

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜRÜN TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ: TAGUCHI  
TASARIMI**

**SEBLA YILDIRIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
2011**



**ÜRÜN TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ: TAGUCHI  
TASARIMI**

**PRODUCT DESIGN IMPROVEMENT: TAGUCHI DESIGN**

**SEBLA YILDIRIM**

Başkent Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
ENDÜSTRİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

2011

“Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 06/ 06 /2011 tarihinde, **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Fatma PAKDİL

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Y. Tansel İÇ

Üye : Doç. Dr. Murat Caner TESTİK

**ONAY**

/ /2011

Prof. Dr. Emin AKATA  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmaların yapılması, bulguların analizi ve kaynak gösteriminde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edilmiştir.

İmza:

Öğrenci Adı Soyadı: Sebla YILDIRIM

## TEŐEKKÜR

Akademik hayata başladığım günden beri fikirleri ile bana ışık tutan, üzerimde sonsuz emeği olan ve bu tez çalışmamın tamamlanmasında katkı sağlayan çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yusuf Tansel İ'e ve Sayın Prof. Dr. Berna DENGİZ'e Őükranlarımı sunarım. Çalışmanın geliştirmesinde yardımlarını esirgemeyen firma yetkilisi Sayın Tuğberk ERTÜRK'e yardımlarından dolayı ayrıca teŐekkür ederim. Son olarak, beni bugünlere getiren ve hep yanımda olan aileme de sonsuz teŐekkürler.

## ÖZ

### ÜRÜN TASARIMI GELİŞTİRMESİ: ÇOK YANITLI TAGUCHI TASARIMI

Sebla YILDIRIM

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Kaliteli ürün üretebilmek, işletmeler için müşteri memnuniyetini sağlamada önemli faktörlerden biridir. Müşterilere yüksek kaliteli ürün sunulmaması, müşterinin güveninin kaybolmasıyla birlikte işletmeye maddi kayıplar da getirmektedir. Bu yüzden, yüksek kaliteli ürün yaratmak üzere daha ürünün geliştirilmesi aşamasında gerçekleştirilen uygulamalar, gün geçtikçe artan rekabet ortamında imalat firmalarının hem yurt içi hem de uluslar arası firmalarla rekabet ederek hayatta kalmasında son derece önemlidir.

Bu çalışmada bir çamaşır makinesi modelinin kalite karakteristiklerine etki eden faktörler ve her bir faktör için seviyeler belirlenmiş, ardından faktörlerin hangi seviyelerinde kalite karakteristiklerini eniyilediği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Taguchi yöntemi ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri olan Gri İlişkisel Analiz (GRA), TOPSIS, MOORA, VIKOR metodları ürün kalite karakteristiklerinin en iyi faktör düzeylerinin belirlenmesinde ayrı ayrı ele alınmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar bir çamaşır makinesi üreticisi firmayla paylaşılmıştır. Üretici firma elde edilen sonuçları önemli bulmuş ve çalışmada geliştirilen ürün geliştirme modelini tasarım prosedürüne dahil etmeye karar vermiştir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Ürün Tasarımı, Ürün Kalitesi, Taguchi yöntemi, Çok Yanıtlı Taguchi yöntemi, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Gri İlişkisel Analiz, TOPSIS, MOORA, VIKOR.

**Danışman:** Yrd.Doç.Dr. Y. Tansel İÇ, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

## **ABSTRACT**

### **PRODUCT DESIGN IMPROVEMENT: MULTI RESPONSE TAGUCHI DESIGN**

Sebla YILDIRIM

Baskent University, Institute of Science

The Department of Industrial Engineering

Producing a high quality product is very important in satisfying customer needs and gaining customer confidence. Not being able to provide customers a high quality product eventually results in decrease of profits for manufacturing companies. Therefore, the approaches that create high quality products in product development phase is extremely important in survival of manufacturing companies in ever increasing competition generated by not only domestic but also international companies.

In this study, first the factors that are important in quality of a washing machine and their levels are determined. Then, these factors and their interactions are analyzed using a quality model developed in the study. Finally the optimal levels of the factors are determined with the solution of the model. In the study, along with the Taguchi method, the Multi Criteria Decision Making (MCDM) methods such as; GRA, TOPSIS, MOORA and VIKOR are also used in the development of the model and its solution. The results of the different approaches are compared and the best combinations are determined.

The results of the study are also shared with a washing machine manufacturer. The manufacturer found the results important and decided to incorporate the developed product development model into its design procedure.

**KEYWORDS:** Product Design, Product Quality, Taguchi method, Multi Response Taguchi method, Multi Criteria Decision Making (MCDM), Grey Relational Analysis, TOPSIS, MOORA, VIKOR.

**Advisor:** Assistant Professor Y. Tansel İÇ, Baskent University, Department of Industrial Engineering.



# İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	Sayfa
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ÜRÜN TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİNDE FİRMA TARAFINDAN UYGULANAN MEVCUT YAKLAŞIM.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Çamaşır Makinesinin Kalitesine Etkiyen Faktörler.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1 Çamaşır makinesi kalite karakteristiklerinin analizi.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1.1 Yıkama performansına etki eden faktörlerin analizi.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1.2 Ses düzeyine etki eden faktörlerin analizi.....</b>	<b>6</b>
<b>3. ÖNERİLEN YENİ YAKLAŞIM.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Kullanılan Yöntemlere İlişkin Açıklamalar.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.1 Deney tasarımı.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.1.1 Taguchi yöntemi.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.2 ÇKKV yöntemleri ile Taguchi tasarımı.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.2.1 ÇKKV yöntemleri.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.2.2 ÇKKV ile bütünleşik Taguchi yöntemi uygulamaları.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2.2.1 GRA metodu.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.2.2.2 TOPSIS metodu.....</b>	<b>25</b>
<b>a- Standart TOPSIS yöntemi.....</b>	<b>26</b>
<b>b- Vektör normalizasyonu ve doğrusal normalizasyonun kullanıldığı TOPSIS yöntemi.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.2.2.3 MOORA metodu.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.2.2.4 VIKOR metodu.....</b>	<b>32</b>

<b>4. ÇAMAŞIR MAKİNESİ ÜRÜN TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ.....</b>	<b>35</b>
4.1 Yıkama Performansının İyileştirilmesi.....	35
4.2 Ses Düzeyinin İyileştirilmesi.....	39
<b>5. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>44</b>
<b>6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>47</b>
KAYNAKLAR LİSTESİ.....	49

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Balık kılçığı diyagramı:ürün kalite karakteristiğine etki eden ses gücü ve yıkama performansı için faktörler.....	4
Şekil 3.1 Bir sistem veya sürecin genel gösterimi.....	9
Şekil 3.2 ÇKKV yöntemleri tabanlı Taguchi yöntemi uygulama prosedürü.....	21
Şekil 4.1 Yıkama performansı ortalama değerleri için ana etkiler grafiği.....	38
Şekil 4.2 Yıkama performansı sinyal gürültü oranı için ana etkiler grafiği.....	39

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1	Yıkama performansına etki eden faktörler ve değerleri.....	5
Çizelge 2.2	Firmanın yıkama performansı analizleri sonucunda elde ettiği bulgular.....	5
Çizelge 2.3	Firmanın ses düzeyi analizleri sonucunda elde ettiği bulgular.....	6
Çizelge 3.1	Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu.....	11
Çizelge 3.2	ÇKKV yöntemleriyle ilgili literatürdeki çalışmalara örnekler.....	19
Çizelge 4.1	Çamaşır makinesi yıkama performansına etkileyen faktörler ve seviyeleri.....	35
Çizelge 4.2	Yıkama performansı L9 Taguchi tasarımı faktör kombinasyonları performans değerleri ve S/N oranları.....	36
Çizelge 4.3	YP'na ait sinyal gürültü oranı için tahmini model katsayıları.....	36
Çizelge 4.4	YP'na ait sinyal gürültü oranı için varyans analizi.....	37
Çizelge 4.5	YP'na ait ortalama için tahmini model katsayıları.....	37
Çizelge 4.6	YP'na ait ortalama için varyans analizi.....	37
Çizelge 4.7	YP'na ait en büyük en iyi sinyal gürültü oranı için yanıt tablosu.....	38
Çizelge 4.8	YP'na ait en büyük en iyi ortalama için yanıt tablosu.....	38
Çizelge 4.9	Çamaşır makinesinin ses düzeyi faktörler ve seviyeleri.....	40
Çizelge 4.10	Ses düzeyi L8 Taguchi tasarımı faktör kombinasyonları, ortalama performans değerleri ve S/N oranları.....	41
Çizelge 4.11	ÇKKV yöntemleri uygulanarak iki yanıtlı problemin tek yanıtlı probleme dönüştürülmesi.....	41
Çizelge 4.12	ÇKKV yöntem uygulamaları sonucunda elde edilen en iyi faktör seviyeleri.....	42
Çizelge 4.13	Ses düzeyi için ÇKKV-Taguchi yöntemi uygulamaları sonuçları.....	43
Çizelge 5.1	Yıkama performansı için Taguchi yöntemi uygulama sonuçları ve elde edilen iyileşme düzeyi .....	44
Çizelge 5.2	Ses düzeyi için ÇKKV yöntemleri ile Taguchi metodu uygulaması sonuçları.....	45
Çizelge 5.3	Ses düzeyi için ÇKKV yöntemleri ile Taguchi tasarımı uygulaması ile elde edilen iyileşme miktarları.....	45
Çizelge 5.4	Farklı yanıt ağırlıkları ile uygulanan duyarlılık analizi sonuçları.....	46

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$X_p$	Kontrol edilebilir faktörler
$Z_q$	Kontrol edilemeyen faktörler
S	Seviye sayısı
P	Parametre sayısı
SN	Sinyal gürültü oranı
$Y_i$	i. Deneme sonucu
S	Standart sapma
$K_j$	$j=1,2,\dots,n$ 'e kadar kriter sayısı
$A_i$	$i=1,2,\dots,m$ 'e kadar alternatif sayısı
$X_0$	Referans serisi
$X_i(k)$	i. Normalizasyon degeri
$X_i$	Referans serisiyle karşılaştırılan seri
$\varepsilon$	Gri ilişkisel katsayı
$\xi$	Belirtici katsayı
$\gamma$	Gri ilişkisel derece
$\Delta_{\min}$	En küçük referans serisi farkı
$\Delta_{\max}$	En büyük referans serisi farkı
$A_{ij}$	i.alternatifin j.faktörünün karar matrisi
$a_{ij}$	i.alternatifin j.faktör elemanı
$a^*_j$	j.yanıtın en iyi değeri
$R_{ij}$	i.alternatifin j.faktörünün standart karar matrisi
$r_{ij}$	i.alternatifin j.faktörü elemanı
$w_{ij}$	i.alternatifin j.faktör ağırlık değeri
$A^*$	İdeal çözüm
$A^-$	Negatif ideal çözüm
$S^*$	İdeal ayırım
$S^-$	Negatif ideal ayırım
$C_i^*$	i.alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı
$X_{ij}$	i.alternatifin j.faktörünün normalize edilmiş değeri
$L_{pj}$	Toplama fonksiyonu
$F_c$	Uzlaşık çözüm

$F^*$	İdeal çözüm
$f_i^*$	i.alternatifin en iyi değeri
$f_i^-$	i.alternatifin en kötü değeri
$S_j$	$j=1, \dots, J$ J tane alternatif iken j.alternatifin ortalama skoru
$R_j$	j.alternatif için en kötü grup skor
$Q_j$	j.alternatif için kriter çoğunluk değer
$v$	Kriter çoğunluk ağırlığı
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
MCDM	Multi Criteria Decision Making
KK	Kalite Karakteristikleri
GRA	Grey Relational Analysis
GİA	Gri İlişkisel Analiz
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
MOORA	Multi-objective Optimization on the basis of Ratio Analysis
VIKOR	Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
DT	Deney Tasarımı
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
YP	Yıkama Performansı
SD	Ses Düzeyi
Y1	Birinci Yanıt
Y2	İkinci Yanıt

## 1. GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi ortamında doğru ve etkin kararlar alabilen işletmeler rakiplerine üstünlük sağlayabilmektedir. İşletme için yerinde ve doğru kararların alınabilmesi, bilgilerin etkili ve zamanında değerlendirilmesi ile mümkündür. Birçok durumda karar verme süreci hem nitel hem de nicel ölçütleri bir arada değerlendirmeyi gerektirir. Bu nedenle endüstride pek çok süreçte etkin karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir ürünün kalitesini iyileştirmek için, ürün kalitesine etkiyen faktörlerin uygun seviyelerini belirlemek firmalar için önemli problemlerden biridir. Çünkü uygun faktör seviyeleri belirlenirken, karar verici birçok veriyi analiz etmek ve birçok faktör düzeyini dikkate almak zorundadır. Bu faktörler özellikle birden fazla başarımla ölçütünü etkilediğinde durum daha da karmaşık bir hale gelebilmektedir. Bu durumda problemin çözümüne yönelik olarak uygun bilimsel yaklaşımlar geliştirmek ve uygulamak karar vericiye önemli kolaylıklar sağlayabilmektedir.

Bu tezde sanayide üretilmekte olan bir çamaşır makinesi modelinin kalitesini etkileyen iki adet kalite karakteristiğinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu karakteristiklere etki eden faktörlerin farklı seviyeleriyle yapılan deney sonuçları doğrultusunda, faktörlerin hangi seviyelerinde ürün kalitesi açısından en iyi sonuçlara ulaşıldığı, Taguchi yöntemi ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir. Uygulamada ÇKKV yöntemlerinden olan GRA, TOPSIS, MOORA ve VIKOR yöntemleri iki adet başarımla ölçütüne sahip olan çamaşır makinesinin “ses düzeyi” kalite karakteristiğinin eniyilenmesinde Taguchi yöntemi ile birlikte uygulanmış ve farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yöntemlerin sonuçlar üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Tezin *İkinci bölümünde* çalışmanın gerçekleştiği firmadan ve ürün kalitesinin geliştirmesine yönelik olarak yapılan faaliyetlerinden bahsedilmiştir. *Üçüncü bölümde* deney tasarımı ve çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerine değinilmiştir. Taguchi yöntemi ile GRA, TOPSIS, MOORA ve VIKOR yöntemleri ayrıntılı bir şekilde açıklanarak bu yöntemlere ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir.

*Dördüncü bölümde* çamaşır makinesinin kalitesini iyileştirmek üzere “yıkama performansı” ve “ses düzeyi” karakteristikleri üzerinde gerçekleştirilen analizler ve ulaşılan sonuçlar yer almaktadır. *Beşinci bölümde* elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. *Altıncı bölümdeki* sonuç ve öneriler kısmında ise, çalışma sonunda elde edilen sonuçlar tartışılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir. Tez içeriğinde verilerinin analizinde ve gerekli grafiklerin çizilmesinde MINITAB 15 paket programı kullanılmıştır.



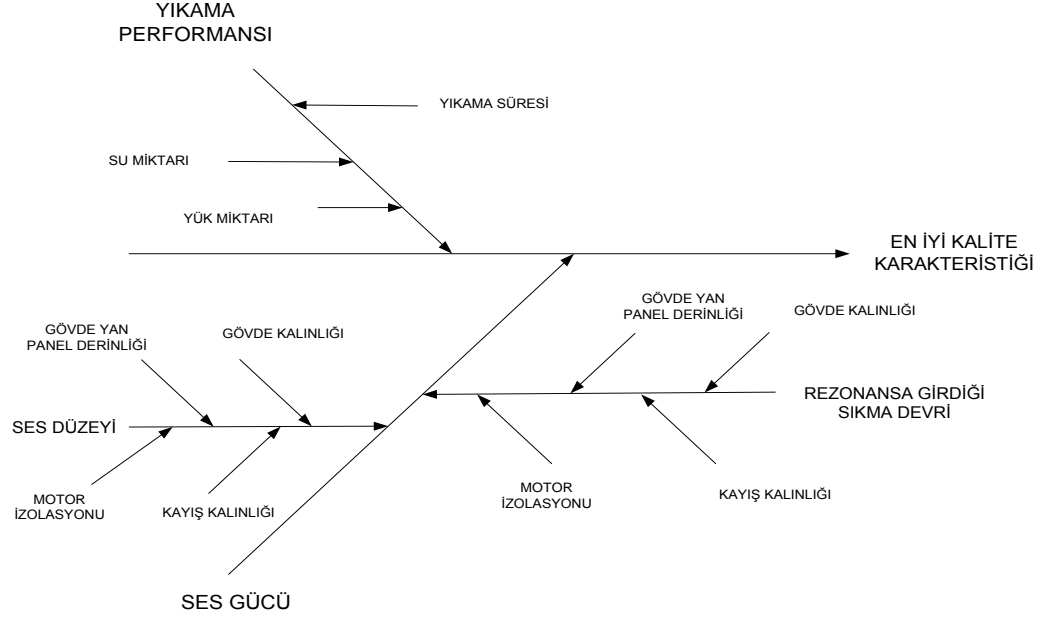
## 2. ÜRÜN TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİNDE FİRMA TARAFINDAN UYGULANAN MEVCUT YAKLAŞIM

### 2.1 Çamaşır Makinesinin Kalitesine Etkiyen Faktörler

Dayanıklı tüketim malları sektöründe üretim, pazarlama ve satış sonrası destek hizmetleri ile faaliyet gösteren firma 1955 yılında kurulmuştur. Firma 17.000 çalışanı, dört ülkede 11 ayrı üretim tesisi, dünyanın birçok noktasında satış ve pazarlama şirketleri ve kendisine ait 10 markasıyla 100'den fazla ülkede ürün ve hizmet sunmaktadır. Firmanın İstanbul'da faaliyet göstermekte olan çamaşır makinesi işletmesinde üretilmekte olan; 5 kg yük kapasiteli, çamaşır miktarına göre su kullanımını ayarlayan, su kontrol sistemli, enerji ve yıkama performansı A, sıkma performansı E, elektrik tüketimi 0.95 (kWh/24 saat), su tüketimi ise 49 lt olan çamaşır makinesi modelinin kalitesini geliştirmeye yönelik olarak bazı uygulama ve analizler yapılmaktadır. Firma, çamaşır makinesinin temel kalite özelliklerini oluşturan 2 tane karakteristik belirlemiştir. Bunlar "yıkama performansı" ve "ses düzeyi" dir.

Firmada; beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç (balık kılıcı) diyagramı (Şekil 2.1) gibi yöntem ve teknikler kullanılarak, ilgilenilen kalite özelliklerine etkisi olan faktör ve/veya etkileşimleri tespit bulunmaktadır.

Buna göre, yıkama performansına etki eden faktörler; su miktarı, yük miktarı ve yıkama süresi iken, ses düzeyine etki eden faktörler; gövde yan panel derinliği, gövde kalınlığı, motor izolasyonu ve kayış kalınlığı olarak belirlenmiş durumdadır.



Şekil 2.1 Balık kılıcı diyagramı: ürün kalite karakteristiğine etki eden ses düzeyi ve yıkama performansı için faktörler

### 2.1.1 Çamaşır makinesi kalite karakteristiklerinin analizi

Bu bölümde firma tarafından gerçekleştirilen ürün kalitesinin iyileştirme çalışmalarına yer verilmektedir. Çamaşır makinesinin kalite karakteristiklerine (yıkama performansı ve ses düzeyi) etkiyen her bir faktör için ayrı ayrı değerlendirmeler gerçekleştirilmektedir. Her bir faktör için faktörlerin farklı seviyeleriyle deneyler yapılarak karakteristiğe ait performans verileri elde edilmekte ve ardından deney sonuçlarına göre yorumlar yapılarak her bir faktörün karakteristik üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmaların detayları aşağıda sunulmaktadır.

#### 2.1.1.1 Yıkama performansına etki eden faktörlerin analizi

Yıkama performansına etki eden su miktarı, yük miktarı ve yıkama süresi olarak belirlenen faktörlerin farklı seviyeleri ile deneyler yapılarak her bir faktörün hangi seviyesinde en iyi yıkama performansının elde edildiği tespit edilmeye

çalışılmaktadır. Deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerleri Çizelge 2.1’de yer almaktadır. Bu sonuçlara göre firma tarafından yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen bulgular ise Çizelge 2.2’de sunulmuştur.

Çizelge 2.1 Yıkma performansına etki eden faktörler ve değerleri

SU MİKTARI (lt)	YIKAMA PERF. İNDEKSİ	YÜK MİKTARI (kg)	YIKAMA PERF. İNDEKSİ	YIKAMA SÜRESİ (dk)	YIKAMA PERF. İNDEKSİ
13	1.020	5.0	1.070	100	1.000
14	1.030	5.5	1.069	110	1.019
15	1.040	6.0	1.067	120	1.029
16	1.045	7.0	1.062	130	1.033
17	1.038	7.5	1.047	140	1.038
18	1.027	8.0	1.020	150	1.040
19	1.010				

Çizelge 2.2 Firmanın yıkma performansı analizleri sonucunda elde ettiği bulgular

Faktör	Değerlendirme
SU MİKTARI	Suyun çamaşırlara yeterli miktarda teneffüs edememesinden dolayı su miktarının nominal değerden az olması yıkama performans indeksini olumsuz etkilemektedir. Nominalin üzerinde miktarlarda su kullanılması durumunda, deterjan derişikliği azalmakta ve lekelerle yetersiz kimyasal teması nedeniyle yıkama performans indeksi düşmektedir.
YÜK MİKTARI	Yük miktarının minimum seviyelerde olması performans indeksini yüksek seviyede tutabilmektedir. Ancak yük miktarı arttıkça performans indeksi azalacaktır.
YIKAMA SÜRESİ	İlk basamakta, yıkama performansında hızlı bir iyileşme sağlansa da, zamanla temiz su takviyesi olmadığı sürece etkisini yitirecek ve yıkama performansına en az seviyede artış getirecektir.

### **2.1.1.2 Ses düzeyine etki eden faktörlerin analizi**

Yapılan analizler, gövde yan panel derinliği, gövde kalınlığı, motor izolasyonu ve kayış kalınlığı faktörlerinin, makinenin ses gücü (dBA) ile rezonansa girdiği sıkma devri (d/d) olarak tanımlanan iki tane performans yanıtı üzerine etkileri incelenerek gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda firma tarafından ulaşılan sonuçlara Çizelge 2.3'de yer verilmektedir.

Çizelge 2.3 Firmanın ses düzeyi analizleri sonucunda elde ettiği bulgular

<b>Faktör</b>	<b>Değerlendirme</b>
GÖVDE YAN PANEL DERİNLİĞİ	Gövde yan panel şekli ve derinliği titreşim sönümlendirici etkisi ile gövdenin doğal frekansını arttırmakta ve çamaşır makinesinin rezonansa girdiği sıkma devrini artırmaktadır.
GÖVDE KALINLIĞI	Gövde kalınlığı 0,7 -0,9 mm olan iki farklı ürünle yapılan testlerle titreşim frekansları ve makinenin rezonansa girdiği sıkma devirleri incelenmiştir. Yan panel formunun derinliğinin artırılması sonucunda rezonansa girilen sıkma devrinde farklılık gözlemlenmiştir.
MOTOR İZOLASYONU	İki farklı izolasyon malzemesine sahip motorlarla yapılan ölçümlerde farklı sonuçlar elde edilmektedir. Buna göre yapılan analizlerde A tipi izolasyon malzemesine sahip motorunun ses gücünün daha düşük olduğu belirlenmiştir.
KAYIŞ KALINLIĞI	Motor, kasnak ve tahrik grubu eksenin en uygun olarak belirlenen kalınlık değerine olabildiğince yakın üretilmiş kayışlarla ses problemi düşük seviyelerde tutulabilmektedir. Kayış kalınlığının dar tolerans aralıklarında tutulması zor olduğundan ve geniş tolerans aralıklarında da üst toleransa sapmalarının istenmeyen bir durum olmasından dolayı kayış kalınlığının nominal değerlerde tutulması gerektiği belirlenmiştir.

Yukarıda anlatılan ve firma tarafından gerçekleştirilen analizlerde görüldüğü gibi, ürün kalitesinin geliştirilmesi için her bir faktörün ürün kalitesine etkisi tekil olarak incelenmekte, faktör etkileşimlerinin sonuçlara etkisi ihmal edilmektedir. Firma tarafından uygulanan mevcut analizler yerine bir deney tasarımı yaklaşımı ile faktörlerin kalite karakteristiklerine etkilerinin analiz edilmesi daha bilimsel ve doğru sonuçlara ulaşmayı sağlayabilecektir. Yukarıda belirtilen problemin çözümünde (ürün kalitesinin/tasarımının geliştirilmesinde) Taguchi yöntemi uygun bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Çamaşır makinesinin hem yıkama

performansı hem de ses gücünün iyileştirilmesine yönelik olarak firmaya Taguchi yönteminin kullanılması önerilmiştir. Bu doğrultuda tek performans yanıtına sahip yıkama performansının iyileştirilmesinde Taguchi yönteminin, iki adet performans yanıtına sahip ses düzeyi içinse Taguchi yöntemi ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin birlikte kullanılması benimsenmiştir. Bu sayede ses gücüne ait iki adet performans yanıtı ÇKKV yöntemleri kullanılarak tek yanıtla dönüştürülerek Taguchi yöntemi uygulanabilecektir. Ses düzeyinin en küçüklendiği, yıkama performansının en büyüklendiği en iyi süreç şartlarının belirlenebilmesi için, kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırılması beklenmektedir. Bu çerçevede tez kapsamında geliştirilen çözüm yaklaşımının, karar verme sürecini kolaylaştırması amaçlanmıştır.

### **3. ÖNERİLEN YENİ YAKLAŞIM**

#### **3.1 Kullanılan Yöntemlere İlişkin Açıklamalar**

##### **3.1.1 Deney tasarımı**

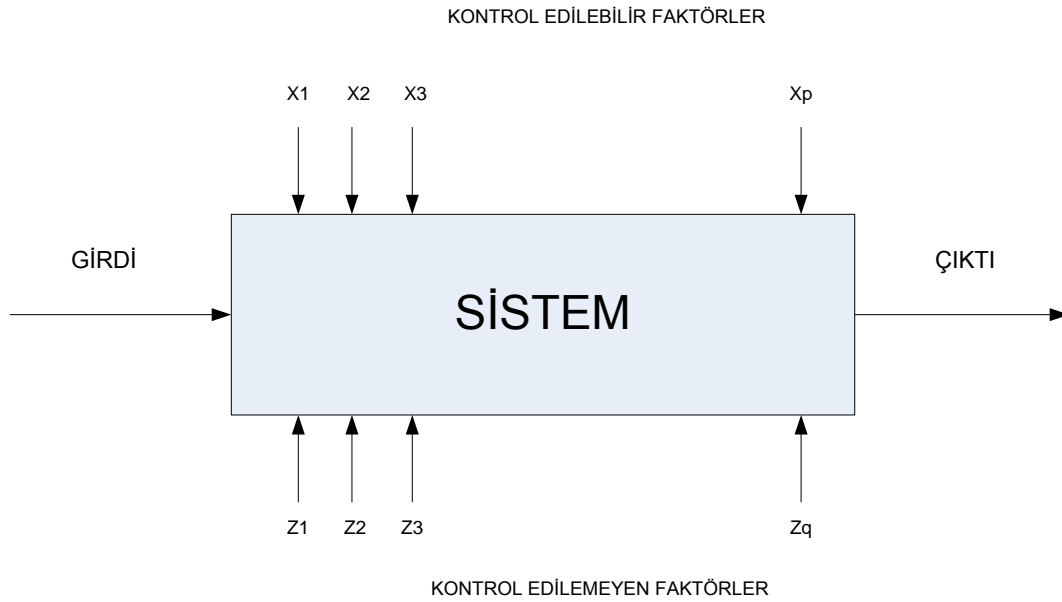
Deney tasarımı 1920'lerde İngiliz istatistikçi "Sir Ronald Fisher" tarafından tarım alanında üretim verimini arttırmak amacıyla araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Yöntem özellikle tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama yüzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır[1].

Herhangi bir ürün veya süreç tasarımında karşılaşılan problemlerde en iyi sonuçların elde edilebileceği şartları sağlayabilmek için performans özelliği belirlenerek bu özelliği etkileyen faktörler incelenmektedir. Bu faktörlerin performans çıktısı üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve en uygun kombinasyonunun bulunabilmesi için kontrol edilemeyen faktörler ile deneyler yapılır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen performans göstergesi değerlendirilerek en uygun şartlar tespit edilmektedir. Bu yaklaşım ile deneyler sisteme sorulan soru, deney sonuçları da sistemin verdiği cevap olarak algılanabilir. Kritik olan nokta ise, doğru cevabı alabilmek için doğru sorunun sorulmasıdır [2].

Deney Tasarımı (DT); deney, düzen ve çözümlenme olarak üç aşamaya ayrılmaktadır. Genel olarak DT'nin adımları kısaca aşağıda verilmektedir:

1. Etkileri arasındaki gerçek farkların araştırılması istenen faktörler ve seviyelerinin belirlenmesi.
2. Deneyde her faktör için kaç tekrar yapılacağına karar verilmesi.
3. Veri analizinde kullanılacak tekniklerin belirlenmesi.
4. Belirlenen deney tasarımıyla elde edilen deneysel veri sonuçlarının yorumlanması.

DT, herhangi bir süreçteki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin gerçekleştirilmesiyle cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi, elde edilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanabilir [3]. DT süreç eniyilemesinde, süreç değişkenlerinin tanımlanmasında ve süreçteki değişkenliğin azaltılmasında önemli bir yöntemdir. Bir sürecin ya da sistemin genel modeli Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Süreç değişkenlerinden  $X_1, X_2, \dots, X_p$  kontrol edilebilir değişkenler iken  $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$  kontrol edilemeyen değişkenler olarak adlandırılabilir [4].



Şekil 3.1 Bir sistem veya sürecin genel gösterimi[4]

DT teknikleri, yeni bir süreç geliştirmede ve iyileştirme amacıyla mevcut süreci düzeltmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Burada amaç, sağlam (robust tasarım: çeşitli koşullarda uygun işlev gören ürün tasarımı) bir süreç geliştirmektir. Değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$ ) etkisinin en az olduğu bir süreç ile en iyi koşullar sağlanmaktadır [5].

Deney tasarımı çalışmalarında faktöryel tasarım, cevap yüzeyi metodu ve Taguchi yöntemi günümüzde yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu yöntemler içinde Taguchi yöntemi, diğer yöntemlere göre daha az deney sayısı ve daha az maliyetle hızlı bir

şekilde sonuca ulaşmayı sağlaması bakımından literatürde yaygın kullanılan yöntem olarak görülmektedir.

### **3.1.1.1 Taguchi yöntemi**

Taguchi yöntemi Dr. Genichi Taguchi tarafından 1950'lerde süreç eniyileme tekniği olarak geliştirilmiştir. "Taguchi'nin kalite alanına getirmiş olduğu en dikkat çekici katkı, kalite sistemini üretim öncesi (off-line) ve üretim süreci (on-line) olarak ikiye ayırarak bir ürünün kalitesini ve müşteri memnuniyetini, üretim öncesindeki aşamada tasarım ve geliştirmenin mükemmelliği ile yakından ilgili olduğunu gösteriyor olmasıdır" [6].

Taguchi yöntemi farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu saptamak için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu kullanılarak (Çizelge 3.1) çok daha az sayıda deneysel çalışmayla sonuca ulaşmak mümkündür [7].

Kalite mühendisliğinde tasarım kalitesi (robust design) 3 temel sürece dayanmaktadır. Bunlar ;

- Dikey dizilim (orthogonal arrays)
- Sinyal-gürültü oranı (S/N ratio)
- Kayıp fonksiyonu (loss function)'dur.

Taguchi tasarımında bir ürünün kalite sağlama seviyesi hem ürün tasarımı hem de süreç tasarımını kapsayan 3 tasarım üzerine kurulmuştur. Bunlar;

- Sistem tasarımı: kavram oluşturma aşamasıdır.
- Parametre tasarımı: ürün ve süreç için hedef oluşturma aşamasıdır.
- Tolerans tasarımı: sonucu istenen hedefe ulaşamadığında yapılan ilave çalışmalardır.

**Sistem tasarımı:** Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilirken mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistem içerisinde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi



yapılır. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir [8].

Çizelge 3.1 Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu [8]

		SEVİYE SAYISI										
		2		3		4		5				
PARAMETRE SAYISI	P=2	S=2	L4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L' 16	P=2	S=5	L25
	P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5	
	P=4	S=2		P=4	S=3		P=4	S=4		P=4	S=5	
	P=5	S=2	L8	P=5	S=3	L18	P=5	S=4	L' 32	P=5	S=5	L50
	P=6	S=2		P=6	S=3		P=6	S=4		P=6	S=5	
	P=7	S=2		P=7	S=3		P=7	S=4		P=7	S=5	
	P=8	S=2	L11	P=8	S=3	L27	P=8	S=4	L' 32	P=8	S=5	L50
	P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=4		P=9	S=5	
	P=10	S=2		P=10	S=3		P=10	S=4		P=10	S=5	
	P=11	S=2	L16	P=11	S=3	L36				P=11	S=5	L50
	P=12	S=2		P=12	S=3					P=12	S=5	
	P=13	S=2		P=13	S=3							
	P=14	S=2	L32	P=14	S=3	L36						L50
	P=15	S=2		P=15	S=3							
	P=16	S=2		P=16	S=3							
	P=17	S=2	L32	P=17	S=3	L36						L50
	P=18	S=2		P=18	S=3							
	P=19	S=2		P=19	S=3							
	P=20	S=2	L32	P=20	S=3	L36						L50
	P=21	S=2		P=21	S=3							
	P=22	S=2		P=22	S=3							
	P=23	S=2	L32	P=23	S=3	L36						L50
	P=24	S=2										
	P=25	S=2										
	P=26	S=2	L32			L36						L50
	P=27	S=2										
	P=28	S=2										
	P=29	S=2	L32			L36						L50
	P=30	S=2										
	P=31	S=2										

**Parametre tasarımı:** Süreç iyileştirme ve geliştirmenin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Bu adımda üretilecek ya da geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi seviyeye getirilebilmesi için üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametrelere en iyi seviyeler seçilir. Üretim esnasında ürünün kalitesini olumsuz etkileyecek kontrol edilemeyen etkiler belirlenir ve bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir. Ardından bu parametrelerin etkileri en

küçüklenir. Bu adımda parametreler bloklanırken Taguchi'nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler kullanılır. Aynı zamanda sinyal gürültü oranı (S/N - Signal/Noise ratio) analizi ile de hesaplama yapılabilir. Parametreler belirlendikten sonra Çizelge 3.1'deki Taguchi ortogonal dizisinden bir dizi seçmek gerekmektedir. Bu tabloya göre, bir araştırmacı 5 parametreye sahipse ve her bir parametrenin 3 seviyesi olduğu kabul edilirse L18 dizisi en uygun dizi olarak seçilir. Çizelge 3.1'de L'16 ve L'32 dizileri 4 seviyeli deneyler için kullanılmaktadır. Çizelge 3.1'nin dışında kalan parametre ve seviyeler için deney şartları daha zor olduğundan parametre ya da seviye küçültülerek uygun diziye getirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda ortalamalar ve gürültü oranı (S/N) değerleri de hesaplanarak kaydedilir [8].

**Tolerans tasarımı:** Tolerans tasarımında parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşılmadığında yapılan ilave çalışmalardır. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunarak sapmalar azaltılır [8].

Taguchi kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N- Sinyal/Noise ratio) fonksiyonu olarak da ifade edilen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3.1-3.5) kullanılarak S/N oranları hesaplanır.

En düşük (küçük) en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.1)$$

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.2)$$

Nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3.3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.5)$$

Eşitliklerde  $y_i$  : Performans yanıtının i. gözlem değeri, n: bir denemedeki test sayısı,  $\bar{y}$  :Gözlem değerlerinin ortalaması ve  $S^2$ : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

Literatür incelendiğinde Taguchi yöntemiyle gerçekleştirilen birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Örneğin Ross ve Sykes [9] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, dört adet iki seviyeli, bir adeti ise dört seviyeli olan beş faktörün performans karakteristiğine olan etkilerini araştırmak üzere Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bir firmanın imalat süreci iyileştirilerek firmanın iyileşme neticesinde önemli oranda kar elde etmesi sağlanabilmektedir.

Diğer taraftan Dovey ve Matthews [10] çalışmalarında matkap uçlarının PVD (Physical Vapor Deposition) tekniği kullanılarak TiN(Titanium Nitrit) kaplaması uygulamasında performans istatistiği olarak kayıp fonksiyonunu ele almışlardır. Taguchi yöntemi uygulaması sonucunda, kaplama maliyetlerinde %25 oranında bir artış olmasına rağmen matkap uçlarının paslanmaya karşı olan dayanımlarında %40'lık bir kalite sağlanmıştır.

Yang ve Tarng'ın [11] gerçekleştirdiği başka bir çalışmada, S45C çelik barların tornalanma sürecinde kesici takım parametrelerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Her biri üç seviyeli üç temel faktörün tornalama işlemi üzerindeki etkilerini görmek için L9(34) ortogonal dizi uygulanmıştır.

Başka bir çalışmada Kağnıcıoğlu [12], termik santrallerden çıkan kükürtdioksit gazının giderilmesi için sitrat yönteminin kullanılmasını araştırmıştır. Yöntemin en iyi sonuçları Taguchi yöntemi yardımıyla bulunmuştur.

Chau-Yuan Ke vd [13] ise, çalışmalarında manyetik alanın kuvveti ve düzgünlüğünü gösterge olarak kullanarak, ince tip CD/DVD sürücü için en iyi manyetik tasarımı Taguchi Yöntemi'ni uygulayarak önermişlerdir.

Ghani, Choudhury ve Hassan [14], son frezeleme parametrelerinin eniyilenmesinde Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Çalışmada frezeleme parametreleri olarak kesme hızı, besleme oranı, kesme derinliğini ve kesme derinliği ile besleme oranı arasındaki etkileşim olarak 4 farklı parametre ve bu parametreler için 3 farklı seviye kullanılmıştır. Deney tasarımı için L27 ortogonal dizisi seçilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi bileşen; yüksek kesme hızı, düşük besleme hızı ve kısa kesme derinliği olarak belirlenmiştir.

Baynal [15] [16] tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda ise, otomotiv endüstrisinde bir tedarikçi firma tarafından üretilen far kumanda kolu şapkasının baş kısmında meydana gelen bombelik ve parlaklığının giderilmesi ile ağırlık ve boyutunun hedef değerlerde olması amaçlanmıştır. Uygulamada ürünün ağırlığı, görünümü (bombelik ve parlaklık) ve boyutu olmak üzere üç kalite karakteristikli bir problem üzerinde çalışılmıştır. L27(313) ortogonal dizini kullanılmış, on üç faktörün performans karakteristiği üzerindeki etkileri incelenmiş ve en iyi faktör seviyeleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Canıyılmaz ve Kutay'ın [17] gerçekleştirdiği başka bir çalışmada, şalter üretimi yapan bir firmanın, şalter gövdelerinin kullanıldıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri mekanik darbelere karşı mukavemetlerini arttıracak en uygun süreç şartlarının bulunması amaçlanmıştır. Yedi faktörlü iki seviyeli problem L16 ortogonal dizinine göre atanmıştır. Verilerin analiz edilmesinde "Faktör Etkilerinin Grafiksel Gösterimi" metodu kullanılmıştır. Gerçek sistemden alınan veriler kullanılarak varyans analizi yöntemiyle çözülmüş olan problem, Faktör Etkilerinin

Grafiksel Gösterimi Yöntemiyle tekrar çözümlenerek iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Akyalçın ve Kaytakoğlu'nun [18] gerçekleştirdiği diğer bir çalışmada, kalorifik değeri düşük ve kükürt içeriği yüksek kömürlerin ülke ekonomisine kazandırılması amacıyla, termik santrallerde yakılması sonucunda oluşan ve havayı önemli derecede kirleten SO<sub>2</sub> gazının giderilmesinde kullanılan geri dönüşüm yöntemlerinden biri olan sitrat 10 prosesi ele alınmıştır. Çalışmada Taguchi yöntemi kullanılarak Tribazik Sodyum Sitrat (TSS) çözeltisiyle SO<sub>2</sub> giderimine ait en uygun koşullar incelenmiştir. Deneylerde gaz kabarcığının büyüklüğü, reaksiyon sıcaklığı, gaz akış hızı, karıştırma hızı ve çözelti derişimi kontrol faktörleri olarak ele alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, mevcut proses için en iyi şartların reaksiyon sıcaklığına, gaz akış hızına ve çözelti derişimine bağlı olduğu görülmüştür.

Bilişik ve Gençyılmaz'ın [19] çalışmalarında, eğitim kurumlarındaki sınıf içi eğitim ve öğretim faaliyetlerinin kalitesini arttırmak için en uygun ders anlatım yönteminin belirlenmesini amaçlanmıştır. Yüksek öğrenim kurumunda yapılan çalışmada en uygun yöntemin belirlenmesinde L9 ortogonal dizini kullanılarak Taguchi yönteminden faydalanılmıştır. Veriler MINITAB programı ile analiz edilmiş ve etki değerlerinin araştırılmasında ANOVA analizi yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Kopaj ve Krajnik [20], enjeksiyon kalıpları için alüminyum alaşımlı dökme plakaların alın tornalama parametrelerini çok ölçütlü optimizasyon problemi olarak ele almış ve faktörlerin en iyi seviyeleri Taguchi yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre süreçte eş zamanlı olarak yüzey pürüzlüğü ve kesme kuvvetleri bileşkesi minimize edilmiş ve talaş kaldırma oranı artırılmıştır.

Başka bir çalışmada Durmaz [21], kauçuk işleme prosesinde Taguchi yöntemini kullanarak kalite kayıplarını önlenmeye çalışmıştır. Ürünü ve süreci etkilediği düşünülen yedi adet faktör belirlenmiş, L16 ortogonal dizisi seçilmiş, denemeler beşer kez tekrar edilmiş ve hata faktörlerinin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda hatalı çıkan ürün sayısı, en iyi üretim şartları sağlandığında %60 azalmıştır.

Yukarıda detaylı olarak anlatıldığı üzere, çok farklı alanlarda bir çok çalışmada Taguchi yönteminin kullanıldığı ve çalışmalar neticesinde süreç veya ürün performanslarında önemli iyileşmeler sağlanabildiği görülmektedir. Yöntemin gerek geniş kullanım alanına sahip olması, gerekse daha az deney yaparak hem zaman kazancı, hem de daha az maliyetle sonuçların elde edilmesine imkân sağlaması gibi avantajlar sunması, tez kapsamında Taguchi yönteminin kullanılmasında etkili olmuştur.

### **3.1.2 Çok kriterli karar verme yöntemleri ile Taguchi tasarımı**

#### **3.1.2.1 Çok kriterli karar verme yöntemleri**

İşletmeler kararlar alırken, doğru ve güvenilir verilere ve değerlendirme süreçlerine ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden karar verme süreçlerine bilimsel tekniklerin dâhil edilmesi sonuçların daha güvenilir olmasına ve sübjektif kararlardan uzaklaşılmasına yardımcı olur. Çeşitli karar problemleri ile karşı karşıya kalan yöneticiler için alternatifler kümesinden uygun alternatifin seçilmesi oldukça zor bir süreçtir [22].

Karar problemleri çoğu zaman birbiri ile çelişen birden fazla kriteri içermektedir. Örneğin yatırım yapacak bir yatırımcı, yatırım enstrümanlarının getirisinin yanı sıra riskini de karar sürecine dâhil etmek isteyecektir. Aynı şekilde bir ürün almayı düşünen müşteri, çoğu zaman sadece fiyata göre karar vermeyecek, teknoloji, garanti, tasarım, kullanım kolaylığı gibi kriterleri de göz önünde bulunduracaktır. Ayrıca bir işveren yeni personel alımında kararını verirken, başvuran adayları sadece deneyimlerine göre değil, eğitimine, istediği ücrete ve kişisel özelliklerine göre de değerlendirmeye çalışacaktır [25]. Tek bir kritere göre karar verilebiliyorsa klasik karar analizi tekniklerini kullanmak uygunken, birden çok kriteri eş zamanlı içeren karar problemleri için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerini kullanmak daha uygun olmaktadır [25]. ÇKKV, bir karar vericinin birden fazla alternatif arasından genellikle birbiri ile çelişen kriterler altında yaptığı seçim işlemidir [24]. ÇKKV yönteminde izlenen adımlar şu şekilde sıralanabilir [26]:

- Konu ile ilgili kriter ve alternatifler belirlenir.
- Kriterlerin göreceli önem dereceleri belirlenir.
- Her bir alternatif tüm kriterler bazında değerlendirilir ve alternatifler sıralanır.

Gerçek hayatta bir karar verici ya da analist, karar verme durumunda, önce problemi anlamaya ya da ortaya koymaya çalışır. Bu aşama çeşitli alternatifler, neticeler ve önemli kriterler, bilginin nitelik ve niceliği gibi konularda karar verilmesini kapsar. Daha sonra duruma en uygun ÇKKV yöntemi seçilir ve uygulanır [27]. Uygulamada ÇKKV sürecinde sıkça kullanılan kavramlar kısaca şu şekilde açıklanabilir:

Alternatifler bir problemdeki tercih seçenekleridir. Ele alınan problemdeki alternatifleri eleyerek amaca en uygun olan seçilir. Öz nitelikler kriterlerin temel alt gruplarıdır. Kriterler, alternatiflerin temel özellikleri, kaliteleri veya verimlilik parametreleri olarak tanımlanır ve karar vericinin değer yargılarına bağlı olarak tanımlanarak ölçümlenirler. Amaçlar ise kriterlerin, karar vericilerin arzuları doğrultusunda yönlendirilmiş şekli olmaktadır. Hedefler, amaçların daha belirli değerlerle somut bir hale getirilmiş biçimleridir [28]. Karar matrisi, ÇKKV problemlerinde genellikle değişik alternatifler, olaylar ve bunların sonuçları bir matris biçiminde gösterilmektedir [29]. ÇKKV, çoklu ve genellikle birbiri ile çelişen kriterler olması durumunda alternatifler arasından seçim yapmayı içerir ve karar problemi matris şeklinde şu şekilde ifade edilir:

$$\begin{array}{c}
 K_1 \quad \dots \quad K_n \\
 D = \begin{array}{c} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}
 \end{array} \quad (3.6)$$

Burada  $A_i$  ,  $i=1,\dots,m$  olası alternatifleri,  $K_j$   $j=1,\dots,n$  olası alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterleri ve  $a_{ij}$ 'ler ,  $A_i$  alternatifinin,  $K_j$  kriteri bazında değerlendirme sonuçlarını gösterir [30]. D matrisindeki satırlar, birbiri ile rekabet halinde olan alternatifleri, sütunlar ise alternatiflerin değerlendirileceği kriterleri ifade etmektedir.

Literatürde ÇKKV problemlerinin çözümü için kullanılan farklı yöntemler bulunmakta olup (Çizelge 3.2), bu yöntemlerin hiç birisi diğerlerine göre tam üstünlük sağlayamamaktadır. Bu yöntemlerin en önemli avantajı nicel ve nitel kriterleri bir arada değerlendirmeye imkân sağlamasıdır [31]. Literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri; AHP (Analytik Hiyerarşi Prosesi), GRA (Grey Relational Analysis/Gri İlişkisel Analiz), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarit to Ideal Solution), PROMETHEE (Prefrence Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations), MOORA (Multi-objective Optimization on the basis of Ratio Analysis), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje ) ve ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite) Elimination and Choice Expressing REality) olarak karşımıza çıkmaktadır.

ÇKKV yöntemlerinden AHP yönteminin uygulanmakta olduğu problemler genellikle 3 ve daha fazla yanıtli problemler için elverişlidir. Çünkü bu problemlerde AHP yöntemi ikili karşılaştırma matrisi ile kriterlerin göreceli ağırlıklarının hesaplanmasında etkin bir yaklaşım sunmaktadır. Tez kapsamındaki çamaşır makinesinin ses düzeyinin iyileştirilmesi problemi 2 yanıtli olduğundan, kriter ağırlıklandırma işlemi kolaylıkla yapılabilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında GRA, TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemlerinin Taguchi metodu ile birlikte uygulanması benimsenmiş, AHP yöntemi ise kullanılmamıştır.



Çizelge 3.2 ÇKKV yöntemleriyle ilgili literatürdeki çalışmalardan örnekler

YAZAR	YIL	KONU	KULLANILAN YÖNTEM
Triantaphyllou vd. [32]	1998	VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması.	VIKOR-TOPSIS
Hsu ve Wen [33]	2000	Havayolu ağ tasarımında gri teori ve çok amaçlı programlama uygulamasında GRA metodunu uygulaması.	GRA
Lin ve Lin [34]	2002	Çoklu performans karakteristikleri ile elektrik boşaltım işleminin optimizasyonu için GRA yöntemi uygulaması.	GRA
Tarng vd. [35]	2002	Tozaltı Kaynak Tekniğinde parametrelerin belirlenmesi.	GRA
İç ve Yurdakul [36]	2003	Türk otomotiv firmalarının performans ölçümü ve analizinde TOPSIS yönteminin kullanılması.	TOPSIS
Opricovic ve Tzeng [37]	2004	ÇKKV yöntemlerinden oluşan çözümler: Karşılaştırmalı VIKOR ve TOPSIS analizi	VIKOR-TOPSIS
Yang ve Chou [38]	2004	ÇKKV yönteminde kesikli değişken kullanımı ile çok yanıtli benzetim-en iyileme problemi çözümü.	TOPSIS
Brauers ve Zavadskas [39]	2004	MOORA metodu ve geçiş ekonomisinde özelleştirmede uygulaması.	MOORA
Palanikumar vd. [40]	2006	GFRP (glass fiber-reinforced polymer) bileşkeninin karbit(K10) aracı ile işlenmesinde, işleme parametrelerinin çoklu performanslarının optimizasyonunu.	GRA
Tong vd. [41]	2007	VIKOR metodu ile çok yanıtli süreç en iyilemesi.	VIKOR
Liu ve Yan [42]	2007	Yapı projelerinin teklif ve değerlendirmelerinde VIKOR metodunun kullanılması.	VIKOR
Lu vd. [43]	2009	Yüksek hızlı frezede kesme parametrelerinin en iyi dizaynı için temel bileşenlerin GRA ile analizi.	GRA
Ertuğrul ve Karakaşoğlu [44]	2009	Banka şube performanslarının VIKOR yöntemi ile değerlendirilmesi	VIKOR
Chakraborty [45]	2010	İmalat firmalarında çok kriterli karar vermede MOORA metodu uygulaması.	MOORA
Chatterjee vd. [45]	2010	Endüstriyel robot seçimi.	VIKOR

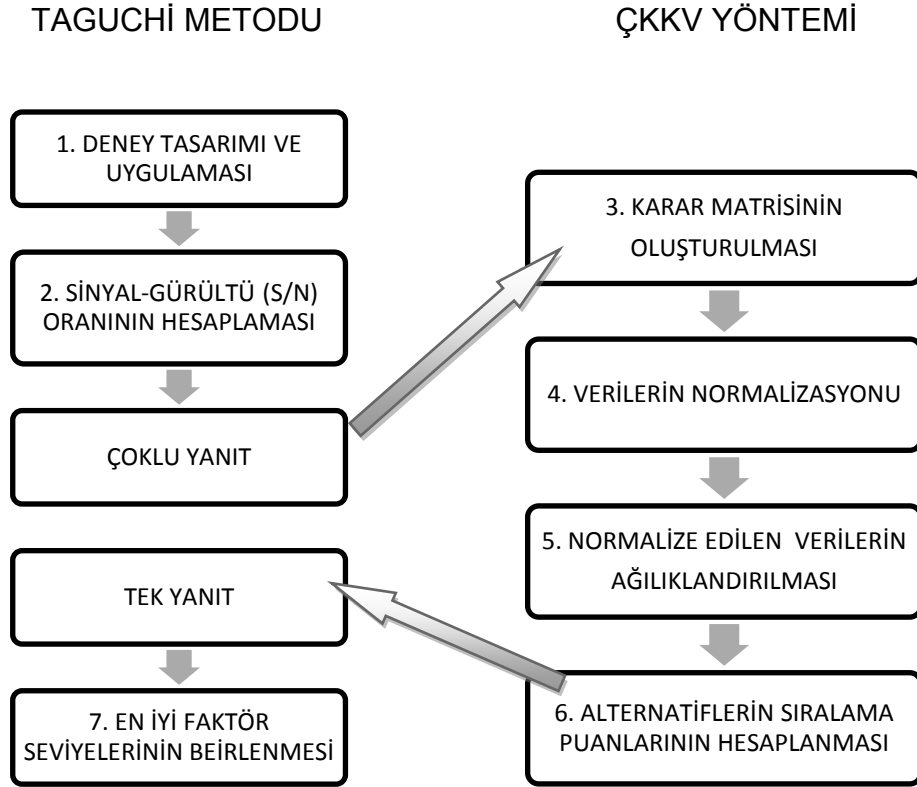
### **3.1.2.2 ÇKKV ile bütünleşik Taguchi yöntemi uygulamaları**

Çok yanıtli bir deneyden elde edilen verilerin analizi, verilerin çok değişkenli yapısının dikkatli bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Yanıtlar arasında olabilecek ilişkiler, tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olacağı için yanıt değişkenleri bireysel ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Bu durumda, birkaç yanıt fonksiyonu eş zamanlı olarak eniyilenmek isteniyorsa, ayrı ayrı eniyilerin elde edilmesi anlamsızdır [15]. Probleme tek bir çözüm genellikle bulunamamaktadır. Bir yanıtın çözümü diğerinden ayrılır. Tasarım değişkenlerinin belirsiz faktörlere bağlı olduğu durumlarda hedef, tüm yanıtlar için sağlanan çözümün tanımlanmasıdır. Bunun tanımında çözüm veya tasarım noktasında yanıtlar eniyilenir ve varyanslar en küçüklenir [23] [34]. Bu amaç için literatürde ÇKKV yöntemleri ile Taguchi yöntemi bütünleşik olarak uygulanmaktadır.

Örneğin; Kuo vd. [46] çok ölçütlü benzetim problemlerinin eniyilemesinde gri ilişkisel derece tabanlı Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Hung- Chang Liao [47], çok yanıtli benzetim optimizasyonunda Taguchi tasarımı ile TOPSIS yöntemini birlikte kullanmıştır. Yang ve Chou'nun [38] çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak, çok yanıtli benzetim eniyilemesi gerçekleştirmişlerdir. Diğer taraftan Huang ve Liao [48], elektrik teli boşaltım mekanizması parametrelerinin eniyilemesinde GRA ve Taguchi yöntemini birlikte uygulamışlardır. Liao [47] ise TOPSIS yöntemiyle birlikte Taguchi yöntemini kullanarak iki yanıtla sahip toz altı ark kaynağı ve plastik enjeksiyon kalıplama proseslerini iyileştirmişlerdir. Biswas vd [54] çok yanıtli toz altı ark kaynağı eniyilemesi çalışmasında, Tong vd [55] ise çok yanıtli süreç eniyilemesi amacıyla VIKOR metodu ile Taguchi yönteminin birlikte kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Gerçekleştirilen tez kapsamında çamaşır makinesinin “ses düzeyi”nin eniyilemesi problemi az önce yukarıda değinilen iki yanıtli süreç eniyilemesi çalışmalarına benzer bir yapıdadır. Çamaşır makinesinin ses düzeyi performansına etkiyen ve “çamaşır makinesinin ses gücü” ile “makinenin rezonansa girdiğı sıkma devri” olarak adlandırılan iki adet performans yanıtı bulunmaktadır. Taguchi yöntemi tek başına sadece tek performans yanıtının eniyilenmesinde kullanılan bir yöntemdir.

ÇKKV yöntemleri Taguchi yöntemiyle birlikte kullanılarak birden çok performans yanıtı tek bir yanıtla dönüştürülür. Böylece problem tek yanıtlı bir eniyileme problemi haline gelmiş olur (Şekil 3.2). Şekil 3.2’de adım 1,2 ve 7 Taguchi yöntemlerinin genel prosedürünü göstermektedir. Adım 3-6 ise ÇKKV yönteminin genel uygulama adımlarını ifade etmektedir.



Şekil 3.2 ÇKKV yöntemleri tabanlı Taguchi yöntemi uygulama prosedürü

Çamaşır makinesinin ses düzeyinin iyileştirilmesi için tez kapsamında ÇKKV yöntemleri ile Taguchi yöntemi birlikte uygulanarak ses düzeyine etki eden faktörlerin en iyi seviyeleri belirlenmeye çalışılacaktır. Bu amaca yönelik olarak gerçekleştirilen analizlerde, literatürde çok yanıtlı süreç iyileştirme çalışmalarında Taguchi yöntemi ile bütünleşik olarak en yaygın kullanıma sahip olan GRA, TOPSIS, MOORA ve VIKOR yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılacaktır. Böylece farklı ÇKKV yöntemleriyle elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar belirlenmeye çalışılacaktır. Aşağıda GRA, TOPSIS, MOORA, VIKOR yöntemleri ile Taguchi yönteminin birlikte uygulanma prosedürlerine yer verilmektedir.

### **3.1.2.2.1 GRA (Gri İlişkisel Analiz) metodu**

Gri teori ilk defa 1982 yılında Tayland'daki Hua Chung Bilim ve Teknoloji Üniversite'si öğretim üyelerinden olan Profesör Julong Deng tarafından ortaya atılmıştır. GRA, gri teori ana başlığı altında literatürde yerini almış olan bir karar verme ve analiz aracıdır [49]. Gri teori, gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri tahmin ve gri karar verme gibi alt başlıklar altında farklı alanlarda uygulanmaktadır [50].

Gri sistem teorisi az ya da kesikli bilgi, çok veri ve belirsizlik olan durumlarda başvurulabilecek alternatif ve etkili bir yaklaşımdır [49]. Gri teori çok değişkenli istatistiklerle hiçbir dağılıma uymayan, yeterli veri içermeyen ve belirsizlikten dolayı modellenemeyen problemlere çözüm getirebilmektedir [50].

GRA'da; "siyah" bilgiye sahip olunmadığını gösterirken "beyaz" bilgiye tamamen sahip olduğunu gösterir. Gri sistem ise, siyah ile beyaz arasındaki bilginin seviyesini gösterir. Gri sistemde bazı bilgiler bilinirken bazı bilgiler bilinmez. Beyaz sistemde, sistem içerisindeki ilişkiler arası faktörler kesinken, gri sistemde sistem içindeki ilişkiler arası faktörler kesin değildir [51].

GRA gri modellemenin alt başlıklarından biridir. GRA gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans serisi) serisi arasındaki ilişki derecesini belirlemeye yarayan bir metottur. Her bir faktör bir dizi (satır veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir [50].

GRA tabanlı Taguchi yöntemi uygulama prosedürü aşağıda adım adım açıklanmaktadır:

**Adım 1.** Uygun Taguchi deney tasarımı ile deneylerin uygulanması ve deney sonuçlarının alınması.

**Adım 2.** Amaca uygun S/N oranları Bölüm 3.1.1.1'de Eşitlik (3.1)-(3.5) kullanılarak hesaplanır. Uygulamanın bundan sonraki kısımları deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler için de uygulanabilir.

### Adım 3. Verilerin normalize edilmesi

Faktörlerin farklı birimlerle ölçülmesinden dolayı verilerin aynı birime dönüştürülmesi gerekir. Ayrıca serinin çok geniş aralıklarda değerler aldığı durumlarda standartlaştırmayla verilerin küçük bir aralığa çekilmesi de faydalıdır. Gri sistem teorisinde bu normalleştirme sürecine “gri ilişkisel oluşum (grey relational generating)” adı verilmektedir. Verilerin normalizasyonunda en sık kullanılan yöntemlerden birisi doğrusal veri önileme metodudur. Faktör serilerinin normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “daha yüksek daha iyi”, “daha düşük daha iyi” ve “nominal en iyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır. Örneğin serideki noktaların küçük değerler olması istenen bir özellik ise doğrusal normalizasyonda küçük değer alan noktalar “1” e yakın değerler alırken, büyük değer alan noktalar “0” ‘a yakın değerler alacaktır. Buna göre; “Daha yüksek daha iyi” durumunda normalizasyon için Eşitlik (3.6), “daha düşük daha iyi” durumunda normalizasyon için Eşitlik (3.7), “nominal en iyi” durumunda normalizasyon için Eşitlik (3.8) uygulanır.

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (3.6)$$

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (3.7)$$

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (3.8)$$

Eşitliklerde  $x_i(k)$ ;  $x_0$  serisinin normalize edilmiş halini,  $x_i^0(k)$  ; i. alternatifin k. yanıtı değerini,  $\min x_i^0(k)$  ; en düşük performans değerini,  $\max x_i^0(k)$  ; en yüksek performans değerini ifade etmektedir.

**Adım 4.** Referans serisinin belirlenmesi. Referans serisi Eşitlik (3.9)'daki gibi belirlenebilir. Alternatiflerin referans serisine yakınsaması amaçlanır.

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)) = (1, 1, 1, \dots, 1) \quad (3.9)$$

$x_0$ : Alternatif  $i$ 'nin  $k$ . yanıtının performans değerini göstermektedir.

$X_0$  serisi ile karşılaştırılacak  $m$  adet seri Eşitlik (3.10)'da tanımlanmaktadır.

$$x_i(x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)) \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.10)$$

**Adım 5.** Gri ilişkisel katsayısının hesaplanması:  $k$ ,  $n$  uzunluğundaki serideki  $k$ . sırayı göstermek üzere  $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$ ,  $k$ . noktadaki gri ilişkisel katsayı olup, Eşitlik (3.11-3.14)'e göre hesaplanır.

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{0i} + \xi \Delta_{max}} \quad (3.11)$$

$\xi \in (0,1)$  arasındaki bir ayırım katsayıdır

$$\Delta_{0i} = |x_0(k) - x_j(k)| \quad (3.12)$$

$$\Delta_{min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (3.13)$$

$$\Delta_{max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (3.14)$$

**Adım 6.** Gri ilişkisel derecenin hesaplanması.

Gri ilişkisel derece bir sistemdeki  $x_i$  serisi ile  $x_0$  referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Gri ilişkisel derecenin büyüklüğü  $x_i$  ile  $x_0$  arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise gri ilişkisel derece değeri 1'dir. Gri ilişkisel derece karşılaştırılan serinin referans seriyeye ne kadar benzer olduğunu gösterir. Eğer her bir kriterin ağırlıkları ( $W_i(k)$ ) belirliyse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir (Eşitlik (3.15)).

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k) \cdot (W_i(k))) \quad (3.15)$$

Karar verme probleminde referans seri, kriterlerin alması istenen en büyük, en küçük ve en ideal değerler olarak seçilirse, karşılaştırması yapılacak faktör serinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Gri ilişkisel derecesi en yüksek olan faktör serisi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar verme alternatifini gösterecektir [50] [52].

**Adım 7.** Bir önceki adımda alternatifler sıralandıktan sonra Taguchi yöntemi prensiplerine göre faktör seviyelerinin ortalama yanıtları hesaplanır. Hesaplama her bir faktörün, her bir seviyesi için ayrı ayrı gerçekleştirilir. Örnek olarak L8 tasarımıda faktör A'nın 1.seviyesi için ortalama değer Eşitlik (3.16) ile hesaplanabilir [46].

$$M_{A1} = \frac{1}{4} (\gamma(x_0, x_1) + \gamma(x_0, x_2) + \gamma(x_0, x_3) + \gamma(x_0, x_4)) \quad (3.16)$$

### 3.1.2.2.2 TOPSIS metodu

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Hwang ve Yoon tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir. Karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibine dayanır. Bu yöntemle alternatif seçeneklerin belirli kriterler doğrultusunda ve kriterlerin alabileceği en iyi ve en kötü değerler arasında ideal duruma göre karşılaştırılması gerçekleştirilmektedir [36].

Tezde TOPSIS yöntemi literatürdeki iki farklı uygulama (Standart TOPSIS yöntemi, Liao [47]; vektör normalizasyonu ve doğrusal normalizasyonun kullanıldığı TOPSIS yöntemi, Yang ve Chou [38]) esas alınarak tatbik edilmiştir. Aşağıda her iki uygulama için de yöntem adımları verilmektedir.

## a- Standart TOPSIS yöntemi

**Adım 1.** Uygun Taguchi deney tasarımı ile deneylerin uygulanması ve deney sonuçlarının alınması.

**Adım 2.** Amaca uygun S/N oranları Bölüm 3.1.1.1'de Eşitlik (3.1)-(3.5) kullanılarak hesaplanır

**Adım 3.** Karar matrisinin ve standart karar matrisinin oluşturulması

Adım 2'de hesaplanan S/N oranları kullanılarak karar matrisi ( $A_{ij}$ ) oluşturulur. Karar matrisinin satırlarında sıralanacak karar noktaları (faktör seviyeleri), sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri (birden fazla performans yanıtı için hesaplanan S/N oranları) yer almaktadır.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Standart Karar Matrisi,  $A_{ij}$  matrisinin elemanlarından yararlanarak ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır ve  $R_{ij}$  matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, n \quad (3.18)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

**Adım 4.** Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin ( $V_{ij}$ ) Oluşturulması



Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri ( $w_i$ ) belirlenir. Daha sonra  $R_{ij}$  matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili  $w_i$  değeri ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi ( $V_{ij}$ ) Eşitlik (3.20)'deki gibi oluşturulur.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

#### Adım 5. İdeal ( $A^*$ ) ve Negatif İdeal ( $A^-$ ) Çözümlerin Oluşturulması

TOPSIS yöntemi, her bir değerlendirme faktörünün monoton artan veya azalan bir eğilime sahip olduğunu varsaymaktadır. İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için  $V$  matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) seçilir. İdeal çözüm setinin bulunmasında Eşitlik (3.21)'den hesaplanacak set,  $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$  şeklinde gösterilebilir.

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad (3.21)$$

Negatif ideal çözüm seti ise,  $V$  matrisindeki ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinin yani sütun değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en büyüğü) seçilerek oluşturulur. Negatif ideal çözüm setinin bulunmasında Eşitlik (3.22)'den hesaplanacak set  $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$  şeklinde gösterilebilir.

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad (3.22)$$

Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, değerlendirme faktörü sayısı yani  $m$  elemandan oluşmaktadır. Her iki formülde de  $J$  fayda (maksimizasyon),  $J'$  ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir.

**Adım 6.** Ayırım ölçütlerinin ve ideal çözüme görelî yakınlığın hesaplanması

TOPSIS yönteminde her bir karar noktasına ilişkin değerlendirme faktör değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için “Euclidian Uzaklık” yaklaşımından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen karar noktalarına ilişkin sapma değerleri ise İdeal Ayırım ( $S_i^*$ ) ve Negatif İdeal Ayırım ( $S_i^-$ ) Ölçüsü olarak adlandırılmaktadır. İdeal ayırım ( $S_i^*$ ) ölçüsünün hesaplanması Eşitlik (3.23)'de, negatif ideal ayırım ( $S_i^-$ ) ölçüsünün hesaplanması ise Eşitlik (3.24)'de gösterilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.23)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.24)$$

Burada hesaplanacak  $S_i^*$  ve  $S_i^-$  sayısı doğal olarak karar noktası sayısı kadar olacaktır.

Her bir karar noktasının ideal çözüme görelî yakınlığının ( $C_i^*$ ) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme görelî yakınlık değerinin hesaplanmasında aşağıdaki Eşitlik (3.25) kullanılır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (3.25)$$

Burada  $C_i^*$  değeri  $0 \leq C_i^* \leq 1$  aralığında değer alır ve  $C_i^* = 1$  ilgili karar noktasının ideal çözüme,  $C_i^* = 0$  ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

**Adım 7.** Bir önceki adımlarda alternatifler sıralandıktan sonra Taguchi yöntemi prensiplerine göre faktör seviyelerinin ortalama yanıtları hesaplanır. Hesaplama her bir faktörün, her bir seviyesi için ayrı ayrı gerçekleştirilir. Örnek olarak L8

tasarımda faktör A'nın 1.seviyesi için ortalama değer Eşitlik (3.26) ile hesaplanabilir [46].

$$M_{A1} = \frac{1}{4} (C_1^* + C_2^* + C_3^* + C_4^*) \quad (3.26)$$

## b- Vektör normalizasyonu ve doğrusal normalizasyonun kullanıldığı TOPSIS yöntemi

**Adım 1.** Kalite kayıp fonksiyonu ( $L_{ij}$ ) hesaplanır (Eşitlik (3.27)-(3.28)):

$$\text{En küçük en iyi yanıtı için;} \quad L_{ij} = k_1 \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_{ijk}^2 \quad (3.27)$$

$$\text{En büyük en iyi yanıtı için;} \quad L_{ij} = k_2 \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (3.28)$$

Eşitliklerde  $y_{ijk}$   $j$ . yanıtın  $i$ . senaryoda,  $k$ . tekrardaki yanıtını göstermektedir.  $N$  ise toplam tekrar sayısıdır.

Daha sonra en küçük değeri istenen ve en büyük değeri istenen yanıtlar tek yanıtla dönüştüğünde en büyük en iyi yanıtını temsil edecek şekilde kayıp fonksiyonu Eşitlik (3.29) kullanılarak normalize edilir.

$$x_{ij} = \frac{L_i^{max} - L_{ij}}{L_i^{max} - L_i^{min}} \quad (3.29)$$

$x_{ij}$   $j$ . senaryonun  $i$ . yanıtının normalize edilmiş kayıp fonksiyonudur ve (0,1) aralığında bir değerdir.  $L_i^{max} = \max \{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{in}\}$  ve  $L_i^{min} = \min \{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{in}\}$  olarak tanımlandığında  $x_{ij}$  en büyük en iyi olan fayda fonksiyonudur.

## Adım 2. Normalizasyon

Yanıtları karşılaştırabilmek için vektör normalizasyonu için Eşitlik (3.18) ve doğrusal normalizasyon içinse Eşitlik (3.30) kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

$$r_{ij} = a_{ij} / a^*_j \quad i=1, \dots, m, j=1, \dots, n. \quad (3.30)$$

$a^*_j$ : alternatiflerin yanıtları içerisindeki en iyi değeri göstermektedir.

**Adım 3.** Hem vektör normalizasyonu hem de doğrusal normalizasyon yöntemiyle normalize edilmiş verilere Liao'nun yaklaşımında açıklanan Adım 4-7 uygulanır.

### 3.1.2.2.3 MOORA metodu

MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) metodu ilk olarak Brauers tarafından, imalat sektöründe kompleks yapıdaki birbirinden farklı karar problemler için uygulanmıştır [39]. MOORA yönteminin Taguchi yöntemiyle birlikte uygulamasına yönelik adımlar aşağıda verilmektedir.

**Adım 1.** Uygun Taguchi deney tasarımı ile deneyler uygulanarak deney sonuçları elde edilir.

**Adım 2.** Amaca uygun S/N oranları Bölüm 3.1.1.1'de Eşitlik (3.1)-(3.5) kullanılarak hesaplanır. Uygulamanın bundan sonraki kısımları deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler için de uygulanabilir.

**Adım 3.** Karar matrisinin oluşturulması [45].

Adım 1'de hesaplanan S/N oranları kullanılarak karar matrisi ( $X_{ij}$ ) oluşturulur. Karar matrisinin satırlarında sıralanacak karar noktaları (faktör seviyeleri), sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri (birden fazla performans yanıtı için hesaplanan S/N oranları) yer almaktadır.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (3.31)$$

**Adım 4.** Her bir alternatif için Eşitlik (3.32) kullanılarak normalizasyon gerçekleştirilir [58].

$$x_{ij}^* = x_{ij} / \left[ \sum_{i=1}^m x_{ij}^2 \right]^{1/2} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.32)$$

$x_{ij} \in (0,1)$  aralığında j. yanıtın i. alternatifinin normalize edilmiş performansını vermektedir.

**Adım 5.** Çok yanıtli optimizasyonda bu normalize edilmiş performanslar en büyükleme için eklenirken, en küçükleme için çıkarılmaktadır. Böylece eniyileme problemi Eşitlik (3.33) teki gibi olmaktadır.

$$y_i = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad (3.33)$$

$g$  en büyüklenecek,  $(n - g)$  ise en küçüklenecek yanıt iken,  $y_i$  i. alternatifin bütün yanıtlara göre normalize edilmiş değeridir.

**Adım 6.** Bazen yanıtlardan bazıları diğerlerinden daha önemlidir. Bu yanıtlara daha fazla önem verebilmek için ağırlıklandırılmış değeri ile çarpılır [59]. Yanıtlar ağırlıkları ile çarpıldığı takdirde Eşitlik (3.33), Eşitlik (3.34)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$y_i = \sum_{j=1}^g w_j x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n w_j x_{ij}^* \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.34)$$

$w_j$   $j$ . yanıtın ağırlığıdır ,  $y_i$  değeri karar matrisinin amacına göre pozitif veya negatif olabilir. Ardından en yüksek değere sahip olan  $y_i$  değeri en iyi alternatif, en düşük  $y_i$  değeri ise en kötü tercih olarak seçilir [45].

**Adım 7.** Bir önceki adımlarda belirlenen alternatifler sıralandıktan sonra Taguchi yöntemi prensiplerine göre faktör seviyelerinin ortalama yanıtları hesaplanır. Hesaplama her bir faktörün, her bir seviyesi için ayrı ayrı gerçekleştirilir. Örnek olarak L8 tasarımıda faktör A'nın 1.seviyesi için ortalama değer Eşitlik (3.35) ile hesaplanabilir.

$$M_{A1} = \frac{1}{4}(y_1^* + y_2^* + y_3^* + y_4^*) \quad (3.35)$$

#### **3.1.2.2.4 VIKOR metodu**

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) metodu, uzlaşık bir sıralama belirlemeyi ve belirtilen ağırlıklar altında uzlaşık çözüme ulaşmayı sağlayan bir yöntemdir. Birbiri ile çelişen kriterler altında alternatiflerin sıralamasını oluşturarak en uygununun seçilmesini sağlar. VIKOR yöntemi, ideal çözüme yakınlığa dayanan çok kriterli sıralama indeksini ele alır. Birbiri ile çelişen kriterler içeren problemler için uzlaşık çözüm, karar vericilere karara ulaşmada yardımcı olur. VIKOR yöntemi ilk kez Opricovic ve Tzeng [44] tarafından karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için önerilmiştir.

VIKOR yöntemi, karar vericinin sistem tasarlanırken başlangıçta tercihlerini tam olarak belirtememesi durumunda, çok kriterli karar vermede etkin bir araçtır. Elde edilen uzlaşık çözüm, çoğunluk için maksimum grup faydasını ve karşıt görüştekiler için minimum pişmanlığı sağlayacağından karar verici tarafından kabul görecektir [53]. Çok kriterli ölçüm için uzlaşık sıralamanın temelini, uzlaşık programlamada toplama fonksiyonu olarak kullanılan  $L_p$  ölçütü oluşturur [53].  $J$  tane alternatifin  $a_1, a_2, \dots, a_J$  şeklinde ifade edilmesi durumunda  $a_j$  alternatifinin  $i$  kriterine göre değerlendirme sonucu  $f_{ij}$  olarak ifade edilir. VIKOR yönteminin temelini  $L_p$  ölçütünün aşağıdaki şekilde oluşturulmaktadır.

$$L_{pj} = \left\{ \sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)]^p \right\}^{1/p} \quad 1 \leq p \leq \infty ; j = 1, 2, \dots, J \quad (3.36)$$

burada  $n$  kriter sayısını göstermektedir. VIKOR yönteminde  $L_{ij}$  (Eşitlik 3.38'teki  $S_j$ ) ve  $L_{\infty j}$  (Eşitlik 3.39'teki  $R_j$ ) sıralama ölçütünü oluşturmakta kullanılır. Maksimum grup faydasını ( $\min_j R_j$ )'den elde edilen sonuç ve karşıt görüştekilerin minimum kişisel pişmanlığın ( $\min_j R_j$ )'den elde edilen sonuç gösterir [61]. VIKOR yönteminde verilen alternatif kümesi için bir sıralamaya ulaşılır. Bu alternatif kümesine bir alternatifin eklenmesi ya da çıkarılması sonucu etkileyecektir. Uzlaşık çözüm  $F_c$ , ideal çözüme  $F^*$ 'a en yakın uygun çözümdür. Uzlaşık terimi, anlaşmanın karşılıklı kabulü anlamına gelmektedir ve  $\Delta f_1 = f_1^* - f_1^c$  ;  $\Delta f_2 = f_2^* - f_2^c$  ile ifade edilmektedir [37]. VIKOR yöntemini Taguchi yöntemiyle birlikte uygulama adımları aşağıda verilmektedir.

**Adım 1.** Uygun Taguchi deney tasarımı ile deneylerin uygulanması ve deney sonuçlarının elde edilmesi.

**Adım 2.** Amaca uygun S/N oranları Bölüm 3.1.1.1'de Eşitlik (3.1)-(3.5) kullanılarak hesaplanır. Uygulamanın bundan sonraki kısımları deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler için de uygulanabilir.

**Adım 3.** Her kriterin (birden fazla performans yanıtı için  $d$  hesaplanan S/N oranları) en iyi ( $f_i^*$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) değerler belirlenir. Fayda kriteri için Eşitlik (3.37) kullanılır.

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad f_i^- = \min_j f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.37)$$

**Adım 4.**  $S_j$  ve  $R_j$  değerleri  $j = 1, 2, \dots, J$  için hesaplanır.  $S_j$  ve  $R_j$  değerleri,  $j$ . alternatif için ortalama ve en kötü grup skorlarını gösterir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (3.38)$$

$$R_j = \max[w_i(f_i^* - f_{ij})/(f_i^* - f_i^-)] \quad (3.39)$$

Burada  $w_i$  göreceli önemleri gösteren kriter ağırlıklarını ifade etmektedir. Ağırlıklar toplamı 1'e eşit olacaktır.

**Adım 5.**  $Q_j$  değerleri tüm  $j= 1,2,\dots,J$  için belirlenir (Eşitlik 3.40).

$$Q_j = v(S_j - S^*)/(S^- - S^*) + (1 - v)(R_j - R^*)/(R^- - R^*) \quad (3.40)$$

Burada;  $S^* = \min_j S_j$ ;  $S^- = \max_j S_j$ ;  $R^* = \min_j R_j$ ;  $R^- = \max_j R_j$ ;  $v$  değeri ise kriterlerin ağırlığını (maksimum grup faydasını) göstermektedir. Başka bir deyişle “ $v$ ” değeri maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken,  $(1-v)$  karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir [53]. Uzlaşma, “çoğunluk oyu” ( $v > 0,5$ ) ile, “konsensus” ( $v = 0,5$ ) ile veya veto” ( $v < 0,5$ ) ile sağlanabilir [44].

**Adım 6.**  $S$ ,  $R$  ve  $Q$  değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatifler arasındaki sıralama belirlenir.  $Q$  değerlerine göre oluşturulmuş sıralama yanıt olarak alınır [37]. VIKOR metodunda diğer metodlardan farklı olarak alternatiflerin sıralamasında ki en düşük değer en iyi faktör seviyelerini sağlamaktadır.

**Adım 7.** Bir önceki adımda alternatifler sıralandıktan sonra Taguchi yöntemi prensiplerine göre faktör seviyelerinin ortalama yanıtları VIKOR indeksini minimize edecek şekilde hesaplanır. Örnek olarak L8 tasarımda faktör A'nın 1.seviyesi için ortalama değer Eşitlik (3.41) ile hesaplanabilir.

$$M_{A1} = \frac{1}{4}(Q_1^* + Q_2^* + Q_3^* + Q_4^*) \quad (3.41)$$

Yukarıda uygulama adımlarına yer verilen GRA, TOPSIS, MOORA ve VIKOR metodları sırasıyla çamaşır makinesinin iki yanıtı ses düzeyi karakteristiğinin iyileştirilmesi amacıyla uygulanarak en iyi faktör seviyeleri elde edilmiştir. Uygulama sonuçları bir sonraki bölümde detaylı olarak verilmektedir.



## 4. ÇAMAŞIR MAKİNESİ ÜRÜN TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ

### 4.1 Yıkama Performansının İyileştirilmesi

Çamaşır Makinesinin kalite karakteristiği için kullanılan “yıkama performansı indeksi”, sektördeki tüm firmaların kullanmakta olduğu; süre, yük miktarı, su miktarı, enerji vb faktörlerin farklı değerlerinde çamaşır makinesinin leke şeritlerindeki lekelerin ne kadarını çıkardığını belirleyerek elde edilen referans verilerle oluşturulmuş bir indekstir. Firmanın çeşitli koşullarda ürüne yapmış olduğu testler sonucunda elde edilen veriler ile referans veriler için varyanslar bulunduktan sonra bu varyanslar karşılaştırılmakta ve indeks değerleri elde edilmektedir. Çizelge 4.1’de başlangıç değeri 1.110 olan yıkama performansı kalite karakteristiğine etki eden 3 adet faktör ve bunların seviyeleri yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Çamaşır makinesi yıkama performansına etkiyen faktörler ve seviyeleri

<b>FAKTÖRLER</b>	<b>SEVİYE 1</b>	<b>SEVİYE 2</b>	<b>SEVİYE 3</b>
A) SU MİKTARI (lt)	13	15	18
B)YÜK MİKTARI (kg)	5	6	8
C)YIKAMASÜRESİ (dk)	100	120	150

Her biri 3’er seviyeli 3 faktör için Bölüm 3.1.1.1’deki Çizelge 3.1’den L9 Taguchi Tasarımı seçilmiştir. L9 tasarımındaki faktör seviyeleri kullanılarak yapılan deneyler sonucunda elde edilen yıkama performansı ortalama değerleri ve “en büyük en iyi” durumu için hesaplanan S/N oranları aşağıdaki Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2 Yıkama performansı L9 Taguchi tasarımı faktör kombinasyonları, ortalama performans değerleri ve S/N oranları

Senaryo	A	B	C	Yıkama Performansı Ortalama İndeks Değerleri	S/N oranları
1	1	1	1	1.110	0.90646
2	1	2	2	1.140	1.13810
3	1	3	3	1.100	0.82785
4	2	1	2	1.160	1.28916
5	2	2	3	1.160	1.28916
6	2	3	1	1.090	0.74853
7	3	1	3	1.140	1.13810
8	3	2	1	1.110	0.90646
9	3	3	2	1.090	0.74853

Yıkama performansı için hesaplanan S/N oranı ve ortalamalar için varyans analizi sonuçları Çizelge (4.3)-(4.6)'da sunulmaktadır. S/N oranları baz alındığında %95 güven düzeyinde A, B ve C faktörlerinin üçünün de sonuçlar üzerinde etkili faktörler olduğu ( $p < 0.05$ ) görülmektedir (Çizelge 4.4). Diğer yönden, ortalama değerler kullanılarak gerçekleştirilen Taguchi yöntemi çözümlerinde de yine A, B ve C faktörlerinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6). Ayrıca her iki model için elde edilen  $R^2$  değerlerinin sırasıyla %98.5 ve %98.6 olarak elde edildiği görülmektedir (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.5). Bu sonuç her iki modelin de geçerli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3 Yıkama performansına ait S/N oranları için tahmini model katsayıları

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.99915	0.008884	112.465	0.000
A 1	-0.04168	0.012564	-3.317	0.080
A 2	0.10980	0.012564	8.739	0.013
B 1	0.11209	0.012564	8.921	0.012
B 2	0.11209	0.012564	8.921	0.012
C 1	-0.14533	0.012564	-11.567	0.007
C 2	0.05945	0.012564	4.731	0.042

S = 0.02665 R-Sq = 99.6% R-Sq(adj) = 98.5%

Çizelge 4.4 Yıkama performansına ait S/N oranları için varyans analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.055301	0.055301	0.027651	38.93	0.025
B	2	0.226152	0.226152	0.113076	159.19	0.006
C	2	0.096097	0.096097	0.048048	67.64	0.015
Residual Error	2	0.001421	0.001421	0.000710		
Total	8	0.378970				

Çizelge 4.5 Yıkama performansına ait ortalama değerler için tahmini model katsayıları

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.12222	0.001111	1010.000	0.000
A 1	-0.00556	0.001571	-3.536	0.072
A 2	0.01444	0.001571	9.192	0.012
B 1	0.01444	0.001571	9.192	0.012
B 2	0.01444	0.001571	9.192	0.012
C 1	-0.01889	0.001571	-12.021	0.007
C 2	0.00778	0.001571	4.950	0.038

S = 0.003333 R-Sq = 99.7% R-Sq(adj) = 98.6%

Çizelge 4.6 Yıkama performansına ait ortalama değerler için varyans analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.000956	0.000956	0.000478	43.00	0.023
B	2	0.003756	0.003756	0.001878	169.00	0.006
C	2	0.001622	0.001622	0.000811	73.00	0.014
Residual Error	2	0.000022	0.000022	0.000011		
Total	8	0.006356				

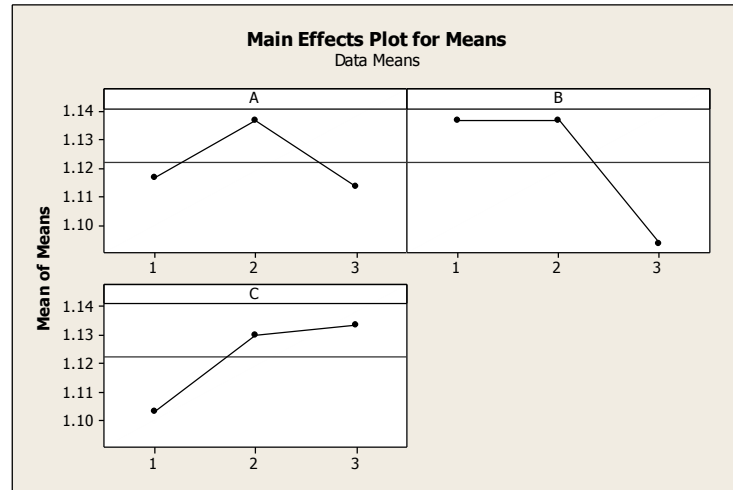
Çizelge 4.7 ve 4.8’de Taguchi yöntemi uygulaması sonucu elde edilen faktör seviyeleri verilmektedir. S/N oranları ve ortalamalar için verilen yanıt çizelgesinden (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8) ve ana etki (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2) grafiklerinden de görüldüğü gibi en iyi faktör kombinasyonları A2B2C3 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.7 Yıkama performansı  
en büyük en iyi  
durumu için S/N  
oranı yanıt tablosu

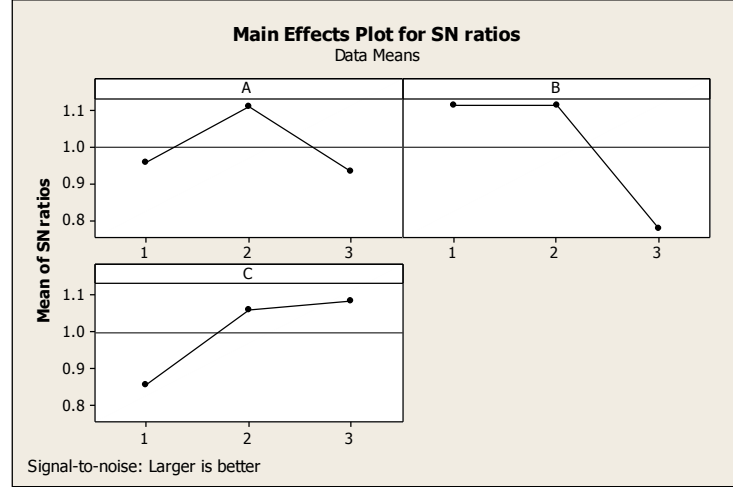
Aşama	A	B	C
1	0.9575	1.1112	0.8538
2	<b>1.1089</b>	<b>1.1112</b>	1.0586
3	0.9310	0.7750	<b>1.0850</b>
Delta	0.1779	0.3363	0.2312
Rank	3	1	2

Çizelge 4.8 Yıkama performansı  
için ortalama  
değerler yanıt tablosu

Aşama	A	B	C
1	1.117	1.137	1.103
2	<b>1.137</b>	<b>1.137</b>	1.130
3	1.113	1.093	<b>1.133</b>
Delta	0.023	0.043	0.030
Rank	3	1	2



Şekil 4.1 Yıkama performansı ortalama değerler için ana etkiler



Şekil 4.2 Yıkama performansı S/N oranları için ana etkiler

## 4.2 Ses Düzeyinin İyileştirilmesi

Çamaşır makinesinin ses düzeyi için önceki bölümlerde de değinildiği gibi “makinenin rezonansa girdiği sıkma devri” ve “ makinenin ses gücü” olarak tanımlanan 2 adet performans yanıtı tanımlanmaktadır. Çamaşır makinesinin farklı tasarım özellikleri her iki yanıtı da etkileyebilmektedir. Gövde kalınlığı ve gövde yan panel derinliğini artırarak makinenin rezonansa girdiği devir yukarı çekilmektedir (Örneğin 1600 devrin üzerine). Makinenin rezonansa girdiği sıkma devrinin yüksek olması ses düzeyi için oldukça önemlidir. Çünkü makine rezonansa girerek aşırı titreşim yaptığı zaman, ön kapağın tutamağından, ısıtıcısına kadar her yeri ses yapabilmektedir.

Motor izolasyonunda, motor üzerine konan polimer bazlı bir folyo ile ses düzeyi düşürülmeye çalışılmaktadır. Döner parçalarda pürüzlülük ne kadar azalır, ses de o kadar düşmektedir. Burada pürüzlülüğü çok düşük bir parça ile mükemmel yakın bir ses seviyesi yakalamak mümkündür. Ancak bu motorun ömrünün kısa olması anlamına geleceği gibi, çamaşır makinesinde bu kadar pahalı bir izolasyon parçası kullanmak faydalı değildir. Firmanın üretimde kullandığı iki farklı izolasyon malzemesi (A tipi, B tipi) bulunmaktadır.

Kayış üretim süreci ise oldukça zordur. Özellikle kayış kalınlığını dar tolerans aralıklarında tutmak imkansızlaşmaktadır. Bu sebeple geniş gözükten kalınlık toleransında üst toleransa sapmalar sesi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle kayış kalınlığının olabildiğince nominalde tutulması gerekmektedir. Bu açıklamalar doğrultusunda ses düzeyine etki eden faktörlere ilişkin seviyeler Çizelge 4.9’da verildiği şekilde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9 Çamaşır makinesinin ses düzeyine etki eden faktörler ve seviyeleri

FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 2
A) GÖVDE YAN PANEL DERİNLİĞİ	ESKİ TIP	YENİ TIP
B)GÖVDE KALINLIĞI	0.7 mm	0.9 mm
C) MOTOR İZOLASYON TIPI	A TIPI	B TIPI
D) KAYIŞ KALINLIĞI	NOMİNAL DEĞER	ÜST TOLERANS DEĞERİ

Ses düzeyine ait iki yanıtın ÇKKV yöntemlerinden faydalanılarak teke indirgenebilmesi için iki yanıtın önem derecelerine göre ağırlıklandırılması gerekmektedir. Firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda makinenin ses gücü için kriter ağırlığı  $W_1=0.7$  ve makinenin rezonansa girdiği sıkma devri içinse kriter ağırlığı  $W_2=0.3$  olarak tespit edilmiştir.

Her biri iki seviyeli dört faktörlü çamaşır makinesinin ses gücü performansı için Bölüm 3.1.1.1’deki Çizelge 3.1’den uygun tasarım olarak L8 ortogonal dizi seçilmiştir. Faktör kombinasyonları ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda çamaşır makinesinin ses düzeyi ve rezonansa girdiği sıkma devri için 10 denemeye ait verilerin ortalama değerleri ve S/N oranları hesaplanmıştır (Çizelge 4.10). S/N hesaplamalarında ses düzeyi için “en küçük en iyi”, makinenin rezonansa girdiği sıkma devri içinse “en büyük en iyi” koşulu dikkate alınmıştır. Ardından çalışmanın bir önceki bölümünde ayrıntılı olarak uygulama adımları

verilen ÇKKV yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak hem ortalamalar hem de S/N oranları için iki adet performans yanıtı tek bir yanıtla dönüştürülmüş ve böylece problem tek yanıtla bir eniyileme problemi haline getirilmiştir (Çizelge 4.11). Ardından tek yanıtla problem Taguchi yöntemi prensiplerine uygun olarak çözümlenerek her yöntem için en iyi faktör seviyeleri elde edilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.10 Ses düzeyi L8 Taguchi tasarımı, faktör kombinasyonları, ortalama performans değerleri ve S/N oranları

Senaryo	Faktör Kombinasyonları (L8)				Ortalama değerler		S/N oranları	
	A	B	C	D	ses gücü (dBA)	rezonansa girilen sıkma devri (d/d)	ses gücü (dBA)	rezonansa girdiği sıkma devri(d/d)
	1	1	1	1	1	63.70	1320	-36.08
2	1	1	2	2	64.30	1305	-36.16	62.31
3	1	2	1	2	57.40	1470	-35.18	63.35
4	1	2	2	1	57.10	1470	-35.13	63.35
5	2	1	1	2	59.60	1410	-35.50	62.98
6	2	1	2	1	59.70	1380	-35.52	62.80
7	2	2	1	1	51.00	1680	-34.15	64.51
8	2	2	2	2	52.00	1620	-34.32	64.19

Çizelge 4.11 ÇKKV yöntemleri uygulanarak iki yanıtla problemin tek yanıtla probleme dönüştürülmesi

Senaryo	ÇKKV Yöntemleri								
	GRA Ort.	GRA S/N	TOPSIS Vektör N. (TVN)	TOPSIS Doğrusal N. (TDN)	TOPSIS Standart Yöntem (TS)	MOORA Ort.	MOORA S/N	VIKOR Ort.	VIKOR S/N
1	0.5180	0.3429	0,2710	0,3048	0.0408	-0.1748	0.1357	0.9557	0.9588
2	0.5330	0.3333	0,2660	0,3000	0.0000	-0.1784	0.1351	1.0000	1.0000
3	0.5160	0.4923	0,5526	0,5543	0.4887	-0.1371	0.1421	0.4930	0.5129
4	0.5250	0.5002	0,5724	0,5732	0.5098	-0.1359	0.1422	0.4738	0.4937
5	0.4980	0.4242	0,4263	0,4407	0.3262	-0.1508	0.1397	0.6576	0.6756
6	0.5180	0.4140	0,4299	0,4471	0.3145	-0.1534	0.1389	0.6760	0.6945
7	<b>0.8000</b>	<b>1.0000</b>	0,7340	0,7000	<b>1.0000</b>	<b>-0.0947</b>	<b>0.1497</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
8	0.7200	0.8325	<b>0,7536</b>	<b>0,7227</b>	0.9113	-0.1033	0.1480	0.0879	0.0928

Çizelge 4.12 ÇKKV Yöntem uygulamaları sonucu elde edilen en iyi faktör seviyeleri

FAKTÖRLER	GRA ORT.		GRA S/N		TOPSIS VEKTÖR NORM. (TVN)		TOPSIS DOĞRUSAL NORM. (TDN)		TOPSIS STANDART (TS)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
A	0.5231	<b>0.6338</b>	0.4172	<b>0.6677</b>	0.4155	<b>0.5860</b>	0.4331	<b>0.5776</b>	0.2599	<b>0.6380</b>
B	0.5166	<b>0.6403</b>	0.3786	<b>0.7063</b>	0.3483	<b>0.6532</b>	0.3732	<b>0.6376</b>	0.1704	<b>0.7275</b>
C	<b>0.5830</b>	0.5739	<b>0.5649</b>	0.5200	0.4960	<b>0.5055</b>	0.4999	<b>0.5108</b>	<b>0.4639</b>	0.4339
D	<b>0.5901</b>	0.5669	<b>0.5643</b>	0.5206	<b>0.5018</b>	0.4996	<b>0.5063</b>	0.5044	<b>0.4663</b>	0.4316
FAKTÖRLER	MOORA ORT.		MOORA S/N		VIKOR ORT.		VIKOR S/N			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
A	-0.1566	<b>-0.1256</b>	0.1338	<b>0.1441</b>	0.7306	<b>0.3554</b>	0.7414		<b>0.3658</b>	
B	-0.1644	<b>-0.1178</b>	0.1374	<b>0.1455</b>	0.8223	<b>0.2637</b>	0.8323		<b>0.2749</b>	
C	<b>-0.1394</b>	-0.1428	<b>0.1418</b>	0.1411	<b>0.5266</b>	0.5594	<b>0.5368</b>			0.5703
D	<b>-0.1397</b>	-0.1424	<b>0.1416</b>	0.1412	<b>0.5264</b>	0.5596	<b>0.5368</b>			0.5703

Farklı ÇKKV yöntemlerinin uygulaması sonucunda GRA, Standart TOPSIS, MOORA ve VIKOR yöntemleri ile aynı sonuçlar (faktör seviyeleri) elde edilirken vektör normalizasyonu ve doğrusal normalizasyon uygulanan TOPSIS yönteminden elde edilen faktör seviyeleri diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlardan biraz farklıdır (Çizelge 4.13). GRA, Standart TOPSIS, MOORA ve VIKOR yöntemleri ile en iyi faktör seviyeleri A2B2C1D1 kombinasyonu ile ses seviyesi 51 dBA ve rezonansa girilen sıkma devri 1680 devir olarak tespit edilmektedir. Vektör normalizasyonu ve doğrusal normalizasyon uygulanan TOPSIS yöntemiyle ise A2B2C2D1 kombinasyonu en iyi faktör seviyelerini vermektedir. Bu faktör seviyelerinde ise, ses seviyesi 51.6 dBA ve rezonansa girilen sıkma devri 1650 devir olarak tespit edilmektedir.



Çizelge 4.13 Ses düzeyi için ÇKKV-Taguchi yöntemi uygulamalarının sonuçları

Yöntem	Faktörler ve seviyeleri				Performans Yanıtları		S/N oranları	
	A	B	C	D	Y1	Y2	S/N1	S/N2
GRA	2	2	1	1	51.00	1680	-34.15	64.51
TOPSIS (TVN-TDN)	2	2	2	1	51.60	1650	-34.25	64.35
TOPSIS (TS)	2	2	1	1	51.00	1680	-34.15	64.51
MOORA	2	2	1	1	51.00	1680	-34.15	64.51
VİKOR	2	2	1	1	51.00	1680	-34.15	64.51

## 5. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu bölümünde her iki kalite karakteristiği için başlangıç koşulları ile uygulama sonucunda elde edilen en iyi faktör seviyeleri için bulunan sonuçlar arasındaki kıyaslamalara ve duyarlılık analizlerine yer verilmiştir. Yıkama performansı indeksi için başlangıç koşulu 1.110 iken Taguchi L9 ortogonal dizi uygulaması ile elde edilen A2B2C3 kombinasyonu ile yıkama performansı indeksi 1.160 olarak elde edilmektedir. Bu indeksteki iyileşme miktarı ortalama değerler için %4.5, S/N oranları içinse 0.38 dB'dir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Yıkama performansı için Taguchi yöntemi uygulama sonuçları ve elde edilen iyileşme düzeyi

Yanıt	Başlangıç Koşulu	En İyi Koşul	İyileşme
Yıkama Performansı	1.110	1.160	%4.5
Yıkama Performansı (S/N)	0.91 dB	1.29 dB	0.38 dB

Ses düzeyi performans yanıtları için başlangıç koşulları, ses gücü için 72.5 dBA ve makinenin rezonansa girdiği sıkma devri için 1000 d/d olarak bilinmektedir. ÇKKV yöntemleri tabanlı Taguchi L8 tasarımı uygulaması ile elde edilen faktör kombinasyonları ile yeni değerler elde edilmiştir (Çizelge 5.2). En iyi iyileşme düzeyi GRA, Standart TOPSIS, MOORA, ve VIKOR metodları sonuçlarında elde edilmiştir (ses gücü ortalama değerler için %29,66, S/N oranları için 3.06 dB; rezonansa girilen sıkma devri ortalama değerler için için %68, S/N oranları için 4.51 dB). TOPSIS yöntemiyle vektör normalizasyonu ve doğrusal normalizasyon kullanılarak elde edilen sonuçlardaki iyileşme düzeyi ise diğer yöntemlere göre daha azdır (sırasıyla %28.8; 2.96 dB ve %65; 4.35 dB) (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.2 Ses düzeyi için ÇKKV yöntemleri ile Taguchi Yöntemi uygulama sonuçları

Yanıt	Başlangıç Koşulu	ÇKKV Yöntemleri				
		GRA	TOPSIS (TS)	TOPSIS (TVN-TDN)	MOORA	VIKOR
<b>Ses Düzeyi (Ortalama) (dB)</b>	<b>72.5</b>	<b>51.00</b>	<b>51.00</b>	<b>51.60</b>	<b>51.00</b>	<b>51.00</b>
Ses Düzeyi (S/N) (dB)	-37.21	-34.15	-34.15	-34.25	-34.15	-34.15
<b>Makinenin rezonansa girdiği sıkma devri (Ortalama) (d/d)</b>	<b>1000</b>	<b>1680</b>	<b>1680</b>	<b>1650</b>	<b>1680</b>	<b>1680</b>
Makinenin rezonansa girdiği sıkma devri (S/N) (dB)	60.00	64.51	64.51	64.35	64.51	64.51

Çizelge 5.3 Ses düzeyi için ÇKKV yöntemleri ve Taguchi tasarımı uygulaması ile elde edilen iyileşme miktarları

Yanıt	ÇKKV Yöntemleri				
	GRA	TOPSIS (TS)	TOPSIS (TVN-TDN)	MOORA	VIKOR
<b>Ses Seviyesi (ortalama değer)</b>	<b>%29.66</b>	<b>%29.66</b>	<b>%28.80</b>	<b>%29.66</b>	<b>%29.66</b>
Ses Seviyesi (S/N oranı)	3.06 dB	3.06 dB	2.96 dB	3.06 dB	3.06 dB
<b>Makinenin rezonansa Girdiği sıkma Devri (ortalama değer)</b>	<b>%68</b>	<b>%68</b>	<b>%65</b>	<b>%68</b>	<b>%68</b>
Makinenin rezonansa Girdiği sıkma Devri (S/N oranı)	4.51 dB	4.51 dB	4.35 dB	4.51 dB	4.51 dB

İki yanıtli ses düzeyi kalite karakteristiğine uygulanan ÇKKV metotlarında makinenin ses gücü ve rezonansa girdiği sıkma devri yanıtlarının önem derecesini belirlemede kullanılan ağırlıklar değiştirilerek, sonuçlarında bir değişiklik olup olmadığına bakılmak suretiyle duyarlılık analizi de gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.4'de görüldüğü üzere, ÇKKV yöntemleri için ağırlıklar tezdeki uygulamadan farklı olarak  $W_1=0.3$  ve  $W_2=0.7$  ve  $W_1=0.5$  ve  $W_2=0.5$  olarak alınarak en iyi faktör seviyeleri yeniden belirlenmiş ve tezde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Buna göre yapılan hesaplamalarda, ağırlıkların makinenin ses gücü için  $W_1=0.7$  ve rezonansa girdiği sıkma devri için  $W_2=0.3$  olarak alındığı durum dışındaki diğer alternatiflerde daha iyi bir çözüm elde edilememiştir.

Çizelge 5.4 Farklı yanıt ağırlıkları ile uygulanan duyarlılık analizi sonuçları

YÖNTEMLER	AĞIRLIKLAR		FAKTÖR SEVİYELERİ	SES GÜCÜ (dBA) ORT.	SES GÜCÜ (dBA) S/N	REZONANSA GİRDİĞİ SIKMA DEVRİ (d/d) ORT.	REZONANSA GİRDİĞİ SIKMA DEVRİ (d/d) S/N
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>					
GRA	0.3	0.7	A1B1C2D1	64.00	-36.12	1327	62.46
	0.5	0.5	A2B1C2D1	59.7	-35.52	1380	62.80
	0.7	0.3	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
TOPSIS (TVN-TDN)	0.3	0.7	A1B1C2D1	64,00	-36.12	1327	62.46
	0.5	0.5	A2B2C2D1	51.6	-34.25	1650	64.35
	0.7	0.3	<b>A2B2C2D1</b>	<b>51.6</b>	<b>-34.25</b>	<b>1650</b>	<b>64.35</b>
TOPSIS(TS)	0.3	0.7	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
	0.5	0.5	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
	0.7	0.3	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
MOORA	0.3	0.7	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
	0.5	0.5	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
	0.7	0.3	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
VIKOR	0.3	0.7	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
	0.5	0.5	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>
	0.7	0.3	<b>A2B2C1D1</b>	<b>51,00</b>	<b>-34.15</b>	<b>1680</b>	<b>64.51</b>

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çamaşır makinesi üretimi yapan bir işletmede, ürünün kalite karakteristiklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Ürünün kalite karakteristiklerine etki eden faktörler belirlenmiş ve tek yanıtı kalite karakteristiği olan yıkama performansı için Taguchi yöntemi uygulanırken, iki yanıtı ses düzeyi kalite karakteristiği için ÇKKV yöntemleri ile Taguchi yöntemi birlikte kullanılarak ürün kalitesini en iyi duruma getiren faktör seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda öncelikle ürün kalite karakteristiğine etki eden faktörler ve seviyeleri belirlenmiştir. 3 seviyeli 3 faktörlü yıkama performansı için L9 ortogonal dizi kullanılırken, 2 seviyeli 4 faktörlü ses düzeyi için L8 ortogonal dizi kullanılmıştır. Böylece faktöriyel tasarımda, yıkama performansı için  $3^3=27$  adet, ses düzeyi içinse  $2^4=16$  deney yapılması yerine Taguchi yöntemiyle sırası ile 9 ve 8 adet deney yapılmıştır.

Yıkama performansı kalite karakteristiği üzerinde önemli etkisi olan faktörleri belirleyebilmek için MINITAB 15 paket programı kullanılarak ANOVA (varyans) analizi yapılmıştır. ANOVA analizi sonucunda yıkama performansı üzerinde A,B ve C faktörlerinin üçünün de etkili olduğu görülmüştür. Faktör seviyelerinin en iyi değerlerini bulabilmek içinse yıkama performansı kalite karakteristiği için Taguchi yöntemi ile A2B2C3 faktör seviyelerinin en iyi değeri verebileceği tahmin edilmiştir. İki yanıtı es düzeyi kalite karakteristiği için ÇKKV yöntemleri ile Taguchi yöntemi birlikte kullanılmıştır. ÇKKV yöntemlerinden GRA, MOORA TOPSIS (standart uygulama) ve VIKOR yöntemleri ile A2B2C1D1 faktör seviyeleri ile en iyi sonuca ulaşılırken, TOPSIS yönteminde vektör normalizasyonu ve doğrusal normalizasyona göre elde edilen sonuçlarda A2B2C2D1 kombinasyonu ile en iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. Her iki kalite karakteristiği için başlangıç koşullarına göre önemli düzeyde iyileşmeler elde edilebilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda çok yanıtı ürün kalite karakteristiğinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesinde GRA, TOPSIS, MOORA, VIKOR metotlarının kullanışlı olduğu görülmektedir. İleriki çalışmalarda çok yanıtı tasarım problemlerinde Çok Kriterli

Karar Verme yöntemleri ile Taguchi yöntemi uygulaması imalat, finans ve hizmet sektörlerindeki farklı problemlere uygulanabilir.

Çalışmada Taguchi yöntemiyle birlikte GRA, TOPSIS, MOORA, VIKOR metotlarının kullanılması çok yanıtli problemin tek yanıtli probleme indirerek eniyilenmesinde önemli kolaylıklar sağlamaktadır. İleriki dönemki çalışmalarda tez kapsamında kullanılmayan diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinin benzer problemlerin çözümünde Taguchi yöntemi ile birlikte uygulanmaları üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulama ve analizlerde MINITAB 15 paket programından faydalanılmıştır. Böylelikle probleme uygun çözümler istatistiksel analizler ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Şirvancı, M., Kalite için deney tasarımı, Literatür yayınları, 110s, İstanbul, 1997.
- [2] Scheffler, E., Statische versychnplanung und austwertung, Eine Einführung in die Praxis der statistischen Versuchplanunug, Deutscher Verlog für Grund staffindustrie Stuttgard, ISBN 3-342-00366-9, 1-50, 1997.
- [3] Besterfield, D.H., Besterfield, C., Besterfield, G.H., Besterfield, M., Total quality management, Prentice Hall Inc., New Jersey,1995.
- [4] Lunani, M., Nair, V.N., Wasserman, G.S., Graphical metods for robust design with dynamic characteristics, Journal of Quality Technology, Vol.29,327-338, 1997.
- [5] Montgomery, D.C., Design and analysis of experiment, John Wiley& Sons, Newyork,1991.
- [6] Ranjit, K.R., A primer on the Taguchi method: Van Nostrand Reinhold,1990.
- [7] Güral,G.,Gaz Kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu,Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Eylül, İzmir, 2003.
- [8] Gökçe G,Taşgetiren S., Kalite için Deney Tasarımı Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi” .Cilt:6,No:1 (71-83), 2009.
- [9] Ross, W., Sykes, S., Optimization of a hot-stamping process, American supplier institute inc., Michigan,1989.
- [10] Dovey, S.J., Matthews, A., Taguchi and TQM quality issues for surface engineered applications, Research Centre in Surface Engineering, University of Hull, Surface and Coatings Technology Hull, 1998.

- [11] Yang, W.H., Tarn, Y.S., Design optimization of cutting parameters for turning based on Taguchi Method, Journal of Materials Processing Technology, Taiwan, 1998.
- [12] Kağnıcıoğlu, C.H., Üretim öncesi kalite kontrolünde Taguchi yöntemi ve kükürtdioksit giderici sitrat yöntemine uygulanması, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 216s., 1998..
- [13] Ke, C.Y., Chang, C.L., Ju, J.J., Huang, D.R., Huang, R.S., “A Magnetic Design for a Slim Type DVD Actuator”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 239, 604-606,2002.
- [14] Ghani, J.A., Choudhury, I.A., Hassan, H.H. Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. Journal of Materials Processing Technology Vol 145 84–92, 2004.
- [15] Baynal, Kasım, Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama, İÜ Sosyal Bilimler Ens., Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul, 2003.
- [16] Baynal, K., Çok yanıtlı kalite karakteristiklerinin eş zamanlı en iyilenmesinde Taguchi Yöntemi ve otomatik endüstrisinde bir uygulama, Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:16, Sayı:2,2003.
- [17] Canıyılmaz, E., Kutay, F., Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt:18, No:3, 51-63, 2003.
- [18] Akyalçın, L., Kaytakoğlu, S., Sitrat prosesiyle SO<sub>2</sub> gideriminde optimum şartların belirlenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 8, 2005.
- [19] Bilişik, M.T., Gençyılmaz, G., Hizmet kalitesinin iyileştirilmesinde deneysel



tasarım metodu, İstanbul Kültür Üniversitesi, VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 2006.

[20] Kopaj, J., Krajnik, P., Robust design of flank milling parameters based grey-Taguchi method. Journal of Material Processing Technology Vol.191, 400-403, 2007.

[21] Durmaz, S., Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 150s, 2008.

[22] Soner, S., Önüt, S., Multi-Criteria Supplier Selection: An ELECTRE-AHP Application, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:4, s.110-120,2006.

[23] Jayaram,J.S.R., Ibrahim,Y., Quality Note: Robustness for Multiple Response Problems Using a Loss Model, Int.Journal of Quality Science”, Vol.2, No.3,199-205, 1997.

[24] Karakaşoğlu, N., Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2008.

[25] Ulucan A.,Yöneylem Araştırması, Siyasal Kitabevi, Ankara,2004.

[26] Ballı, S., Fuzzy Çok Kriterli Karar Verme ve Basketbolda Oyuncu Seçimine Uygulanması (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2005.

[27] Polat, D. Ş. ,Askeri Helikopter Alımı Problemine Analitik Hiyerarşi Metodu ile Bir Yaklaşım (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,2000.

[28] Menteş, A.,Manevra ve Sevk Sistemi Seçiminde Bulanık Çok Kriterli

Karar Verme (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2000.

[29] Doğan M., İşletmelerde Karar Verme Teknikleri, Bilgehan Basımevi, İzmir,1985.

[30] Lai Y. J., Hwang C. L.,Fuzzy Multiple Objective Decision Making, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg,1996.

[31] Dağdeviren M., Eraslan E., Kurt M., Makina Seçimi Problemi için TOPSIS, AHP, ELECTRE ve PROMETHEE Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Bir Analiz,Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, s.562-567,İzmir,2007.

[32] Triantaphyllou, E., Shu B., Sanchez S. N. ve Ray, T. ; “Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach”, Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering; John Wiley & Sons, Vol. 15, 175-186, 1998.

[33] Hsu, C.I. and Wen, Y.H., Application of Grey Theory and Multiobjective Programming Towards Airline Network Design, European Journal of Operational Research, 127(1), p.p. 44-68, 2000.

[34] Lin,J.L. and Lin, C.L., The use ofthe orthogonal array with grey relational analysis to optimize the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics. International journal of Machine Tool and Manufacturing,42(2),237-244, 2002.

[35] Tarng,T.S.,Juang, S.C. and Chang C.H., The use of Grey based Taguchi methodsto determine submerged arc welding process parameters in hardfacing. Journal of materialsprocessing Technology,128(1-3),1-6, 2002.

[36] Yurdakul,M., İÇ,Y.,T., Türk Otomotiv firmalarının performans ölçümü

ve Analizine yönelik TOPSİS Yöntemini kullanan bir Örnek, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 18, No 1,1-18, Ankara, 2003.

- [37] Opricovic, S., Tzeng, G.H., Compromise Solution by MCDM Methods: a Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156, p.445-455,2004.
- [38] Yang, T., Chou,P., Solving a multiresponse simulation-optimization problem with discrete variables using a multiple- attribute decision making method Institute of Manufacturing Engineering, National Cheng Kung University, *Mathematics and computers in Simulation* 68 (2005) 9-21,2004.
- [39] Brauers WKM., Optimization methods for a stakeholder society. A revolution in economic thinking by multiobjective optimization. Kluwer Academic Publishers, Boston,2004.
- [40] Palanikumar, K., Karunamoorthy, L., Karthikeyan, R., Multiple Performance Optimization of Machining Parameters on the Machining of GFRP Composites Using Carbide (K10) Tool, *Materials and Manufacturing Processes*, 21, p.p. 846–852, 2006.
- [41] Tong, L.I., Chen, C.C., Wang, C.H., Optimization of Multi-Response Processes Using the VIKOR Method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31, p.1049–1057,2007.
- [42] Liu, H., Yan, T., Bidding-Evaluation of Construction Projects Based on VIKOR Method, *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, Jinan, China, 2007.
- [43] Lu, H.S., Chang, C.K., Hwang, N.C., Chung, C.T., Grey Relational Analysis Coupled With Principal Component Analysis for Optimization Design of The Cutting Parameters in High-Speed End Milling, *Journal of Materials Processing Technology* 209, p.p. 3808–3817, 2009.

- [44] Ertuğrul İ., Karakaşoğlu N., Banka şube performanslarının VIKOR yöntemi ile değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, (Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:20, Sayı:1, sayfa: (19-28),2009.
- [45] Chakraborty, S., Applications of the MOORA Method for decision making in manufacturing environment, Int J Adv Manuf Technol, DOI 10.1007/s00170-010-2972-0, London, 2010.
- [46] Kuo, Y., Yang T., Huang G.W., The use of a grey based Taguchi method for optimizing multi response simulation problems, Engineering optimization vol 40. No.6, 517-528, Taiwan, 2008.
- [47] Liao H.C., Using PCR-TOPSIS to optimise Taguchi's multi response Problem, Int J Adv Technol (2003) 22:649-655 Doi 10.1007/s00170-002-1485-x, London, 2003.
- [48] Huang, J.T. and Liao, Y.S., Optimization of machining parameters of wire –EDM based on grey relational and statistical analyses. International Journal of Production Research, 41(8), 1707-1720, 2003.
- [49] Demiray, A., Makine Seçim Probleminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [50] Üstünişik, N.Z., Türkiye'deki iller ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelismislik Sıralaması Arastırması: Gri iliskisel Analiz Yöntemi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Haziran 2007.
- [51] Tosun N., Determination of Optimum Parameters for Multi-Performance Characteristics in Drilling by Using Grey Relational Analysis, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28, p.p. 450–455, 2006.
- [52] Yılmaz, E., Güngör, F., Gri İlişkisel Analiz Yöntemine göre farklı

sistemlerde optimum takım tutucusunun belirlenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İkinci Ulusal Tasarım İmalat ve analiz Kongresi , Balıkesir ,2010.

[53] Opricovic, S., Tzeng, G.H.,Extended VIKOR Method in Comparison with Other Outranking Methods.,European Journal of Operational Research, 178,p.514-529, 2007.

[54]Biswas S.A., Datta S., Bhaumik S.,Majumdar G., Application of VIKOR Based Taguchi Method for Multi Response Optimization: a case study in submerged arc welding(SAW), International Conference on Mechanical Engineering,ICME09-RT-35, 2009.

[55] Tong L.I., Chen C.C, Wang C.H., optimization of multi response processes using the VIKOR method, Int J Adv Manuf Technol, DOI 10.1007/s001 70-005-0284-6,2005.

