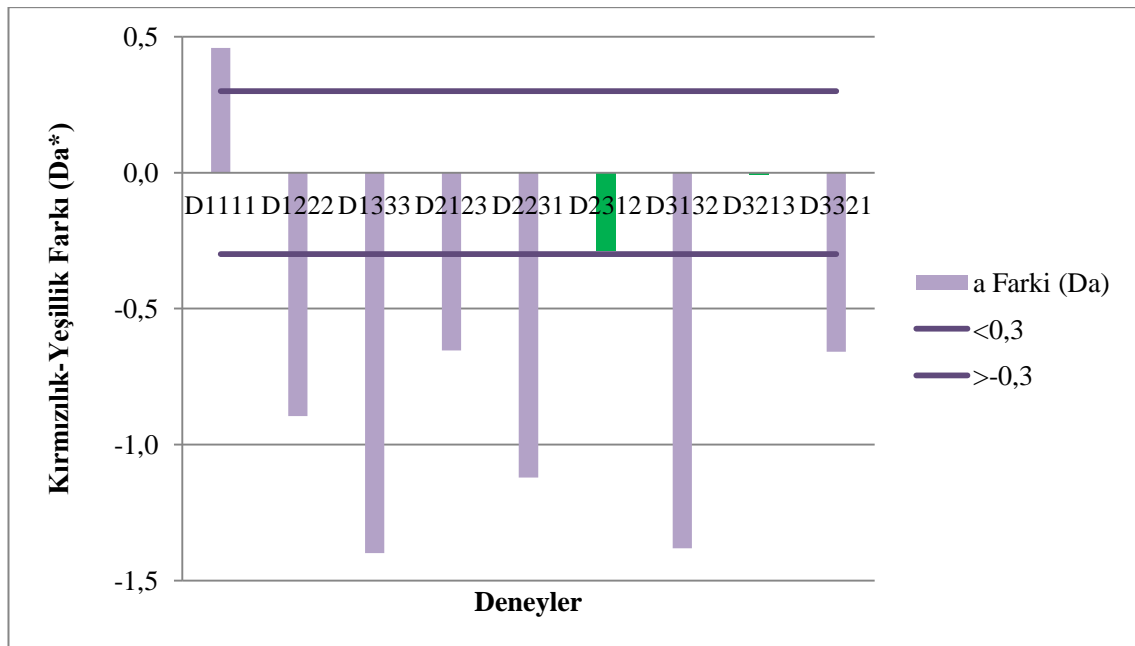
Şekil 3. 12. ΔE^* grafiği

Şekil 3.12'de renk farkını ifade eden ΔE^* grafiğindeki değerler incelendiğinde D1111 ve D3213 koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyamalardaki havlu kumaşların renk değerlerinin 1,5 değerinin altında olduğu görülmüştür. Bu değerler kabul edilebilir değerlerdir.



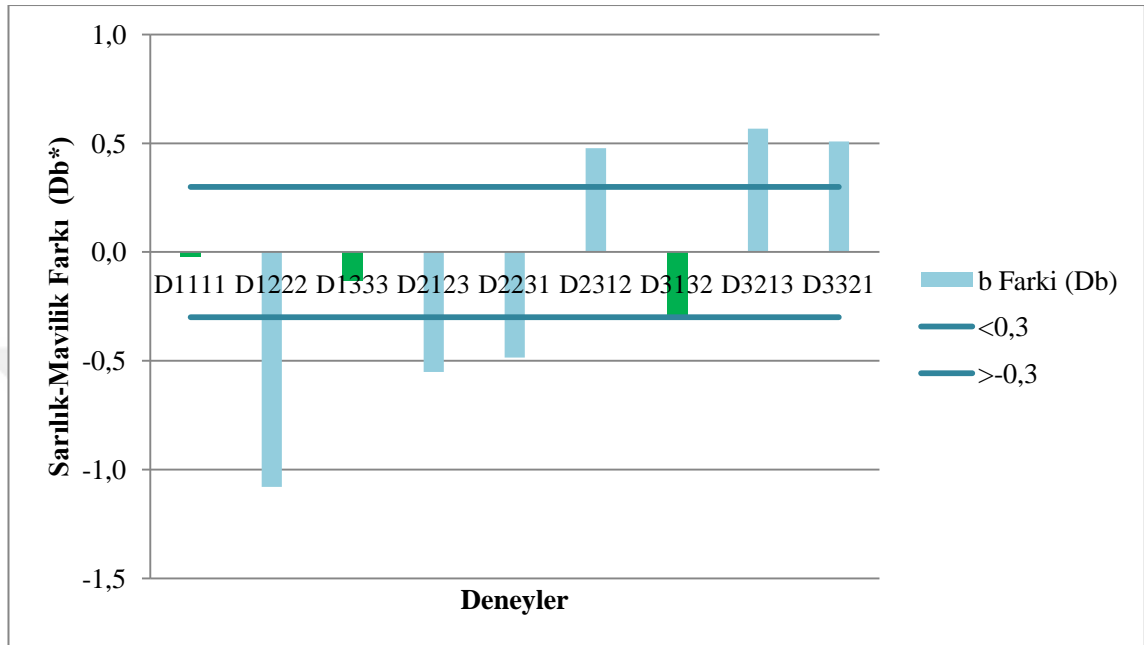
Şekil 3.13. ΔL^* grafiği

Şekil 3.13'te açıklık-koyuluk toleransını ifade eden ΔL^* grafiğindeki değerler incelendiğinde hiçbir koşulun 0,5 değerinin altında olmadığı görülmüştür. Fakat tolerans değerine en yakın sonuçların, D3213 ve D1111 koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyamalardaki havlu kumaşlarının sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14. Δa^* grafiği

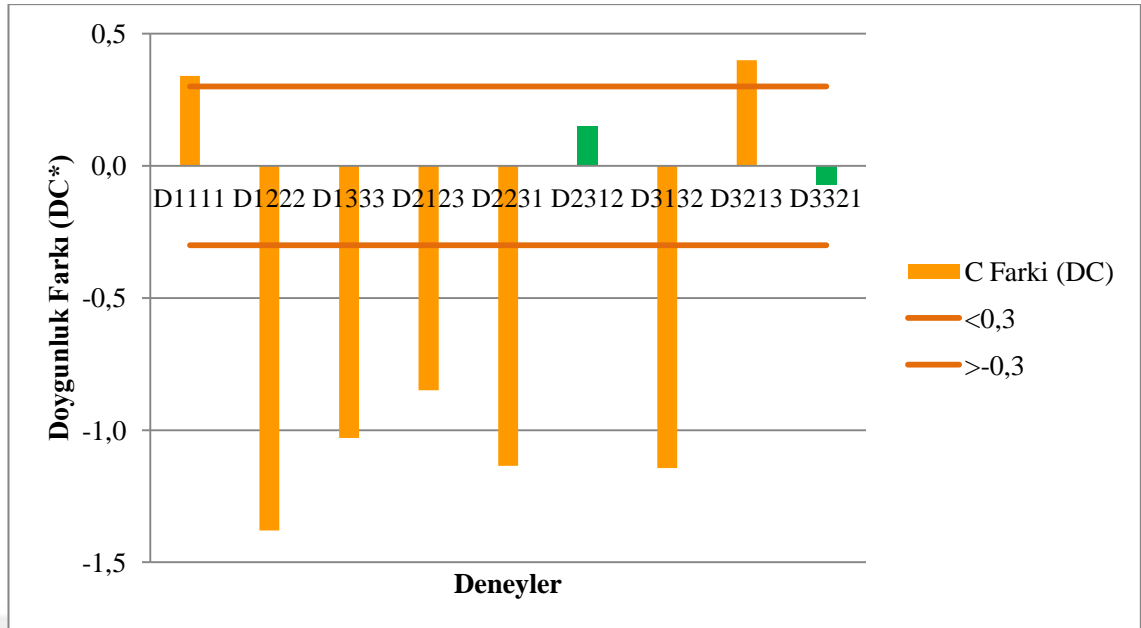
Şekil 3.14'te kırmızılık-yeşillik toleransını ifade eden Δa^* grafiğindeki değerler incelendiğinde D3213 ve D2312 koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyamalardaki havlu kumaşlarının 0,3 değerinin altında olduğu görülmüştür. Tolerans değeri aralığında olduğu için bu iki koşulun çıktısı kabul edilebilirdir.



Şekil 3. 15. Δb^* grafiği

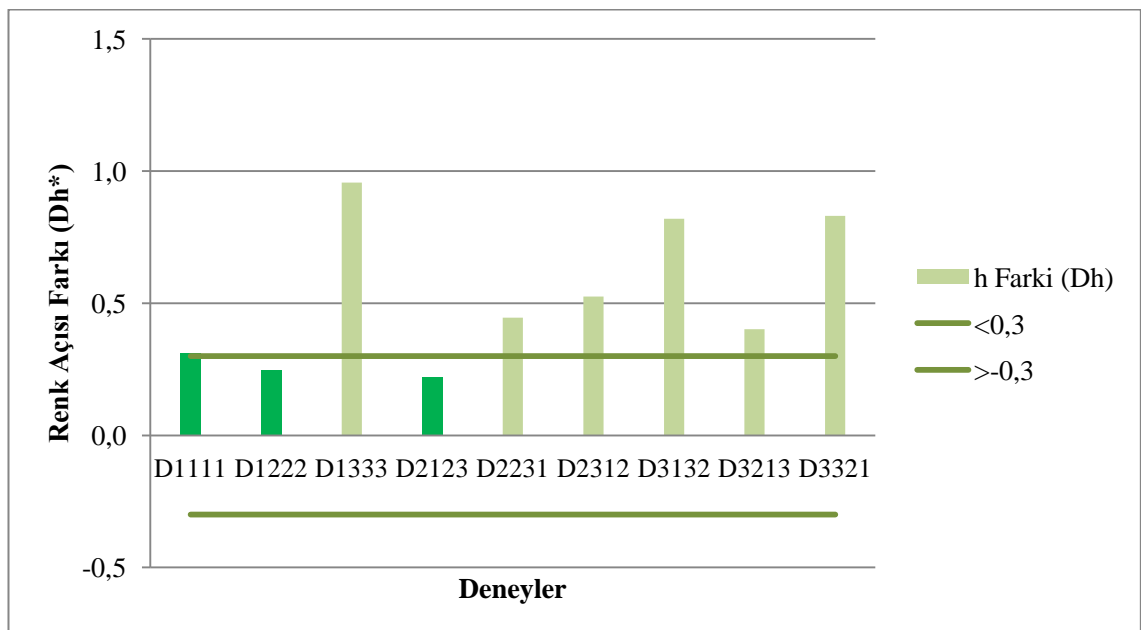
Şekil 3.15'te sarılık-mavilik toleransını ifade eden Δb^* grafiğindeki değerler incelendiğinde D1111, D1333 ve D3132 koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyamalardaki havlu kumaşlarının 0,3 değerinin altında olduğu görülmüştür. Üç koşul renk bakımından tolerans değeri aralığında olduğu için kabul edilebilir olarak ele alınmaktadır.

Şekil 3.16'da doygunluk toleransını ifade eden ΔC^* grafiğindeki değerler incelendiğinde D2312 ve D3321 koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyamalardaki havlu kumaşlarının renk bakımından farkı 0,3 değerinin altında olduğu için kabul edilebilirdir. Ancak D1111 ve D3213 koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyamalardaki havlu kumaşların renk bakımından fark değerlerinin de tolerans değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 16. ΔC^* grafiği

Şekil 3.17’de renk açısı toleransını ifade eden Δh° grafiğindeki değerler incelendiğinde D1111, D1222 ve D2123 koşullarında gerçekleştirilmiş reaktif boyamalardaki havlu kumaşlarının renk bakımından farkı 0,3 değerinin altında olduğu için kabul edilebilirdir. Yine D3213 koşulunda gerçekleştirilmiş reaktif boyamadaki havlu kumaşın renk bakımından farkının tolerans değerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 17. Δh^* grafiği

Rengin sayısal olarak ifade edildiği tüm grafikler birlikte ele alındığında D1111 ve D3213 koşullarında gerçekleştirilen reaktif boyamaların işletme koşulunda boyanmış havlu kumaş rengine daha yakın olduğu görülmektedir.

Renk farklılık değerlerinde müşterinin en fazla önemseydiği renk farkını ifade eden ΔE^* değeridir. Bu nedenle Taguchi yönteminde çıktı olarak ΔE^* değerleri incelenerek optimum koşul belirlenmeye çalışılacaktır. Denemeler sonucunda elde edilen bu değerlerin, işletmenin uyguladığı kalite politikası ve müşteriler ile sağladığı anlaşmalar gereği 1,5'den küçük olması beklenmektedir. Renk farkı değerinin minimum düzeyde gerçekleşmesi ise en iyi durumun sağlandığını göstermektedir.

3.3.4. Taguchi Yöntemine Göre Optimum Koşulun Tespit Edilmesi

Taguchi yöntemi ile oluşturulmuş deney planı doğrultusunda boyanan havlu kumaşlardan elde edilen renk farkı değerleri Taguchi yöntemi analizlerinin gerçekleştirileceği Minitab 17.0 versiyonu istatistiksel paket programına yanıt değişkeni olarak girilmiştir.

Program sayesinde elde edilen ölçüm sonuçlarına istatistiksel analiz yapılmış ve varyans hesaplanmıştır. Ayrıca deneylerin ortalaması ve desibel (db) cinsinden S/G oranları da hesaplanarak, optimum koşulların bulunması için değerlendirme kriterleri olarak kullanılmıştır.

Minitab 17.0 istatistiksel paket programına girilen verilere Taguchi yönteminin uygulanması ile elde edilen sonuçların programdaki çıktıları Tablo 3.5'de, Ek 1 ve Ek 2'de verilmiştir.

Renk farkı çıktısını ifade eden ΔE^* değerleri için Taguchi analizinden elde edilen ortalama ve S/G oranları Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3. 5. Gözlem değerlerinin Minitab çıktıları

Worksheet 2 ***													
↓	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	Boyama Suresi	Tuz/Soda Orani	Kostik Miktarı	Makine Tur Sayısı	1. Boyama Renk Farki	2.Boyama Renk Farki	SNRA1	STDE1	MEAN1	PSNRA1	PMEAN1	PSTDE1	PLSTD1
1	50	40/6	0	20	1,067	1,163	-0,9535	0,06788	1,1150	-0,953538	1,115	0,0678823	-2,68998
2	50	45/8	1	35	4,932	3,354	-12,5010	1,11581	4,1430				
3	50	50/10	2	40	2,941	3,284	-9,8754	0,24254	3,1125				
4	60	40/6	1	40	2,499	2,815	-8,5032	0,22345	2,6570				
5	60	45/8	2	20	3,789	2,420	-10,0460	0,96803	3,1045				
6	60	50/10	0	35	2,738	2,459	-8,3070	0,19728	2,5985				
7	70	40/6	2	35	2,621	2,011	-7,3694	0,43134	2,3160				
8	70	45/8	0	40	1,086	1,088	-0,7246	0,00141	1,0870				
9	70	50/10	1	20	1,938	3,842	-9,6654	1,34633	2,8900				

Tablo 3. 6. Renk farkı çıktısının ortalama ve S/G oranları

Deney		Faktörler ve Seviyeleri				ΔE^* Değeri		Ortalama	Sinyal/ Gürültü
No	Adı	Boyama Süresi (dk)	Tuz/Soda Oranı (g/l)	Kostik Miktarı (g/l)	Tur Sayısı	1.	2.	μ	S/G (db)
1	D1111	50	40/6	0	20	1,067	1,163	1,1150	-0,9535
2	D1222	50	45/8	1	35	4,932	3,354	4,1430	-12,5010
3	D1333	50	50/10	2	40	2,941	3,284	3,1125	-9,8754
4	D2123	60	40/6	1	40	2,499	2,815	2,6570	-8,5032
5	D2231	60	45/8	2	20	3,789	2,420	3,1045	-10,0460
6	D2312	60	50/10	0	35	2,738	2,459	2,5985	-8,3070
7	D3132	70	40/6	2	35	2,621	2,011	2,3160	-7,3694
8	D3213	70	45/8	0	40	1,086	1,088	1,0870	-0,7246
9	D3321	70	50/10	1	20	1,938	3,842	2,8900	-9,6654

Renk farkı çıktısı olan ΔE^* değerlerinin S/G oranına göre yapılan varyans analizinde elde edilen sonuçlar Tablo 3.7'de görüldüğü gibidir.

Tablo 3. 7. Varyans analizi sonuçları

Kaynak	SD	SS _T	SS _M	F	P
Boyama Süresi	2	1,909	0,9543	1,98	0,194
Tuz/Soda Miktarı	2	2,541	1,2703	2,64	0,125
Kostik Miktarı	2	8,706	4,3530	9,04	0,007
Makine Tur	2	1,934	0,9670	2,01	0,190
Residual Error	9	4,333	0,4815		
Total	17	19,422			

Çalışma kapsamında hipotezler şu şekilde tanımlanmıştır:

- H_0 : Faktörlerin renk farkı üzerinde etkisi yoktur $\rightarrow \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$
- H_1 : Faktörlerin renk farkı üzerinde etkisi vardır \rightarrow En az iki $\mu_i \neq \mu_j, i \neq j$

Minitab 17.0 paket programında Tablo 3.7'deki ANOVA tablosu hazırlanarak faktörlerin etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Etkinin kolay yorumlanabilmesi için ANOVA tablosunun hesaplanması aşamasında üretilen ve anlamlılık olarak tanımlanan p değerinin incelenmesi yeterlidir. Buradaki p değeri H_0 hipotezinin reddedilmesi için en küçük anlamlılık seviyesini ifade etmektedir. H_0 hipotezi ise faktörlerin renk farkı üzerinde etkisi yoktur tezini savunmaktadır. Taguchi deney koşullarının uygulanması sonucunda çıktılarımızı oluşturan boyalı kumaşların renk farkı değerlerine %95 güven aralığında uygulanan ANOVA sonucuna göre sadece kostik miktarı faktörünün p değeri 0,05'in altındadır. Buna göre uygulama kapsamında kalite değişkeni olarak tanımlanan renk farkı üzerinde kostik miktarı faktörünün önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir.

Tablo 3.8'de renk farkı çıktısı olan ΔE^* değerlerinin S/G oranları için elde edilen yanıt tablosu verilmiştir. Yanıt tablosunda derecelendirmeyi gösteren Rank satırı incelendiğinde faktörlerin etki sıralamaları büyükten küçüğe doğru kostik miktarı, tuz/soda miktarı, boyama süresi ve makine tur sayısı şeklinde olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 8. ΔE^* değerleri S/G oranı için yanıt tablosu

S/G oranları için yanıt tablosu				
En küçük en iyi				
Seviye	Boyama Süresi	Tuz/Soda Miktarı	Kostik Miktarı	Makine Tur
1	-7,777	-5,609	-3,328	-6,888
2	-8,952	-7,757	-10,223	-9,392
3	-5,920	-9,283	-9,097	-6,368
Değişim	3,032	3,674	6,895	3,025
Sıralama	3	2	1	4

Tablo 3.9'da renk farkı çıktısı olan ΔE^* değerlerinin ortalamaları için elde edilen yanıt tablosu verilmiştir. Ortalamalara göre olan yanıt tablosundaki etki derecesi

sıralaması incelendiğinde ise en etkili girdi faktörünü yine kostik miktarı oluşturmuştur. Sıralamada 2. etkili faktör tuz/soda miktarı, 3. etkili faktör makine tur sayısı ve 4. etkili faktör ise boyama süresidir.

Büyükten küçüğe doğru sıralamaya göre ilk iki faktörün hem ortalamalar için hem de S/N oranı için yanıt tablolarında aynı etki derecesine sahip olduğu görülmektedir.

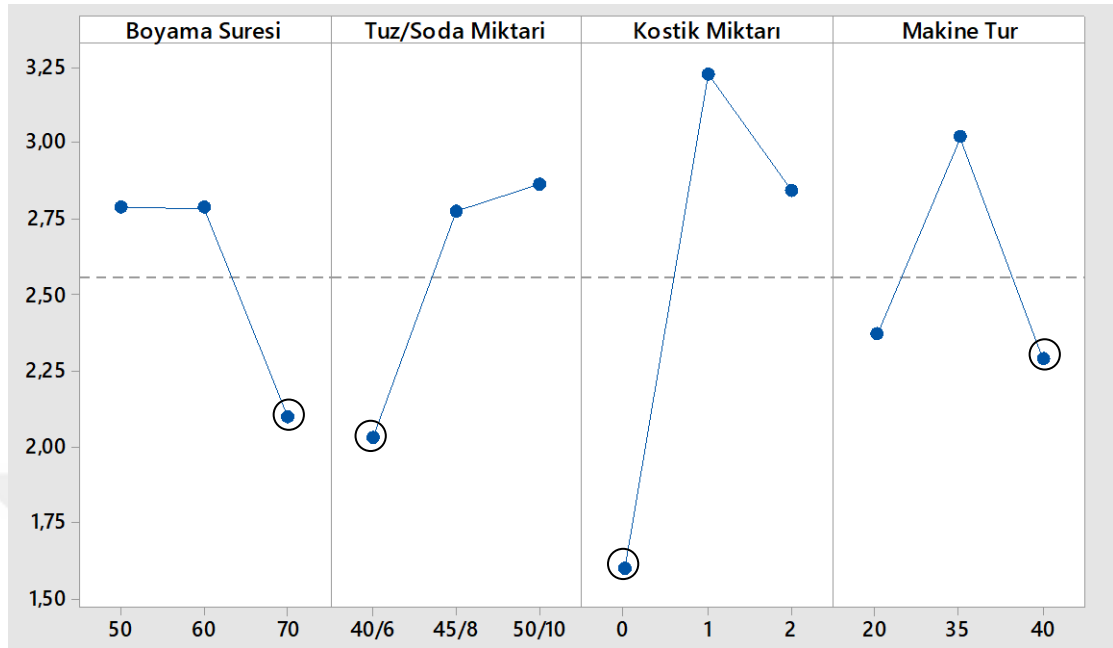
Tablo 3. 9. ΔE^* değerleri ortalamalar için yanıt tablosu

Ortalamalar için yanıt tablosu				
Seviye	Boyama Süresi	Tuz/Soda Miktarı	Kostik Miktarı	Makine Tur
1	2,790	2,029	1,600	2,370
2	2,787	2,778	3,230	3,019
3	2,098	2,867	2,844	2,286
Değişim	0,692	0,838	1,630	0,734
Sıralama	4	2	1	3

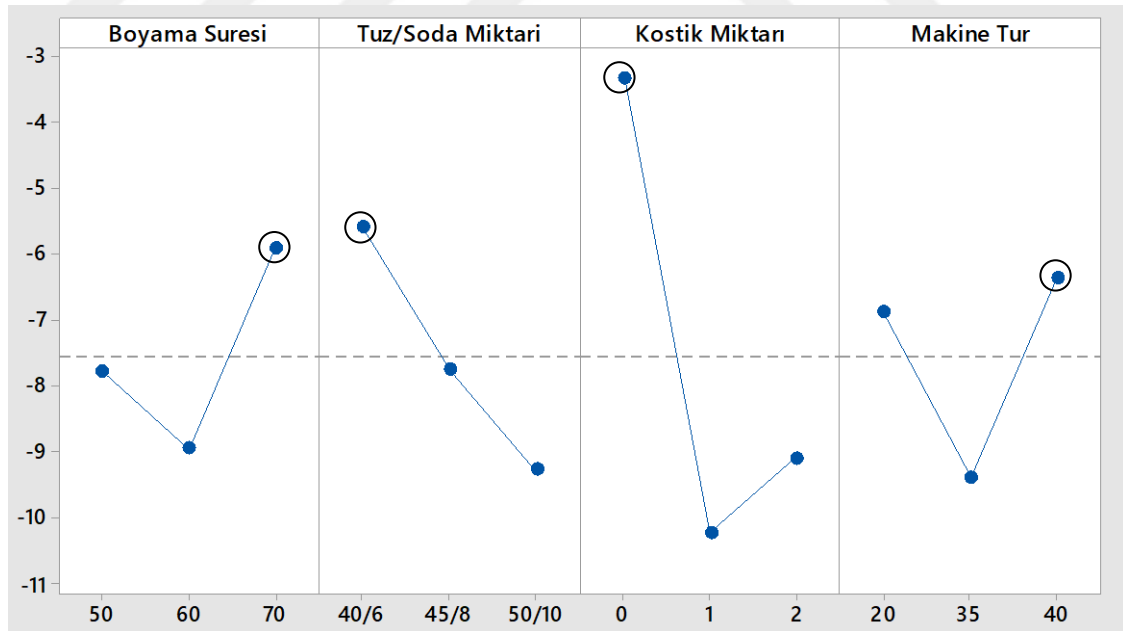
Taguchi yöntemi ile yapılan analiz sonucunda optimum değerler grafikler ile tespit edilebilmektedir. Renk farkı olan ΔE^* değerleri için Minitab 17.0 istatistiksel paket programı tarafından direkt olarak ortalama ve S/G oranı grafikleri elde edilebilmektedir. Buna göre elde edilen Şekil 3.18'deki ortalamalar grafiklerindeki en düşük değeri ve Şekil 3.19'deki S/G oranları grafiklerindeki en yüksek değeri gösteren yanıt değişkenindeki veriye göre faktörlerin optimum seviyeleri belirlenmektedir. Böylece prosesin optimum koşulları da tespit edilmiş olur.

Her iki grafikteki x eksenini etkileyen ilgili faktörlerin seviyelerini göstermektedir. Şekil 3.18'de y eksenini ilgili faktör seviyeleri için hesaplanan ortalama değerleri, Şekil 3.19'da ise db cinsinden S/N oranlarını göstermektedir. S/G oranları grafiği referans alındığında boyama süresi faktöründe 70, tuz/soda miktarı faktöründe 40/6, kostik miktarı faktöründe 0 ve makine tur sayısı faktöründe 40 değerlerinin en yüksek seviyelere karşılık geldiği görülmektedir. Böylece renk farkı değerinin minimize edilmesini sağlayan laboratuvar koşullarındaki reaktif boyamanın optimum

kombinasyonu 70 dk boyama süresi, 40/6 g/l tuz/soda oranı, 0g/l kostik ve 40 makine tur sayısının olduğu durumdur.



Şekil 3. 18. ΔE^* değeri için ortalamalar grafikleri



Şekil 3. 19. ΔE^* değeri için S/G oranları grafikleri

Taguchi deney tasarım yöntemine göre gerçekleştirilen denemeler arasında optimum reaktif boyama koşulundaki kombinasyon bulunmamasına rağmen yöntem sayesinde en iyi deney kombinasyonu önerisinin sunulabilmesi mümkündür.

Taguchi yöntemi ile yapılan optimizasyona göre 4808 renk numaralı reçete ile işletme koşullarında boyanmış havlu kumaşına en yakın renge laboratuvar koşullarında ulaşılabilmesi için tuz/soda miktarı dışındaki etkili olan kontrol edilebilir faktörlerin mevcutta uygulanandan farklı olduğu görülmüştür. Boyama süresinin ve makine tur sayısının laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen reaktif boyamalardaki değerlerden daha yüksek bir değerde olması gerektiği belirlenmiştir. Kostik miktarının ilk seviyeyi oluşturan 0 g/l değerine göre hiç kullanılmaması gerektiği görülmüştür.

Yanıt değişkenini oluşturan renk farkı değerini minimize etmeye yönelik Minitab 17.0 istatistiksel paket programında uygulanan Taguchi deney tasarım yöntemi sonucunda, 4808 renk numaralı reçetenin laboratuvar koşullarında uygulanması sırasında en ideal olan faktörler ve seviyeleri belirlenmiştir. Tahmin edilen faktör seviyelerinin uygulanması sonucunda kalite değişkeni olarak alınan renk değeri farkının en iyi değer olarak belirlenen minimum seviyede gerçekleşmesi beklenmektedir.

3.3.5. Doğrulama Deneyi

Taguchi deney tasarımı yönteminin laboratuvar koşullarında gerçekleştirilecek 4808 renk numaralı reçetenin reaktif boyanması için önerdiği optimum koşul doğrultusunda doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deneyi laboratuvar ortamında ve Taguchi deneylerinde uygulanan işlem akışına göre yapılmıştır. Yine deneyde kullanılan boyama makinesi, hammadde ve malzemeler Taguchi deney kombinasyonlarında kullanılanlar ile aynıdır. Deney sonucunda elde edilen boyalı havlu kumaşının renk farklılık değeri spektrofotometre cihazında ölçülmüştür. Gerçekleştirilen doğrulama deneyinin koşulları Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3. 10. Doğrulama deneyinin proses koşulları

Kontrol Faktörleri	1	2	3	4
	Boyama Süresi		Tuz/Soda Miktarı	Kostik Miktarı
Faktör Seviyeleri	3	1	1	3
	70 dk	40/6 g/l	0 g/l	40

Deney setlerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 70 dk, 40/6 g/l soda/tuz miktarında, 0 g/l kostik miktarında ve 40 tur değerinde optimal sonuç yakalanacağı öngörülmektedir. Bu doğrultuda kontrol deneyi gerçekleştirildiğinde çıkacak sonuç Minitab programı tarafından logaritmik olarak hesaplanan S/G değeri ile tahmin edilmektedir. Uygulamada renk farkının en küçük değeri en iyi sonuç kabul edildiği için $-SG/20$ formülü kullanılarak 1,42389 olarak elde edilen S/G değerinin $10^{-1,42389/20}$ işlemi kullanılarak normal değere dönüştürülmesi ile renk farkı değeri olan $\Delta E^* = 0,8488$ olarak tahmin edilmiştir.

Tahmin edilen çıktı değerinin kontrol edilmesine yönelik optimal koşulun belirlendiği faktörler ve seviyeler doğrultusunda doğrulama deneyi gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen boyalı kumaşın renk farklılık değeri ölçüldüğünde 0,49 çıkmıştır.

Laboratuvar reaktif boyama prosesindeki, mevcut durumun ve Taguchi yöntemi sonucunda elde edilen yeni durumun renk farkı değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11. Laboratuvardaki mevcut durum ve Taguchi yöntemi sonucunun kıyaslanması

	Mevcutta Uygulanan	Taguchi ile Sunulan
Boyama Süresi	50 dk	70 dk
Tuz/Soda Miktarı	40/6 g/l	40/6 g/l
Kostik Miktarı	2 g/l	0 g/l
Makine Tur Sayısı	35	40
Renk Farkı = ΔE^* Değeri	2,228	0,49
İyileşme oranı	-	%78

Tablo 3.11’de, çalışmanın uygulandığı işletmedeki laboratuvar reaktif boyama prosesinin mevcut koşulları ile Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile elde edilen optimum reaktif boyama koşulları ve her iki koşulun uygulanması sonucunda elde edilen renk farkı değerleri karşılaştırılmıştır. Tabloda yer alan renk farkı verileri her iki

deney koşulunun laboratuvarında uygulanması sonucunda elde edilmiştir. İşletmede mevcut durumda uygulanan reaktif boyama prosesi sonucunda numune kumaştaki renk farkı değeri 2,228 olarak bulunurken, Taguchi yöntemi ile belirlenen optimum deney koşulunun uygulanması sonucunda elde edilen numune kumaştaki renk farkı 0,49 olarak bulunmuştur.

Taguchi ortogonal dizinlerinden L_9 'a göre gerçekleştirilen denemelerde en düşük renk farklılık değeri 1,087 olarak ölçülmüştür. Taguchi yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen optimum reaktif boyama prosesi ile en düşük renk farkı değerine ulaşılmıştır. Böylece analiz sonuçları ile doğrulama deneyi sonucunun uyumlu olduğu belirlenmiştir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Taguchi yönteminin uygulama ilkesi gereği ortogonal dizi kullanımı sayesinde gerçekleştirilecek olan deney tasarımındaki deneme sayıları önemli bir miktarda azaltılmıştır. Bu durum daha kısa sürede, daha az kaynak kullanımı ve daha düşük maliyetle ulaşılmak istenen nihai hedefe erişimi kolaylaştırmıştır. Sonucun önceden tahmin edilebiliyor olması ise Taguchi yönteminin en büyük faydasıdır.

Bu tez çalışması kapsamında, deney tasarımı yöntemlerine farklı bir perspektif sunan Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Bir tekstil firmasının boyahane birimindeki laboratuvarında gerçekleştirilen uygulamada, işletme koşullarında ve laboratuvarında 4808 renk numaralı reçetenin boyamaya hazır hale getirilmiş havlu kumaşa uygulanması sonucunda ortaya çıkan renk farklılığının minimize edilmesine yönelik optimum proses koşullarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Uygulama kapsamında problem tanımı yapıldıktan sonra neden-sonuç diyagramlarından biri olan balık kılıcı kullanılarak problemin kök nedenleri ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen balık kılıcı diyagramına göre proseste değişkenlik meydana getiren kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörler tanımlanmıştır. Bu doğrultuda 4808 renk numaralı reçete ile işletme ve laboratuvar koşullarında reaktif boyanan 500 g/m^2 havlu kumaşında meydana gelen renk farkı değerini en fazla etkileyen faktörler boyama süresi, tuz/soda miktarı, kostik miktarı ve makine tur sayısı olarak belirlenmiştir. Belirlenen her bir faktör üç seviyeli olarak incelendiği için $L_9(3^4)$ ortogonal dizini kullanılarak her bir deney kombinasyonun 2 kez tekrarlanması ile toplamda 18 deney yapılmıştır. Faktörler ve seviyelerinin etkilerinin normal durumda incelenmesi için iki tekrarlı tam faktöriyel deney tasarımı ile 2×3^4 kere yani $2 \times 81 = 162$ adet deneyin yapılması gerekmektedir. Taguchi yöntemindeki ortogonal dizi kullanımı ile iki tekrarlı olacak şekilde bu değer $2 \times 9 = 18$ 'e düşürülmüştür. Böylece sürecin uygulaması kolaylaştırılarak daha hızlı, daha az kaynak kullanımı ve daha az maliyetle sonuca ulaşılabilmektedir.

Taguchi $L_9(3^4)$ ortogonal dizinindeki her bir kombinasyon sonucunda elde edilen renk farklılık değerleri doğrultusunda istatistiksel hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Minitab 17 istatistiksel paket programında yapılan ANOVA analizi ile renk farkı değerinin minimize edilebilmesine yönelik önemli etkiye sahip olan faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen hesaplama sonucunda sadece kostik miktarının renk farkını ifade eden ΔE^* değeri üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Renk farkının minimum değerinde gerçekleştirilmesi amacıyla ilgili faktör seviyelerinin optimum değerleri Minitab 17 istatistiksel paket programı kullanılarak Tablo 3.10'da görüldüğü gibi elde edilmiştir. Tahmin edilen reaktif boyama koşulu ile işletme koşullarında 4808 renk numaralı reçete ile boyanmış havlu kumaşa en yakın rengin elde edileceği yani en düşük renk farkı değerinin oluşacağı belirtilmiştir.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen 4808 renk numaralı reçetenin boyamaya hazır hale getirilmiş 500 g/m^2 havlu kumaşıyla işletme koşullarında aynı reçetede boyanacak ürün arasında meydana gelebilecek renk farkı değerinin minimize edilmesini sağlayan optimum proses koşullarının bulunması ve laboratuvar renk çalışmalarındaki kalitenin ve etkinliğin artırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar Tablo 3.11'deki gibi elde edilmiştir. Bu veriler ile, denemenin gerçekleştirildiği firma laboratuvarında reaktif boyama prosesinin mevcutta uygulanan koşulu sonucunda elde edilen renk farkı ve Taguchi deney tasarım yönteminin uygulanması ile belirlenen optimum koşuldaki reaktif boyama denemesi sonucunun renk farkı kıyaslanmıştır.

Yapılan doğrulama deneyi sonucunda ortalama olarak 0,49 değeri elde edilerek tahmin edilen değerden daha düşük bir sonuca ulaşılmıştır. L_9 ortogonal dizinine göre yapılan gözlemlerde en yüksek ortalama kapasite 1,087 olarak ölçülmüştür. Önerilen kombinasyonla bu değere göre %18'lik bir artış sağlanmıştır. Bu durum, doğrulama deneyinin yapılan analiz ile tutarlı olduğunu göstermektedir.

Ulaşılan sonuçlar doğrultusunda, Taguchi yöntemi ile laboratuvar koşullarının mevcut durumunda uygulanan reaktif boyama prosesine göre renk farkı açısından daha iyi bir değer elde edildiği görülmüştür. Çalışma kapsamında hedef olarak belirtilen ve ölçülebilir kalite niteliği olan minimum renk değeri farkının test sonucu Taguchi

yöntemi ile elde edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen bulgular sayesinde laboratuvar reaktif boyama sürecine katkıda bulunulmuştur.

Laboratuvar reaktif boyama prosesindeki renk farkının minimum seviyede gerçekleşeceği optimum koşullar sadece 4808 renk numaralı reçete ve %100 pamuklu 500 g/m² havlu kumaş için yapılmıştır. Bundan sonraki aşamada, aynı yöntemin farklı renk numaralı reçetelere ve farklı tipteki kumaş boyamalarına da uygulanması yapılabilir. Bunun yanı sıra uygulanan Taguchi yöntemi diğer işletmelerde kalite iyileştirme çalışmalarında veya kalite problemlerinin çözümünde kolaylıkla kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Açar, Ö. (2001). *Production of A Sample Automotive Part by Integration of Rapid Prototyping and A Precision Casting Process*, Yüksek Lisans Tezi, Bogaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akgün, M. (2005). “Kalite Maliyetlerinin Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemine Entegrasyonu”, *Muhasebe ve Denetim Bakış Dergisi*, Yıl: 5/15, 31-48.
- Akman, G., Özkan, C. (2011). “Sac İmalatında Karşılaşılan Yapışma Probleminin Deneysel Tasarımı İle Çözümü”, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, Cilt: 12/2, 187-199.
- Alhalabi, K., Sabır, E.C. (2011). “Anti Statik Yağın İplik Kalite Parametrelerine Etkisi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 26/2, 19-32.
- Aytekin, A.G.Ç. (2010). *Kalite Geliştirme Sürecinde En İyi İyileme Problemlerine Deneysel Tasarım Yönteminin Uygulanması*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İzmir.
- Baynal, K. (2003). *Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Bayrak, Z. (1996). *Taguchi Yönteminin Kalite Kontrolüne Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Becerir, B. (2017). *Endüstriyel Renk Fiziği ve Renk Ölçümü Eğitim Notları*, Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi (BUTEKOM).
- Byrne, D. M., Taguchi, S. (1987). “The Taguchi Approach to Parameter Design”, *Quality Progress*, Cilt: 20/12, 19-26.
- Dean, A., Voss, D. (1999). *Design and Analysis of Experiments* Springer, 7-8 Ohio.
- Demir, L. (2004). *İstatistiksel Deneysel Tasarım Yöntemi ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Doğan, Ü. (1991). *Kalite Yönetimi ve Kontrolü*, İstiklal Matbaası, İzmir.

- Durmaz, S. (2008). *Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Dönmez, A., Utku, B. D. (2009). “Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde Kalite Maliyetleri Üzerine Bir Araştırma: Antalya Örneği”, *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, Sayı: 18, 30-50.
- 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*, Cilt: 7/3, 34-42.
- Gencel, İ. (2007). *Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması Ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Gökçe, B., Taşgetiren, S. (2009). “Kalite İçin Deney Tasarımı”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 6/1, 71-83.
- Hamzaçebi, C., Kutay, F. (2001). “Kalite Maliyetlerine Genel Bir Bakış: Taguchi Kayıp Fonksiyonu”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 7/2, 287-293.
- Hossain, I., Altab, H., Choudhury, I. A. (2015). “Dyeing Process Parameters Optimisation and Colour Strength Prediction for Viscose/Lycra Blended Knitted Fabrics Using Taguchi Method”, *The Journal of The Textile Institute*, Cilt: 107/2, 154-164, <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1018669>.
- Ishikawa, K. (1998). *Toplam Kalite Kontrol*, KalDer Yayınları, İstanbul.
- İç, Y. T., Yıldırım, S. (2012). “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak Bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi” , *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 27/2, 447-458.
- Jeyapaul, R., Shahabudeen, P., Krishnaiah, K. (2005). “Quality Management Research By Considering Multi-Response Problems in the Taguchi Method – A Review”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt: 26/11-12, 1331-1337.
- Kıroğlu, M., Fettahov, R., Kaplan, M., (2017). “Reaktif Boyama Sonrası İşletme ve Laboratuvar Yıkama Uygulamalarının Renk Değişimine Etkisinin İncelenmesi”, *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt: 5/1, 35-39.
- Kısaoğlu, Ö. D. (2010). “Orta Büyüklükte Bir Dokuma İşletmesinde İstatistiksel Proses Kontrol Sistemi: I. Kumaş Hatalarının Kontrolü”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 16/3, 291-301.

- Kocabaş, C., Savaş, A. (2018). “Isı Değiştirici Performansının Deney Tasarımı Metoduyla Analizi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 18/3, 1174-1180.
- Koç, T., Demirhan, O. (2007). “Önleme ve Değerlendirme Maliyetleri ile Uygunsuzluk Maliyeti Arasındaki İlişkinin Analizi”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Yıl: 6/11, 87-97.
- Kolarik, W.J. (1995). *Creating Quality, Concepts, Systems, Strategies and Tools*, McGraw-Hill Inc., Singapore.
- Kuo,CF. J., Chang, CD., Su, TL., Fu, CT. (2008). “Optimization of the Dyeing Process and Prediction of Quality Characteristics on Elastic Fiber Blending Fabrics”, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Cilt: 47/7, 678-687.
- Kuo,CF. J., Dong, MY., Lan, WN. (2013). “Applying the Taguchi Method to Examine the Optimal Parameters of Cotton Fabric Dyeing by Biodegradable Surfactant”, *Coloration Technology*, Cilt: 129/4, 279–283.
- Kuo, CF. J., Fang, CC., (2006). “Optimization of the Processing Conditions and Prediction of the Quality for Dyeing Nylon and Lycra Blended Fabrics”, *Fibers and Polymers*, Cilt: 7/4, 344-351.
- Loncher, R.H., Matar, J.E. (1990). *Designing for Quality: An Introduction to the Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design*, Chapman and Hall, USA.
- Milli Eğitim Bakanlığı (2001). *Tekstil Teknolojisi Temel Boyama 542TGD390*, Ankara.
- Montgomery, D. C., (2017). *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons Inc., USA.
- Orhan, M.S., Dursun, A. (2006). “Kalite Maliyetleri Açısından Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerin Değerlendirilmesi”, *Muhasebe ve Denetim Bakış Dergisi*, Yıl: 5/6, 37-52.
- Özbirecikli, M. (2001). “Kalite Maliyetlerinin Muhasebe Sistemindeki Yeri ve Yönetimsel Kararlara Etkileri”, *Muhasebe ve Denetim Bakış Dergisi*, Yıl: 1/4, 81-98.
- Pervez, M. N., Shafiq, F., Sarwar, Z., Jilani, M. M., Cai, Y. (2018). “Multi-Response Optimization of Resin Finishing by Using a Taguchi-Based Grey Relational Analysis”, *Materials*, Cilt: 11/3, 1-19.
- Ross, P.J. (1989). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Ross, P.J. (1995). *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design.*, McGraw Hill, New York.

- Sağol, E. (2015). *İstatistiksel Deney Tasarımının Çayırhan Bölgesi Linyitlerinin Flotasyonunda Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Sarıdereli, A. (2010). *Boyahanelerde Laboratuvar ile İşletme Arasındaki Renk Değişimlerinden Kaynaklanan Hataların Azaltılması*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Sarpkaya, Ç., (2014). *Taguchi Metoduna Dayalı Gri İlişkiler Analizi ile Haşıl Prosesinin Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Savaşkan, M.(2003).*Deney Tasarımı Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Kullanımı ile İnce Sert Seramik Kaplı Matkap Uçlarının Performans Değerlendirilmesi ve Optimizasyonu*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, M. (2004). “Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu”, *İTÜ Dergisi/d*, Cilt: 3/6, 117-128.
- Schonberger, R. J., Knod, E. M. (1991). *Operations Management: Improving Customer Service*, Irwin, Boston.
- Sower., V.E., Quarles, R., Broussard, E. (2007). “ Cost of Quality Usage and Its Relationship to Quality System Maturity”, *The International Journal of Quality and Reliability Management*, Cilt: 24/2, 121-140.
- Şanyılmaz, M. (2006). *Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Şirvancı, M. (1997) *Kalite İçin Deney Tasarımı-Taguchi Yaklaşımı*, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Taguchi, G. (1987). *System of Experimental Design*, UNIPUB/Kraus Internatiol Publications, NewYork.
- Taguchi, G., Chowdhury, S., ve Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, New Jersey: John Willey & Sons Inc, USA.
- Tarakçıoğlu, I. (1984). *Tekstil Terbiye İşletmelerinde Enerji Tüketimi ve Tasarrufu*, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Tavanai, H., Hamadani, A. Z., Askari, M. (2006). “ Modelling Of Colour Yield For Selected Reactive Dyes in Dyeing Cotton Cloth By Two Phase Pad-Steam Method”, *Iranian Polymer Journal*, Cilt: 15/3, 207-217.
- Taylan, D. (2009). *Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Thamizhmanii, S., Saparudin, S., Hasan S. (2007) “Analyses of Surface Roughness by Turning Process Using Taguchi Method”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Cilt: 20/1-2, 503-506.
- Wahyudin, Kharisma, A., Murphiyanto, R.D.J., Perdana, M.K., Kasih, T. P. (2017). “Application of Taguchi Method and ANOVA in The Optimization of Dyeing Process on Cotton Knit Fabric to Reduce Re-Dyeing Process”, *The International Conference on Eco Engineering Development (ICEED), IOP Conference Series Earth and Environmental Science 109*, 1-6.
- WEB_1.
[http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/37802/27032/kal_1\(kalite_ile_ilgili_kavramlar\).pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/37802/27032/kal_1(kalite_ile_ilgili_kavramlar).pdf) (12.05.2019)
- Yang, W. H., Tarng, Y. S. (1998). “Design Optimization of Cutting Parameters for Turning Operations Based on The Taguchi Method”, *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt: 84/1-3, 122-129, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00079-X).
- Yazıcı, D., (2010). *Halı Üretiminde Elyaf Boyama Prosesinin Deneysel Tasarım Metoduyla İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Yumuk, G., İnan, İ.H. (2005). “Trakya Bölgesindeki İmalat Sanayi İşletmelerinde Kalite Maliyetlerinin SWOT Analizi İle Değerlendirilmesi”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt: 2/2, 177-188.
- Yurdakul A., Orzel S., Atav R. (2004). Numune ve Üretim Ölçeklerinde Yapılan Boyamalar Arasındaki Renk Farklılıklarının ve Nedenlerinin İncelenmesi, Araştırma Projesi Proje No: TÜBİTAK-TAM 2003-01.

EKLER

Ek-1

Minitab program çıktısı

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design
 L9(3⁴)
 Factors: 4
 Runs: 9
 Columns of L9(3⁴) Array
 1 2 3 4

Taguchi Analysis: 1.boyama; 2. boyama versus Boyama Sures; Tuz/Soda Mik; Kostik Mikta; ...

Response Table for Signal to Noise Ratios
 Smaller is better

	Boyama Suresi	Tuz/Soda Miktari	Kostik Miktari	Makine Tur
1	-7,777	-5,609	-3,328	-6,888
2	-8,952	-7,757	-10,223	-9,392
3	-5,920	-9,283	-9,097	-6,368
Delta	3,032	3,674	6,895	3,025
Rank	3	2	1	4

Response Table for Means

	Boyama Suresi	Tuz/Soda Miktari	Kostik Miktari	Makine Tur
1	2,790	2,029	1,600	2,370
2	2,787	2,778	3,230	3,019
3	2,098	2,867	2,844	2,286
Delta	0,692	0,838	1,630	0,734
Rank	4	2	1	3

Taguchi Analysis: 1.boyama; 2. boyama versus Boyama Sures; Tuz/Soda Mik; Kostik Mikta; ...

Predicted values

S/N Ratio	Mean	StDev	Ln(StDev)
1,42389	0,338167	-0,452784	-6,07630

Factor levels for predictions

Boyama Suresi	Tuz/Soda Miktari	Kostik Miktari	Makine Tur
70	40/6	0	40

Ek-2
ANOVA tablosu program çıktısı

**General Linear Model: Renk Farkı versus Boyama Sures; Tuz Soda Mik;
 Kostik Mikta; ...**

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Boyama Suresi	Fixed	3	50; 60; 70
Tuz Soda Miktari	Fixed	3	1; 2; 3
Kostik Miktari	Fixed	3	0; 1; 2
Makine Tur Sayisi	Fixed	3	20; 35; 40

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Boyama Suresi	2	1,909	0,9543	1,98	0,194
Tuz Soda Miktari	2	2,541	1,2703	2,64	0,125
Kostik Miktari	2	8,706	4,3530	9,04	0,007
Makine Tur Sayisi	2	1,934	0,9670	2,01	0,190
Error	9	4,333	0,4815		
Total	17	19,422			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,693867	77,69%	57,86%	10,76%

ÖZGEÇMİŞ

KİMLİK BİLGİLERİ

Adı Soyadı : Emel Ercan

Doğum Yeri : Kırcaali / Bulgaristan

Doğum Tarihi :06.09.1988

E-posta :emel.aydin88@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lise :Buca Anadolu Lisesi

Lisans :Pamukkale Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği

Yüksek Lisans : Pamukkale Üniversitesi – Sayısal Yöntemler

Yabancı Dil ve Düzeyi: İngilizce - Upper/ Intermediate

İŞ DENEYİMİ : 2011-2014: Hugo Boss / Grup Lideri

2015-... : Ozanteks Ar-Ge Merkezi / Araştırmacı