

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**ÇOK YANITLI PROBLEMLERE SÜREKLİ-SÜREKLİ
KALİTE KARAKTERİSTİKLERİ İÇİN DİNAMİK TAGUCHİ
YÖNTEMİ YAKLAŞIMI**

SAİME TAPHASANOĞLU

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

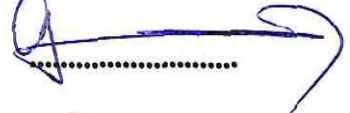
ÇOK YANITLI PROBLEMLERE SÜREKLİ-SÜREKLİ
KALİTE KARAKTERİSTİKLERİ İÇİN DİNAMİK TAGUCHİ
YÖNTEMİ YAKLAŞIMI

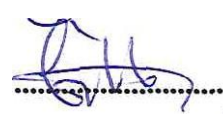
SAİME TAPHASANOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Yıldız ŞAHİN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Kasım BAYNAL
Eş Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Harun Reşit YAZGAN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi
Doç. Dr. Gülşen AKMAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Semra BORAN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Celal ÖZKALE
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi


.....

.....

.....

.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 17.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde ülkemizin ve dünyanın diğer tüm ülkelerinin ortak ve son derece önemli sorunlarının olduğu herkes tarafından kabul edilen bir gerçektir. Bu sorunlar dünyada sıcak ve soğuk savaşların, kitlesel ölümlerin ve sonu gelmez problemlerin temelini oluştururken kuvvetle muhtemeldir ki dünya bu sorunlar nedeniyle yok olup gidecektir. Artan dünya nüfusu, azalan kaynaklar, çevre kirliliği, tükenen hayvan ve bitki nesilleri, eriyen buzullar ve bitmeyen savaşlar bu sorunların sadece birkaçı olarak sıralanabilir. Tüm bu sorunlar, insan ve onun kurduğu düzenin yeni bir kalite anlayışı ile değiştirilmesiyle çözülebilir.

İkinci Dünya Savaşı sonrası yenilen ülkeler yaralarını sarmak amacıyla araştırma çalışmalarına ağırlık vermiştir. Bunlardan en dikkat çekici olan ülke savaştan en ağır yarayı alan Japonya'dır. Japon bir mühendis olan Dr. Genichi Taguchi savaş sonrası yaptığı kalite çalışmalarıyla Kalite Mühendisliği Sistemini (Robust Tasarımı / Taguchi Yöntemi) geliştirmiş ve 1980'li yıllarda ABD'de çalışmalarını devam ettirmiştir. "Kalite; üretim aşamasında değil, tasarım aşamasında sağlanmalı." temeline dayanan sistem yaygın bir şekilde uygulanmış ve tartışılmıştır. İstatistik ve kalitenin birlikte kullanıldığı Taguchi Yöntemi, statik ve dinamik olmak üzere tüm sistemlere uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada Dinamik Taguchi Yöntemi çok yanıtli karmaşık bir hat problemine ilk defa uygulanmış ve çok ölçütlü karar verme teknikleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma, hat kurucu ve ürün imalatçısı iki ayrı firmanın ortak katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Ürün kalitesinde ve üretim sisteminde yapılan iyileştirmeler sonucunda kurucu firma "İleri Teknoloji Üretici Firma" belgesini almaya hak kazanmıştır. Üretici firma ise yurt dışı pazar payını %23 oranında artırarak rakip firmalara karşı büyük avantaj elde etmiştir.

Çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve fikirleriyle desteklerini esirgemeyen danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Kasım BAYNAL'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yıldız Şahin'e, Doç Dr. Gülşen AKMAN'a, Doç. Dr. Semra BORAN'a teşekkür ediyorum. CSM Metalurji ve üretici firma çalışma ekibine, özellikle deney ölçümlerinde gösterdikleri sabır ve hassasiyet nedeniyle üretici firma kalite ekibine teşekkür ediyorum.

Ayrıca çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi beni destekleyen eşime, çalışma boyunca her türlü fedakârlığa katlanan ve beni cesaretlendiren sevgili çocuklarıma sonsuz teşekkür ediyorum.

Ocak - 2020

Saime TAPHASANOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	5
1.1. Taguchi Yöntemi ile Yurt İçinde Yapılan Akademik Çalışmalar	5
1.2. Taguchi Yöntemi ile Yurt Dışında Yapılan Akademik Çalışmalar	14
1.3. Kalite Kavramı	24
1.3.1. Kalitenin özellikleri	26
1.3.2. Üretim planlama ve kalite	26
1.3.3. Kalite maliyetleri	27
1.4. Kaliteyi Oluşturan Temel Bileşenler	29
1.4.1. Tasarım kalitesi	29
1.4.2. Uygunluk kalitesi	30
1.4.3. Performans kalitesi	30
1.5. Kaliteyi Etkileyen Faktörler	30
1.6. Kalite Kontrol.....	32
1.6.1. Kalite kontrolünde istatistiki yöntemlerin yeri ve önemi	33
1.6.2. Kalite kontrol modelleri.....	33
1.6.3. Kalite kontrolünde standartlar, spesifikasyonlar ve toleranslar	37
1.7. Toplam Kalite Kontrol	38
1.7.1. Toplam kalite kontrol ve sıfır hata.....	38
1.7.2. Toplam kalite kontrol anlayışının temel esasları	39
1.8. TKY: Toplam Kalite Yönetimi	40
1.8.1. TKY'nin temel özellikleri.....	41
1.8.2. TKY'nin ilkeleri	43
1.8.3. TKY'nde yararlanılan temel araçlar	44
2. DENEY TASARIMI.....	51
2.1. Deney Tasarımının Kullanım Amaçları ve Aşamaları	52
2.2. Deney Tasarım Yöntemleri	54
3. TAGUCHİ YÖNTEMİ	59
3.1. Kaliteli Mühendisliğin Eleştirilen Yönleri	60
3.2. Taguchi'ye Göre Kalite ve Verimlilik.....	62
3.2.1. Üretim planlama ve kalite	62
3.2.2. Kaliteli mühendislik için görev dağılımları	63
3.2.3. Kaliteli mühendislik ve bilim	66
3.3. Taguchi Yöntemi'nde Kullanılan Temel Kavramlar.....	66
3.3.1. P-diyagramı (ürün / proses diyagramı)	66
3.3.2. Off-line kalite kontrol	69

3.3.3. Ortogonal diziler	73
3.3.4. Taguchi kalite kayıp fonksiyonu.....	75
3.3.5. Sinyal / Gürültü (S/G) oranları	79
3.3.5.1. Daha küçük daha iyi durumu.....	82
3.3.5.2. Daha büyük daha iyi durumu	82
3.3.5.3. Nominal en iyi durumu.....	83
3.3.5.4. Sıralı kategorik yanıt	84
3.4. Taguchi Yöntemi'nin Dayandığı Temel Prensipler	84
4. TASARIM PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	88
4.1. Tek Yanıtlı Problemler	89
4.1.1. Tek yanıtlı statik problemler	89
4.1.2. Tek yanıtlı dinamik problemler	91
4.1.2.1. Sürekli-sürekli [continuous-continuous (C-C tipi)].....	94
4.1.2.2. Sürekli-dijital [continuous-digital (C-D tipi)]	97
4.1.2.3. Dijital-sürekli [digital-continuous (D-C tipi)]	97
4.1.2.4. Dijital-dijital [digital-digital (D-D tipi)].....	97
4.1.3. Yaşam iyileştirme problemleri.....	99
4.2. Çok Yanıtlı Problemler.....	100
4.2.1. Çok yanıtlı statik problemler	102
4.2.2. Çok yanıtlı statik problemlerin eniyileme stratejisi	103
4.2.3. Çok yanıtlı dinamik problemler	106
4.2.3.1. Sürekli-sürekli [continuous-continuous (C-C tipi)].....	107
4.2.3.2. Dijital-dijital [digital-digital (D-D tipi)].....	108
4.2.4. Çok yanıtlı dinamik problemlerin eniyileme stratejisi	108
4.3. Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri.....	115
4.3.1. VİKOR Metodu	117
5. UYGULAMA	123
5.1. Galvanizleme Hattı Kurucu Firma Bilgileri	123
5.2. Galvanizli Çelik Tel Üretici Firma Bilgileri	124
5.2.1. Üretici firma faaliyet alanı	124
5.2.2. Üretici firma ürün gamı	125
5.2.3. Üretici firma pazar payı	125
5.3. Metallerde Korozyon ve Yüzey Kaplama	127
5.3.1. Metallerde korozyon	127
5.3.2. Yüzey kaplama	128
5.4. Galvanizleme	128
5.4.1. Sıcak daldırma galvanizleme	129
5.4.2. Elektrog galvanizleme	131
5.5. Galvanizli Tel Hattına DÇYTY ve VİKOR Metodu Uygulaması	131
5.5.1. Uygulama probleminin tespiti	134
5.5.2. Faktörlerin belirlenmesi ve seviyelendirilmesi	140
5.5.3. OD seçimi	141
5.5.4. İdeal fonksiyon tanımlanması	145
5.5.5. Deneylerin yapılması ve verilerin analizi	146
5.5.6. Kalite kayıplarının hesaplanması	152
5.5.7. Kalite kayıplarının normalize edilmesi	154
5.5.8. Toplam kalite kaybının hesaplanması.....	155
5.5.9. DÇYS/G oranının hesaplanması	156
5.5.10. En iyi faktör/seviye birleşiminin belirlenmesi	156

5.6. Galvanizleme Tel Hattına VİKOR Metodu Uygulaması	162
5.7. Doğrulama Deneyleri	180
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	191
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	195
KAYNAKLAR	201
EKLER.....	219
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	246
ÖZGEÇMİŞ	247



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kalite maliyetleri	28
Şekil 1.2.	Kalitenin tarihî gelişimi	31
Şekil 1.3.	İstatistiksel kalite kontrolde kullanılan bazı yöntemler	46
Şekil 1.4.	Dağılım diyagramları a) negatif korelasyon, b) pozitif korelasyon, c) korelasyon yok.....	49
Şekil 2.1.	Ürün / Süreç modeli	52
Şekil 2.2.	Bilimsel çalışmalarda istatistik girdi düzeyi	53
Şekil 2.3.	Klasik / geleneksel deney tasarım metodolojisi.....	55
Şekil 3.1.	Ürün / proses diyagramı.....	67
Şekil 3.2.	Gürültü faktörlerinin sistemdeki yeri.....	68
Şekil 3.3.	Taguchi kalite sağlama aşamaları	72
Şekil 3.4.	Deney tasarım döngüsü.....	73
Şekil 3.5.	Taguchi ve klasik kalite yaklaşım modelleri	77
Şekil 3.6.	Sistemlerin gerçek-ideal durumları.....	79
Şekil 3.7.	Parametre tasarımı deney planı örneği.....	81
Şekil 3.8.	Radyo frekansları için S/G oranı.....	85
Şekil 3.9.	Taguchi Yöntemi iki adımlı eniyileme	86
Şekil 4.1.	Taguchi güçlü tasarım metotları	88
Şekil 4.2.	Taguchi statik problemler için P-diyagramı	90
Şekil 4.3.	Dinamik problemler P-diyagramı	91
Şekil 4.4.	Dinamik problemler için Taguchi eniyileme prosedürü	112
Şekil 4.5.	VİKOR Metodu uzlaşık ve ideal çözümler.....	118
Şekil 4.6.	Dinamik VİKOR karar matrisi.....	119
Şekil 5.1.	Üretici firma organizasyon şeması.....	126
Şekil 5.2.	Çinko yüzey kaplama çeşitleri ve kaplama kalınlıkları	129
Şekil 5.3.	Galvanizli çelik tel yüzeyinde oluşan katmanlar	130
Şekil 5.4.	Galvanizli tel hattı DÇYTY-VİKOR uygulama prosedürü	133
Şekil 5.5.	Galvanizleme tel hattı	134
Şekil 5.6.	Galvanizli tel iş akış şeması.....	135
Şekil 5.7.	Verici sehpalara tel yükleme.....	136
Şekil 5.8.	Tavlama işlemi.....	136
Şekil 5.9.	Asit ile yüzey temizleme.....	137
Şekil 5.10.	Çinko ocağı ve sıyırma sistemleri.....	138
Şekil 5.11.	Vakslama ve sarıcılara yükleme işlemleri	138
Şekil 5.12.	Sıcak daldırma galvanizli çelik tel P-diyagramı	140
Şekil 5.13.	Mukavemet, kaplama miktarı ve tel çapı ölçüm işlemleri.....	146
Şekil 5.14.	Faktörlerin DÇYS/G oranı üzerindeki ana etkileri	159
Şekil 5.15.	Faktörlerin tel çapı β -eğimi üzerindeki etkileri	160
Şekil 5.16.	Faktörlerin mukavemet β -eğimi üzerindeki etkileri	160
Şekil 5.17.	Faktörlerin kaplama miktarı β -eğimi üzerindeki etkileri	161
Şekil 5.18.	Faktörlerin yüzey pürüzlülüğü β -eğimi üzerindeki etkileri	162
Şekil 5.19.	DÇYTY doğrulama deney sonuçlarıyla üretilen nihai ürünler.....	185
Şekil 6.1.	Çinko sıyırma sistemleri	192

Şekil C.1. Tel çapı yanıtı grafikler	239
Şekil C.2. Mukavemet yanıtı grafikler	240
Şekil C.3. Kaplama miktarı yanıtı grafikler	241
Şekil C.4. Yüzey pürüzlülüğü yanıtı grafikler	242



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Kalite kontrol gelişim evreleri	35
Tablo 1.2. Kalite yönetiminin aşamaları	41
Tablo 2.1. Tam faktöriyel deney tasarım modeli-iki seviyeli üç faktörlü.....	56
Tablo 3.1. Bölümlerin gürültüyü yönetme stratejileri.....	69
Tablo 3.2. $L_8(2^7)$ OD örneği.....	74
Tablo 3.3. OD ve tam faktöriyel deney sayıları karşılaştırması.....	75
Tablo 4.1. Dijital sistemler girdi ve çıktı değerleri	98
Tablo 4.2. Çok yanıtı ve tekrarlı dinamik sistemler veri seti	109
Tablo 5.1. Firmanın yıllık üretim miktarları	125
Tablo 5.2. Çinko yüzey kaplama yöntemleri ve kalınlıkları	129
Tablo 5.3. Üretici firma hedef değerleri.....	139
Tablo 5.4. Kontrol edilebilen faktörler ve seviyeleri	141
Tablo 5.5. Sinyal ve gürültü faktörleri ve seviyeleri.....	141
Tablo 5.6. $L_{18}(3^5 \times 2^5)$ iç OD	142
Tablo 5.7. $L_{18}(3^5 \times 2^5)$ iç OD deney koşulları	144
Tablo 5.8. $L_4(3^1 \times 2^3)$ dış OD.....	145
Tablo 5.9. $L_4(3^1 \times 2^3)$ dış OD-açıklamalı.....	145
Tablo 5.10. Deney sonuçları	148
Tablo 5.11. Tüm yanıtlar için hesaplanan SS, σ_e^2 , β_{ij} , K_{ij} değerleri.....	153
Tablo 5.12. Normalize edilmiş kalite kayıpları.....	154
Tablo 5.13. Toplam normalleştirilen kalite kayıpları.....	155
Tablo 5.14. DÇYS/G oranları, eğim ve standart sapma değerleri	156
Tablo 5.15. Deneyler ve faktörlere karşılık gelen β ve DÇYS/G oranları	157
Tablo 5.16. Faktör seviyelerine göre DÇYS/G oranı ana etkileri.....	158
Tablo 5.17. Faktör seviyelerine göre sıralı DÇYS/G oranı ana etkileri.....	158
Tablo 5.18. Faktörlerin tel çapı β -eğimi üzerindeki etkileri	159
Tablo 5.19. Faktörlerin mukavemet β -eğimi üzerindeki etkileri	160
Tablo 5.20. Faktörlerin kaplama miktarı β -eğimi üzerindeki etkileri.....	161
Tablo 5.21. Faktörlerin yüzey pürüzlülüğü β -eğimi üzerindeki etkileri	162
Tablo 5.22. Çok yanıtı problemde yanıtların ölçüt özellikleri.....	163
Tablo 5.23. Ölçüt özellikleri ve ağırlıklarıyla VİKOR'a uyarlanmış veri seti	164
Tablo 5.24. En iyi ve en kötü ölçüt değerlerinin belirlenmesi	167
Tablo 5.25. Normalizasyon matrisi.....	169
Tablo 5.26. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi	171
Tablo 5.27. Hesaplanan S_i ve R_i değerleri	173
Tablo 5.28. VİKOR Q_i index değerleri tablosu	174
Tablo 5.29. Sıralama sonuçları ve koşulların denetlenmesi.....	175
Tablo 5.30. VİKOR sıralama sonuçlarına göre faktörler ve seviyeleri.....	178
Tablo 5.31. VİKOR sıralama sonuçları.....	180
Tablo 5.32. Tel çapı yanıtı için doğrulama deneyi verileri	181

Tablo 5.33. Mukavemet yanıtı için doğrulama deney verileri	182
Tablo 5.34. Kaplama miktarı yanıtı için doğrulama deney verileri	183
Tablo 5.35. Yüzey pürüzlülüğü yanıtı için doğrulama deney verileri	184
Tablo 5.36. Doğrulama deneyleri: Sinyal / gürültü oranı, standart sapma ve eğim.....	186
Tablo 5.37. S/G oranı, SS, varyans ve eğim karşılaştırmaları	187
Tablo 5.38. Doğrulama deneyleri sonuçlarına göre hesaplanan TNKK ve DÇYS/G oranları.....	189
Tablo 7.1. En iyi faktör-seviye kombinasyonu	198
Tablo A.1. Yurt içi literatür tarama listeleri.....	220
Tablo A.2. Yurt dışı literatür tarama listeleri.....	224
Tablo B.1. $OD_4(2^3)$ ortogonal dizi	229
Tablo B.2. $OD_8(2^7)$ ortogonal dizi	229
Tablo B.3. $OD_{18}(6^1 \times 3^6)$ ve $OD_{18}(2^1 \times 3^7)^a$ ortogonal dizi.....	229
Tablo B.4. 2^r satırlı iki elemanlı ortogonal dizi temel tasarım	230
Tablo B.5. $r=3$ temel sütunları	231
Tablo C.1. Tel çapı yanıtı varyans analizi ve model yeterliliği	239
Tablo C.2. Tel çapı yanıtı S/G oranlarına göre faktör sıralamaları.....	239
Tablo C.3. Mukavemet yanıtı varyans analizi ve model yeterliliği	240
Tablo C.4. Mukavemet yanıtı S/G oranlarına göre faktör sıralamaları.....	240
Tablo C.5. Kaplama miktarı yanıtı varyans analizi ve model yeterliliği	241
Tablo C.6. Kaplama miktarı yanıtı S/G oranlarına göre faktör sıralamaları.....	241
Tablo C.7. Yüzey pürüzlülüğü yanıtı varyans analizi ve model yeterliliği	242
Tablo C.8. Yüzey pürüzlülüğü yanıtı S/G oranlarına göre faktör sıralamaları	242
Tablo D.1. Dinamik VİKOR karar matrisi alternatif listesi.....	243
Tablo D.2. Dinamik VİKOR karar matrisi açıklamalı alternatif listesi	244
Tablo D.3. Dinamik VİKOR karar matrisi kriter /ölçüt listesi	245
Tablo D.4. Dinamik VİKOR karar matrisi açıklamalı kriter / ölçüt listesi.....	245

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

η	: Sinyal/gürültü oranı, (dB)
$\bar{y}$	: Ortalama, (br)
s^2	: Örnek varyansı, (br)
Δ	: Tolerans
σ_e^2	: Hata varyansı, (br)
β	: Ortalama/eğim, (br)
$Q(z)$	: Kalite kayıp değeri, (Para br)

Kısaltmalar

Ar-Ge	: Araştırma ve Geliştirme
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
AHP	: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Prosesi)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASA	: American Standards Association (Amerikan Standartlar Birliği)
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
BSI	: British Standards Institute (İngiliz Standartlar Enstitüsü)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayımlı Kontrol)
CEN	: Committee of European Norms (Avrupa Standartlar Komitesi)
C-C	: Continuous-Continuous (Sürekli-Sürekli)
C-D	: Continuous-Digital (Sürekli-Dijital)
ÇÖKV	: Çok Ölçütlü Karar Verme
ÇYE	: Çok Yanıtlı Eğitim
ÇYS/G	: Çok Yanıtlı Sinyal/Gürültü oranı
DTY	: Dinamik Taguchi Yöntemi
DÇYS/G	: Dinamik Çok Yanıtlı Sinyal/Gürültü oranı
DS/G	: Dinamik Sinyal/Gürültü
DÇYTY	: Dinamik Çok Yanıtlı Taguchi Yöntemi
DMRS/N	: Dynamic Multi-Response Signal/Noise (Dinamik Çok Yanıtlı Sinyal/Gürültü oranı)
DIN	: Deutsches Institute of Norms (Alman Endüstriyel Normları)
DOE	: Design of Experiments (Deney Tasarımı)
D-C	: Digital-Continuous (Dijital-Sürekli)
D-D	: Digital-Digital (Dijital-Dijital)
EFQM	: European Foundation for Quality Management (Avrupa Kalite Yönetimi Vakfı)
EBİ	: En Büyük İyi

EKİ	: En Küçük İyi
FMEA	: Failure Mode and Effect Analysis (Hata Türü ve Etkileri Analizi)
ISO	: International Organization of Standardization (Uluslararası Standart Örgütü)
KalDer	: Kalite Derneği
KFG	: Kalite Fonksiyonları Geliştirme
LME	: London Metal Exchange (Londra Metal Borsası)
MRS	: Multi Response Slope (Çok Yanıtlı Eğim)
Nİ	: Nominal İyi
NK	: Normalize Kayıp
OA	: Ortogonal Array (Ortogonal Dizi)
PVC	: Polyvinyl Chloride (Vinil Kaplama)
SAW	: Superficial Acoustic Wave (Yüzey Akustik Dalga)
SS	: Standart Sapma
TOPSİS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralaması Tekniği)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
TNKK	: Toplam Normalize Edilmiş Kalite Kaybı
TKK	: Toplam Kalite Kaybı
VİKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (Çok Ölçütlü Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm)
YSA	: Yapay Sinir Ağı

ÇOK YANITLI PROBLEMLERDE SÜREKLİ-SÜREKLİ KALİTE KARAKTERİSTİKLERİ İÇİN DİNAMİK TAGUCHİ YÖNTEMİ YAKLAŞIMI

ÖZET

Çok yanıtli problemlerin dinamik özellik gösteren kalite karakteristikleri için Taguchi Yöntemi uygulaması sağlam parametre tasarımlarının belirlenmesinde oldukça etkin bir yaklaşımdır. Rekabetin yoğun olduğu dünya pazarında ürün ve hizmetler, müşteri istek ve ihtiyaçlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Müşteri taleplerine en kısa sürede, en düşük fiyatla ve en kaliteli ürün şartlarını sağlayan ve tüm bu ve benzeri şartları sürdürebilen firmalar pazardaki yerlerini koruyabilmektedir. Galvanizli çelik tel hattı kurulumu ve üretimi yapan uluslararası iki firmanın ortak amacı da ürünlerinin kalitesinde sürekliliği sağlamak ve sıfır hatalı ürünler üretmektir. 2,00 mm çapında galvanizli tel üretiminde ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü probleminin çözümünde Dinamik Taguchi Yöntemi kullanılarak sağlam parametre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Toplam dört adet çıktı kalite karakteristiğini doğrudan etkileyen tel geçiş hızı, dinamik problemlerin belirleyici unsuru olan girdi sinyali olarak seçilmiştir. Beşi iki seviyeli, beşi üç seviyeli on adet kontrol edilebilen faktör L_{18} iç ortogonal diziye; her biri ikişer seviyeli dört gürültü faktörü ve üç seviyeli bir girdi sinyal faktörü L_4 dış ortogonal diziye atanarak 216 fiziksel deney ve tüm yanıtlar için 864 ölçüm yapılmıştır. Deney sonuçları Dinamik Taguchi Yöntemi ve çok ölçütlü karar verme tekniklerinden VİKOR Metodu ile analiz edilmiş ve gürültü koşulları altında kontrol edilebilen faktör seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan doğrulama deneyi sonuçlarına göre Taguchi Yöntemi tüm yanıtlar için Sinyal/gürültü oranı ve β -eğim değerlerinde diğer metotlardan çok daha iyi sonuç vermiştir. Dinamik çok yanıtli sinyal/gürültü oranı ve çok yanıtli eğim değerlerinde de Dinamik Taguchi Yöntemi, mevcut üretim koşulları ve VİKOR Metodu ile belirlenen faktör / seviye birleşimlerinden daha yüksek iyileşme oranları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Ölçütlü Karar Verme, Dinamik Çok Yanıtlı Taguchi Yöntemi, Galvanizli Tel Hattı. VİKOR Metodu.

DYNAMIC TAGUCHI METHOD APPROACH FOR CONTINUOUS-CONTINUOUS QUALITY CHARACTERISTICS IN MULTI-RESPONSE PROBLEMS

ABSTRACT

The application of the Taguchi Method is a highly effective approach to determine robust parameter designs for dynamic characteristics of multi-response problems. The competition is intense the products and services in the world market vary depending on customer wishes and needs. Companies that meet the demands of the customer in the shortest time, at the lowest price and with the highest quality product conditions and who maintain all these and similar conditions can maintain their place in the market. Galvanized steel wire line installation and production of the common purpose of the two international companies to ensure the continuity of the quality of products and to produce zero defective products. Robust parameter design has been realized by using Dynamic Taguchi Method to solve the surface roughness problem in galvanized wire production of 2.00 mm diameter. The wire transfer speed, which directly affects a total of four output quality characteristics, has been selected as the input signal, which is the determinant of dynamic problems. Ten controllable factors L_{18} , five of which are two-level, five of which are three-level, are assigned to the internal ortogonal array; 216 physical experiments and 864 measurements for all responses were made by assigning four noise factors each with two levels and a three level input signal factor L_4 external ortogonal array. Experimental results were analyzed by Dynamic Taguchi Method and VIKOR method which is one of the multi criteria decision making techniques and factor levels which can be controlled under noise conditions were determined. According to the results of 60 validation experiments, Taguchi method gave better results for all responses in signal/noise ratio and β -slope values than other methods. The results of the Dynamic Taguchi Method are also better in terms of Dynamic Multi-Response Signal/Noise ratio and Multi-Response Slope values.

Keywords: Multi Criteria Decision Making, Dynamic Multi-Response Taguchi Method, Galvanized Wire Line, VIKOR Method.

GİRİŞ

Ürün tasarım ve geliştirilmesi aşamasında uygun üretim parametrelerinin ve seviyelerinin belirlenmesi kalitenin sağlanması açısından son derece önemli bir problemdir. Bu problemin çözümü için geliştirilen yöntemlerde ortak amaç, hedeflenen değerde üretim yapılması, değişkenliğin azaltılması ve böylece kalite kaybının önlenmesidir. Deneysel tasarım yöntemleri de bu amaçla geliştirilen yöntemlerden birisi olup seçilen kalite karakteristiklerinin hedef değerlerinin en düşük maliyetle ve en kısa sürede sağlanması amaçlanır. Taguchi, kaliteyi sağlamada kalite karakteristiklerini etkileyen faktörlerin seviyelerini belirlerken istatistik ve mühendisliği birlikte kullandığı off-line kalite kontrol yaklaşımını statik ve dinamik kalite karakteristikleri için geliştirmiştir. Parametre tasarımı olarak da adlandırılan bu yaklaşımın temel amacı, ürün ya da proses tasarımlarını optimum hâle getirmek ve böylece kontrol edilemeyen gürültü kaynaklarına karşı, bu kaynakları ortadan kaldırmadan gürültüye duyarsız ve sağlam ürün / hizmet parametrelerinin belirlenmesini sağlamaktır.

Taguchi, güçlü tasarımı gerçekleştirmek için deney tasarımında latin kare tasarımı tabanlı ortogonal dizileri (OD) kullanır. Bu dizinler, deneylerin daha kısa zamanda, daha düşük maliyetle ve daha az deneme sayısı ile yapılmasını sağlar. Parametre tasarımının kalitesini ölçmek için hedef değerden sapmanın karesi ile ifade edilen performans karakteristiği ve enerji dönüşüm ilkesine göre geliştirilen sinyal / gürültü (S/G) oranları performans istatistiği olarak kullanılır. OD'lerin kullanılması ile pek çok faktörün farklı seviyelerinin seçilen kalite karakteristiği üzerindeki etkileri diğer deney tasarım metodlarına göre çok daha ekonomik ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilir.

S/G oranları statik ve dinamik kalite karakteristikleri için dört ayrı şekilde formüle edildiğinden metodun uygulanması son derece kolay ve karmaşıklıktan uzaktır. İleri düzey matematik ve istatistik bilgisi gerektirmediği için çalışanların toplam katılım anlayışı ile hareket edebilmesine imkân tanır. Deneylerde ele alınan kalite

karakteristiğinin özelliğine göre kalite kaybının düşürülmesini sağlayan dinamik güçlü tasarım, bir ürünü veya işlemi, değişkenliğin etkilerine duyarsız hâle getirirken çıktıyı doğrudan etkileyen bir girdi sinyaline sahip olan ürün / sistemlere uygulanan mühendislik yöntemidir. Dinamik sistemler için Taguchi Yöntemi genellikle araştırma ve geliştirme aşamalarında uygulanır. Böylece daha ürün imal edilmeden yüksek kaliteyi en hızlı ve düşük maliyetle sağlayacak parametreler ve seviyeleri belirlenmiş olur. Bu rekabet yoğun dünya pazarında son derece önemlidir. Taguchi Yöntemi ile yapılan uygulamalar genellikle statik bir sistemde ve tek bir yanıtın eniyilenmesine odaklanmıştır. Ancak ürün tasarımlarının karmaşıklığı, değişen müşteri istekleri nedeniyle üretim kalitesini artırmak için birden fazla kalite karakteristiğini aynı anda optimize etmek zorunlu hâle gelmiştir. Çok yanıtlı dinamik kalite karakteristiklerinin eniyilenmesi için Taguchi tarafından önerilen metot son yıllarda ilgi çekici çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Değişen ve gelişen teknoloji nedeniyle çok yanıtlı dinamik problemlerin iyileştirilmesi kalite geliştirilmesi için önemli bir konudur. Taguchi dinamik karakteristikli çok yanıtlılar için önerdiği metodun geliştirilmesi gereken bazı noktaları vardır. Ancak metot dinamik sistemlerde pek çok avantaj sağlamıştır: Sinyalde meydana gelen değişiklikleri en aza indirir, varyasyonu azaltarak aynı girdi değerleri için tutarlı ölçümler sağlar, girdi sinyal değerlerini çıktı kalite karakteristiğine dönüştürürken duyarlılığı ayarlar, böylece girdi değerlerindeki değişikliklere karşın kesin ve sağlam sonuçlar alınmasını sağlar.

Bu çalışma sıcak daldırma galvanizli tel hattı kuran, Ar-Ge çalışmalarının yapıldığı bir kurulum firması ile galvanizli tel imalatı yapan üretim firmasında hem proses hem de üretim aşamasının birlikte eniyilendiği literatürde ve sektörde yapılan ilk çalışmadır. Kurulum firması olarak isimlendirilen CSM Metalurji, tasarım parametrelerini eniyilemek için birden fazla kalite karakteristiğini; B üretim firması olarak isimlendirilen BMS Tel, problem olduğunu düşündükleri tek bir kalite karakteristiğini incelemeyi uygun görmüşlerdir. Tel geçiş hızının tüm kalite karakteristiklerini doğrudan etkilediği belirlendiği için dinamik bir özellik taşıması sebebiyle çalışmada Çok Yanıtlı Dinamik Taguchi Yöntemi (DÇDTY)'nin kullanılması uygun görülmüştür. Kalite karakteristiklerini etkileyen kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen tüm faktörler tasarım ve üretim faaliyetlerinin

yapıldığı iki ayrı firmadan personelin katılımıyla oluşturulan kalite ekibi tarafından belirlenmiş ve yapılan eniyileme çalışmalarıyla en iyi faktör-seviye birleşimi doğrulama deneyleri yapılarak tespit edilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde Taguchi Yöntemi ile ilgili yurt içi ve yurt dışı çalışmalar hakkında kısa bilgilendirmeler yapılmıştır. Güçlü tasarımın temel unsuru olan kalite, kalite kontrolü, toplam kalite anlayışları ve kalite geliştirme tekniklerinden bazıları hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde deney tasarımı hakkında bilgilendirme yapılmış, deney tasarımının temel prensipleri anlatılmış ve deney tasarım türleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise deney tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi Yöntemi'nin eleştirilen yönleri, kaliteli mühendislik ve verimlilik kavramları incelenmiştir. Ayrıca Taguchi Yöntemi'nde kullanılan temel kavramlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde Taguchi Yöntemi'nin kalite karakteristiklerinin sayısına göre çok yanıtlı ve tek yanıtlı olarak sınıflandırılması yapılmış ve sistemlerin eniyileme stratejileri açıklanmıştır. Çok ölçütlü karar verme tekniklerinden VİKOR Metodu hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde uygulama çalışması anlatılmış, galvanizli çelik tel imalat detayları ve firma bilgileri paylaşılmıştır. Yapılan eniyileme çalışmasında tel çapı, kaplama kalınlığı, tel mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğü yanıt olarak seçilmiştir. Kontrol edilebilen faktörlerden ham madde girdi mukavemeti, tav fırın sıcaklığı, ergimiş metal sıcaklığı ve tel dalma boyu üç seviyeli; flux ölçüm sıklığı, verici türü, sarıcı türü, çinko sıyırma türü, kazan türü ve ocak izolasyonu iki seviyeli olarak belirlenmiştir.

Dinamik Taguchi Yöntemi (DTY)'nin belirleyici unsuru olan tel geçiş hızı, üç seviyeli ve sinyal faktörü olarak belirlenmiştir. Sistemde varlığı bilinen ancak kontrol edilmesi pahalı ve zor olan ham madde kimyasal kompozisyon, işçilik ve yüzey temizleme asit şartları iki seviyeli gürültü faktörleri olarak seçilmiştir. Kullanılan deney tasarımında $L_{18}(2^5 \times 3^5)$ iç OD ve $L_4(2^4 \times 3^1)$ dış OD'leri kullanılarak 216 adet deney yapılmış ve DÇYTY ile analiz edilerek güçlü tasarım için en iyi faktör-seviye birleşimi belirlenmiştir. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçların doğruluğunun kıyaslanabilmesi amacıyla Taguchi deney tasarımı ile yapılan deney verilerine Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) tekniklerinden en iyi uzlaşık çözüm için seçim ve

sıralama imkânı sağlayan VİKOR Metodu uygulanmış ve karar verici ekibin uzlaşık kararı ile ikinci bir faktör-seviye birleşimi belirlenmiştir. Sonuçların doğrulanması amacıyla mevcut üretim koşulları, DÇYTY ve VİKOR Metodu ile belirlenen faktör-seviye birleşimleri önerilen metotla analiz edilmiş ve sonuçlar istatistiki olarak değerlendirilmiştir.

Analiz aşamasında tüm yanıtlar DÇYTY ile tek bir kalite karakteristiğine dönüştürülmüş ve eş zamanlı olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuç bölümünde çalışmada ele alınan konular vurgulanmış, uygulama sonrasında elde edilen bulgular yorumlanmış ve yapılan çalışma ile sağlanabileceği düşünülen katkılar belirtilmiştir.

Çalışma Ar-Ge faaliyetleri ve üretim yapan iki firmada eş zamanlı olarak yapılması açısından her iki firmaya önemli kazanımlar sağlamıştır. Ayrıca kullanılan dinamik çok yanıtlı Taguchi tasarım prosedürü uygulama yapılan alan ve çalışma olarak literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır.

1. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde ülkemizde farklı sektörlerde yapılmış olan Taguchi deney tasarım yöntemi ile ilgili çalışmalar tarih ve isim sırası ile özet olarak belirtilmiştir. Çalışmaların temel özellikleri ve elde edilen sonuçlar hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Taguchi Yöntemi'nde dinamik sistemler ile ilgili ülkemizde herhangi bir çalışma mevcut olmadığından konu ile ilgili sadece yabancı kaynak taraması yapılmıştır.

1.1. Taguchi Yöntemi ile Yurt İçinde Yapılan Akademik Çalışmalar

Aydın ve Öztemel (1996)'da "Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Deneysel Tasarım Metodu ve Bir Endüstriyel Uygulama" isimli çalışmalarında Taguchi Yöntemi'nin dezavantajı olarak gördükleri faktör etkileşimlerinin göz ardı edilme riskini ortadan kaldırmaya çalışmışlardır. Önerdikleri metotta Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın proses parametreleri arasındaki ilişkileri, zeki davranış temeline dayanan örnekler vasıtasıyla öğrenme esası özelliğini kullanmışlardır. Uygulamada bu esasa dayanan "Çok Katmanlı Perseptron" modelini kullanarak yüksek performanslı kalite karakteristiği tahminlerinin yapılabilceğini göstermişlerdir.

Kağnıcıoğlu (1998)'de "Üretim Öncesi Kalite Kontrolünde Taguchi Yöntemi ve Kükürtdioksit Giderici Sitrata Yönteminin Uygulanması" isimli tez çalışmasında termik santrallerden çıkan kükürtdioksit gazının giderilmesi için sitrat yönteminin kullanılmasını Taguchi Yöntemi ile araştırmıştır. Uygulama çalışmaları laboratuvar ortamında yapılan deneyler ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üç ayrı performans istatistiğinin eniyilenmesi hedeflenmiştir. Kağnıcıoğlu, L_{18} ortogonal dizisini kullanarak tam faktöriyel deney tasarımı ile 162 deney sonucunda bulunabilecek en uygun şartları OD kullanarak daha kısa sürede ve daha az maliyetle ve sadece 38 deneyle elde etmiştir.

Bakır ve Ekni (1998)'de Taguchi'nin S/G oranına farklı bir yaklaşım getirmişler ve bu amaçla birinci dereceden yüksek etkileşim etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı

olmadığı deneyler için Taguchi yaklaşımı çerçevesinde bir doğrusal programlama modellemesi geliştirmişlerdir. Çalışmada tek yanıtlı kalite karakteristikleri incelenmiştir.

Şen ve Çelik (1999)'da “Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı ve Bir Uygulama” isimli çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacak bir çalışmanın Taguchi Yöntemi kullanılarak eniyilemesinin olabirirliğinin araştırmışlardır.

Yeniay (2001)'de “An Overview Of Genetic Algorithms-Deney Tasarım Problemlerinin Çözümü İçin Genmak” diye adlandırdığı bir durağan durum algoritması geliştirmiştir. Önerilen algoritmanın performansını Taguchi Yöntemi'nin performansı ile karşılaştırmak için her biri üç seviyeli dört faktörün olduğu bin adet test problemi olan üç küme tasarlamıştır. Her problem için önemli faktör etkilerini ve en iyi çözümü istatistiksel metotlarla belirlemiştir. Her iki yöntem de problemlere uygulanmış ve en iyi çözüme ulaştıran değerleri kaydederek yöntemleri bu değerlerle karşılaştırmıştır. Sonuçlar Genetik Algoritma'nın performansının Taguchi performansı kadar yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca etkileşimler arttıkça her iki yöntemin performansında düşüş gözlenmiştir.

Ünal (2001)'de “Şanzıman Giriş Mili Halatındaki Proses Parametrelerine Taguchi Metodu'nun Uygulanması” isimli çalışmasında şanzıman millerinin kırılmalara karşı mukavemetini artırmak için deney tasarımını kullanmıştır. Çalışmada mukavemete etki ettiğini düşündüğü yedi temel faktörün etki derecelerini ölçülmüştür. Bulunan sonuçların üretim hattında uygulanması ile şanzıman milinde meydana gelen kırılmaların %85 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Fiğlalı ve Engin (2002)'de “Akış Tipi Çizelge Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Deney Tasarımı Uygulaması” isimli makalelerinde çok makineli çizelgeleme problemlerinin çözüm performansının artırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Genetik Algoritma'nın en iyi veya en iyiye yakın çözüme ulaşma performansını etkileyen parametrelerin uygun değerlerini elde etmeye çalışmışlardır. Bulunan en iyi iki değer ve diğer parametreler kullanılarak Taguchi Yöntemi ile iki seviyeli, altı faktörlü deney tasarımıyla bu tür çalışmalarda bilinen beş ayrı problem üzerinde toplam bin adet deney yapmışlardır.

Bu deneyler sonucunda akış tipi çizelgeleme problemlerinin Genetik Algoritma ile çözümünde etkili olan parametreler ile çözüm performansını artıracak parametre setlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Baynal (2003)'te "Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama" isimli doktora tezi çalışmasında birden fazla sayıda performans karakteristiği içeren bir deney tasarımı üzerinde çalışmıştır. Ana otomotiv endüstrisinin tedarikçisi olan bir işletmede, far kumanda kolu şapkası üretiminde, üründe meydana gelen bombelik ve parlaklığın giderilmesi için Taguchi Yöntemi'ni kullanmıştır. L_{27} OD kullanılarak her biri üç seviyeli on bir ana faktör ve iki etkileşim faktörünün performans karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve en iyi faktör ve seviye birleşimi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Taguchi Yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, S/G oranlarında, üretilen parçaların ağırlığında 4,35 dB, görünümünde 69,77 dB ve boyutta da 34,92 dB'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Canıyılmaz ve Kutay (2003)'te "Taguchi Metodu'nda Varyans Analizine Alternatif bir Yaklaşım" isimli makalelerinde, 1996 yılında Bayrak tarafından yapılmış bir çalışmanın verilerini kullanarak performans karakteristiği üzerinde etkili olan faktör ve seviyelerini, Taguchi Yöntemi'ni kullanarak bulmuşlardır. Varyans Analizi metodu kullanarak bulunan en iyi faktör ve seviye birleşimi ile kendi çalışmalarının sonuçlarını karşılaştırarak Taguchi Yöntemi ile elde ettikleri sonuçların performans karakteristiği üzerinde daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Ferah (2003)'te çok yanıtlı Taguchi Yöntemi'ni kullanarak alüminyum profillerin boyanmasında etkili olan faktörlerin en iyi seviyelerini belirlemiştir. Tüm yanıtların eş yükselti eğrilerinin üst üste konularak koşulların tüm yanıtlar için yaklaşık en uygun olduğu bir bölgeyi belirlemeyi önermiştir. Çalışmada çok yanıtlı problemlerin çözülmesinde en iyileme prosedürü tanıtılarak uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Hamzaçebi ve Kutay (2003)'te "Taguchi Metodu: Bir Uygulama" isimli çalışmalarında Taguchi Yöntemi'nin sistematüğını açıklamışlardır. Uygulamada ise Dizdar'ın (1998)'de üretim sistemlerindeki olası iş kazalarının tahminine yönelik araştırmasında derlediğı verilerden sadece kazalıya ait tecrübe, kaza zamanına ait vardiya ve haftanın günü faktörlerini ele almışlardır. Faktörlerin kaza oluşmasındaki

etkilerini Taguchi Yöntemi ile incelemiş, üçer seviyeli toplam üç faktör L₉ OD'sine atanarak deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Minitab yazılımında analiz edilerek yöntemin daha az deney ile zaman ve maliyet tasarrufu sağladığı ve karar aracı olarak da kullanılabileceği ispat edilmiştir.

Baynal ve Terzi (2004)'te çok sayıda yanıtı sahip bir üretim sürecinin en iyilenmesi için Taguchi Yöntemi'ni bulanık mantıkla birlikte uygulamışlardır. Üretim sürecinin çoklu kalite karakteristiklerini birlikte analiz edebilmek için çok yanıtlı performans istatistiği olarak S/G oranını kullanmışlardır. Üretim parametrelerini, çoklu kalite karakteristiklerini göz önüne alarak eniyilemeye çalışmışlar ve yaklaşımın etkinliğini göstermek amacıyla sonuçları değerlendirmişlerdir. Baynal ve Boran (2004)'te "Taguchi Tekniği Tabanlı Çok Ölçütlü Yöntemle Üretim Parametrelerinin Eniyilenmesi" isimli çalışmalarında çok yanıtlı problemler için Taguchi Yöntemi ile yapılacak çözümlemelerde ilk aşamada kalite karakteristiklerinin birleştirilmesi, ikinci aşamada eniyilenmesi ile ilgili bir örnek problemin çözümünü araştırmışlardır. Bu kapsamda alüminyum profil imalatı yapan bir firmada boya işleminin maliyetini azaltmak amacıyla proses iyileştirme çalışması yapmışlardır. Boya film kalınlığı ve dış etkenlere karşı dayanımın artması kalite karakteristikleri, toplam fayda kavramı dikkate alınarak tek bir performans karakteristiği hâline dönüştürülmüş ve en iyi boyama süreci geliştirilmiştir.

Motorcu ve Şahin (2004)'te "Sertleştirilmiş AISI 1040 Çeliğinin Seramik Kesici Takımla İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu ile Değerlendirilmesi" isimli çalışmalarında alümina esaslı seramikler, kesiciler kullanılarak ray ve makine dişlilerinin yapımında kullanılan sertleştirilmiş AISI 1040 çeliğinin kuru olarak tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünü azaltan en uygun kesme parametrelerini belirlemek amacıyla Taguchi Yöntemi'ni kullanmışlardır. Taguchi deney tasarımında kullanılan OD'ler sayesinde deneme sayısını azaltarak maliyetlerde düşüş ve daha kısa sürede deney sonuçlarına ulaşmışlardır. Uygulamada kesme parametreleri, uç yarıçapı etkileri ve bu faktörlerin etkileşimlerini analiz etmişlerdir. Seçilen kesme şartları aralığında en iyi yüzey pürüzlülük değerlerini veren birinci ve ikinci dereceden regresyon denklemlerini oluşturmuşlardır. Yapılan deney sonuçlarıyla mevcut olan teorik değerleri karşılaştırarak yöntemin geçerliliğini ispatlamışlardır.

Savaşkan ve arkadaşlarının (2004)'te yaptıkları çalışmada ince sert seramik kaplı, TiAlN ve TiN matkap uçlarının performans optimizasyonu örneğini ele alarak hedeflenen en uygun noktaya ulaşabilmek için sanayi ortamında en önemli faktörler olan kaplama türü, kesme hızı ve ilerleme hızının etkileri, Taguchi Yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Sakarya ve Göloğlu (2006)'da "Taguchi Yöntemi ile Cep İşlemede Kullanılan Takım Yolu Hareketlerinin ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi" isimli çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü karakteristiği üzerine olan etkilerini Taguchi Yöntemi ile belirlemişlerdir. Deney sonuçları anova tabloları ile değerlendirilmiş, L_{16} OD kullanılarak üç farklı takım yolu için toplam 48 adet deney yapılmıştır. Dervişoğlu ve Muluk (2006)'da "Taguchi Tasarımının Uygulanması ve Klasik Kesirli Çok Etkili Tasarımla Karşılaştırılması" isimli çalışmalarında en kullanışlı tasarımı oluşturabilmek ve en iyi tahminleri yapabilmek için Taguchi Yöntemi'ni kullanmışlardır. OD'lerin oluşturulması, doğrusal grafiklerin çizilmesi ve üçgensel tabloların hazırlanması hakkında çalışmalarında detaylı bilgiler vermişlerdir.

Bilişik ve Gençyılmaz (2006)'da "Hizmet Kalitesinin İyileştirilmesinde Deneysel Tasarım Metodu" isimli çalışmalarında, eğitim kurumlarındaki sınıf içi eğitim ve öğretim faaliyetlerinin kalitesini artırmak amacıyla en uygun ders anlatım yöntemini belirlemeye çalışmışlardır. Yükseköğretim kurumunda yapılan çalışmada L_9 OD kullanılarak Taguchi Yöntemi'nden yararlanmışlardır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler Minitab programı ile analiz edilmiş ve etki değerlerinin araştırılmasında varyans analizi yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Şanyılmaz (2006)'da "Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile bir Uygulama" isimli çalışmasında Kale Porselen Elektroteknik Sanayi A.Ş.'nde üretilen NH00 boy bıçaklı sigorta sistemlerinde ortaya çıkan buşon gövdesi çatlama sorununu deney tasarımı kullanarak çözmeye çalışmıştır. Çalışmada yanıt, NH00 bıçaklı sigorta busonlarının basınca karşı mukavemeti olarak belirlenmiştir. Yanıtı etkileyen kontrol edilebilen faktörler; ham madde nem oranı, şekillendirme süresi, kurutma süresi ve pişirme sıcaklığı olarak seçilmiştir. Faktörler $L_8(2^7)$ OD'e atanarak deneyler yapılmış ve performans istatistiği değerleri hesaplanmıştır. Elde

edilen veriler ortalamalarına ve S/G oranlarına göre varyans analizi ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu ile analiz edilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması için problem, tam faktöriyel deney tasarımı yöntemiyle de çözülerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kırış ve arkadaşları (2007)'de bir motora ait hava aralığı hata sayısı ile bunun toplam üretim hacmi içindeki payının büyük olması probleminin çözülmesi için Taguchi Yöntemi'ni kullanmışlardır. İşletmede gerçekleştirilen beyin fırtınası ve oluşturulan sebep-etki analizleri sonucunda hataların stator diklik ve iç çap ölçümlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ölçüm cihazı yetenek analizleri gerçekleştirilmiş, toplam değişkenlik içinde ölçüm değişkenliğinin %30'un altında çıkması sebebiyle cihazlar yeterli bulunmuştur. Ancak süreçte değişkenlikler söz konusu olduğu için deney tasarımı ile analizlerin devamına karar verilerek sargı hattı incelenmiş ve fikstür, şut ve bilyalama kontrol edilebilen faktörler olarak seçilmiştir. Deney sonuçları varyans analizi ve grafik metotla değerlendirilmiş ve en iyi faktör-seviye birleşimi belirlenmiştir.

Durmaz (2008)'de "Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması" adlı çalışmasında kauçuk prosesine deney tasarımı uygulayarak müşteri memnuniyetsizliğine neden olan kalite kayıplarını önlemeye çalışmıştır. Müşteri tarafından iade edilen kalitesiz ürün problemini çözmek için ürünün mukavemetinin artırılması hedeflenmiştir. Ürünlerde ve proseste varyasyona neden olan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin en uygun değerleri belirlenerek güçlü tasarım şartlarının oluşturulması amaçlanmıştır. Yedi adet kontrol edilebilen faktörle beş tekrarlı deneyler yapılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda hatalı ürün sayısı %60 oranında azalmıştır. Aytaç ve arkadaşlarının (2009)'da "Lastik Kordu Üretiminde Büküm Yönünün Etkilerinin Taguchi ve Tam Faktöriyel Deney Tasarımıyla İncelenmesi" isimli çalışmalarında seçilen faktörlerin yanıt üzerindeki etkisi her iki deney tasarım metodu ile incelenmiştir. Mezarcıöz ve Oğulata (2009)'da "Farklı İpliklerden Üretilen Süprem Kumaşlarda May Dönmesi Değerlerinin İncelenmesi" isimli çalışmalarında Taguchi Yöntemi'ni süprem kumaşların patlama mukavemeti açısının eniyilenmesinde kullanmışlardır. Değerlendirmelerde varyans analizi ve S/G oranları kullanılmış olup dokuz farklı örme kumaş ile deneyler yapılmıştır.

Eşme ve arkadaşlarının (2009)'da “Galetaj ile İşlemede Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu Kullanılarak Eniyilemesi” isimli çalışmalarında baskı kuvveti, paso sayısı, ilerleme miktarı ve galetaj hızı parametre olarak seçilmiş ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. $L_{16}(4^4)$ OD kullanılarak yapılan deney sonuçlarındaki değişkenliği minimize eden faktör etkilerini bulmak için grafiksel gösterimi kullandıkları çalışmada %88,66 ile baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Motorcu (2009)'da “Ç1050 ve Ç4140 Çeliklerinin Seramik Takımlarla İşlenmesinde Optimum Takım Ömrünü Sağlayan Parametrelerin Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi ve Takım Aşınımlarının İncelenmesi” isimli çalışmada kesme parametresi ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Faktör etkileşimlerinin de yer aldığı ikinci dereceden tahminsel denklemin daha güvenilir sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Baynal ve Aksu (2010)'da Taguchi Yöntemi ile Shainin Metodu'nu endüstriyel bir probleme uygulamışlardır. Shainin Yöntemi hakkında detaylı bilgilendirmelerin yapıldığı çalışmada Taguchi Yöntemi ile karşılaştırmalar yapılmış, varyasyonda %70 oranında iyileşme sağlandığı ispat edilmiştir.

Göloğlu ve Mızrak (2010)'da “Bulanık Mantık ve Taguchi Yaklaşımlı Müşteri İstemli Ürün Belirleme” isimli çalışmalarında deney tasarımını kullanarak müşterinin kendi ihtiyaçlarına göre ürünü belirlemesi sağlanmıştır. Kendin yap kapsamında değerlendirilen bisiklet kadrosu için Bulanık Mantık ve Taguchi Yöntemi'ni kullanarak müşterinin kendi ihtiyaçlarına göre ürün belirlemesi gerçekleştirilmiştir. Pınar ve Güllü (2010)'da CNC takım tezgâhlarının denetiminde kullanılan FM 357 fonksiyon modülü ile kontrol edilen hidrolik sistemin pozisyonlama doğruluğunu Taguchi Yöntemi ile incelemişlerdir. İkişer seviyeli dört kontrol edilebilen faktörü L_{16} OD'e atayarak yapılan yapılan deney sonuçlarına göre en iyi faktör-seviye birleşimi belirlenmiş ve doğrulama deneyleri ile sistemin etkinliği ispatlanmıştır. Altın (2013)'te “İnconel 600 Süper Alaşımının Tornalanmasında İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu” isimli çalışmada kesici takım kaplama malzemesinin ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çok yanıtlı Taguchi tasarımlarına uygun olarak yapılan

deneysel çalışma sonuçları varyans analizi ile incelenmiştir. Aslan ve arkadaşları, 2013'te "AISİ 316Ti Paslanmaz Çelik Malzemesinin Tornalamasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi ile Analizi" isimli çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin farklı seviyeleri için Taguchi Yöntemi'ni kullanmışlardır. Elde edilen deney sonuçları, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesici uç yarıçapı açısından değerlendirilmiştir.

Bayrak ve arkadaşları (2015)'te "Ham Manyezitin Glukonik Asit Çözeltilerinde Çözündürülmesinin Optimizasyonu" isimli çalışmalarında Taguchi Yöntemi'ni kullanmışlardır. Tek yanıt ve dörder seviyeli beş adet kontrol edilebilen faktör ile deneyler yapılmıştır. S/G oranlarını maksimum yapan faktör seviyelerini veren deneyin yapılmama ihtimaline karşı, optimum şartlara karşılık gelen performans değeri ayrı bir modelle tahmin edilmiş ve elde edilen değerlerin ters dönüşümü yapılarak yüzde değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler performans istatistiği ile yeniden değerlendirilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Baynal ve Gencel (2015)'te gıda sektöründe yaptıkları bir uygulamada kalite problemlerine neden olan değişkenlik kaynaklarını belirleyerek kalite karakteristiklerinin eniyilemesine olanak veren Taguchi Yöntemi'ni çok yanıt problemlerin eniyilemesinde kullanmışlardır. Seçilen yedi adet kalite karakteristiği üzerinde etkili olan maya miktarı, fermentasyon ısısı, fermentasyon süresi ve üre miktarı kontrol edilebilen faktörler olarak belirlenmiştir. Tamamı üç seviyeli olan faktörlerle iki tekrarlı 18 adet deney yapılmıştır. Sonuçlar çok yanıt sinyal gürültü oranı kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan doğrulama deneyleri neticesinde tek seferde sınır değerleri içinde ürünler üretilmeye başlanmış ve mayalama amaçlı kullanılan 32 adet tankın depo olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Katmer ve Karataş (2015)'te enjeksiyon kalıplama şartlarının kalıplanmış plastik parçalardaki kalıntı gerilmelerine ve çekme dayanımlarına etkilerini Taguchi Yöntemi'ni kullanarak daha az denemeyle ölçmüşlerdir. L_{27} dizisine göre yapılan deney sonuçları, Varyans Analizi ve Grafik Yöntemi ile değerlendirilmiştir. Ülker (2015)'te hazırladığı doktora tezinde Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma kaynağı işlemindeki önemli süreç ve takım parametrelerinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneyler OD kullanılarak rasgele düzenlenmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı süreç

parametrelerin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmada S/G oranı ve varyans analizi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kaynak verimliliğinde %57'den %71'e ulaşılacak şekilde kayda değer bir iyileşme gözlenmiştir. Okumuş (2015)'te Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ile Taguchi Yöntemi'ni birlikte kullanarak taş yünü üretim tesisinin optimizasyonunu sağlamıştır. etin (2016) ve Sağlam (2016) yaptıkları çalışmalarda Taguchi Yöntemi ve Varyans Analizi'ni birlikte kullanarak üretim parametrelerini eniyilemişlerdir. Ekincioğlu (2016)'da ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden Sue Rodgers Yöntemi'ni esas alarak yeni bir yaklaşım geliştirmiş, süre ve risk karakteristiklerini Gri İlişki Tabanlı Taguchi Yöntemi' ni kullanarak eniyilemiştir. Aynı yıl Himmetoğlu (2016) ise hazır beton tasarımında yanıt değişkenlerinin etkisini belirlemek için Kaba Kümeleme ile Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemini ve en uygun karışım oranını belirlemek için MOORA (Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis) bütünselik Taguchi Yöntemi'ni kullanmıştır.

Koçer (2017)'de yaptığı çalışmada bazı kanser türleri üzerinde etkisi olduğu tespit edilen kumkumin (zerdeçal) kapsüllerinin püskürtmeli kurutucu parametrelerini Taguchi Yöntemi ile optimize ederek partikül boyutu ve eksenel oranı minimize etmiştir. Uygun deney koşulları ile kumkumin enkapsüle edilmiştir. Dhannoon (2017)'de Taguchi deney tasarımı kullanarak karayolları asfalt çalışmalarında binder tabakasının eniyilenmesini sağlamıştır. Kaya (2017)'de kaynak parametrelerini; Ada ise (2017)'de paslanmaz çeliğin aşınma direncini Taguchi deney tasarımı kullanarak optimize etmişlerdir. Üstündağ (2018)'de denim kumaşlar üzerinde yaptığı çalışmada Taguchi Yöntemi ve Varyans Analizi'ni birlikte kullanmıştır. Özdemir (2018), ElFarah (2018), Öz (2018), Tunçel (2018), Takmaz (2018) ve Durmuş (2018) yaptıkları çalışmalarda Taguchi'nin deney tasarım metodunu Varyans Analizi ile birlikte kullanmışlardır.

Cabir (2019)'da yaptığı çalışmasında diğer çalışmalardan (İçen, 2019; Tuğral 2019; akmak, 2019; elik, 2019; Tabazık, 2019; Yaprak, 2019; Tanış, 2019) farklı olarak Taguchi deney tasarımı Yapay Sinir Ağları (YSA) ile birlikte uygulamıştır. Taguchi Yöntemi' nin 16 adet deney girdileri ve ıktıları YSA'na öğretilmiştir. Taguchi ile elde edilen sonuçları, YSA ve gerçek deneysel sonuçların tahminleri

karşılaştırmıştır. Çalışmada 112 adet deney yerine 32 adet deney yapılarak %95'e varan örtüşme oranına sahip olan en uygun seviyelere erişilmiştir.

1.2. Taguchi Yöntemi ile Yurt Dışında Yapılan Akademik Çalışmalar

Wasserman (1996)'da çoklu regresyon modeli kullanarak dinamik karakteristiklerin parametre tasarımına ilişkin vaka çalışması yapmıştır. Taguchi'nin S/G oranını doğrusal istatistik modeli ile göstermiştir.

Khattree (1996)'da gürültü faktörlerinin tümünün aynı anda incelenemediği durumlarda sağlam parametre tasarımını tahmin etmek için Yanıt Yüzeyi Metodu'nu kullanmıştır.

Miller ve Wu (1996)'da yaptıkları iki ayrı çalışmada Taguchi'nin terminolojisini eleştirmişler ve statik sistemleri basit-yanıt sistemi, dinamik sistemleri ise sinyal-yanıt sistemi olarak adlandırmışlardır. Taguchi'nin dinamik karakteristikli sistemler için geliştirdiği bu metodun kalite mühendisleri için potansiyel önemli bir araç olduğunu ancak teori ve yöntem olarak sağlam bir yapı inşa etmeden yoksun olduğunu belirtmişler ve bu eksikliği giderecek çalışmalar yapmışlardır (Miller ve Wu, 1996a). Bu çalışma neticesinde dinamik sistemleri çoklu hedef sistemleri ve ölçüm sistemleri olarak iki kategoriye ayırmışlar ve enjeksiyon kalıplama örneği ile çalışmalarının geçerliliğini ispat etmişlerdir. Wu ve Miller yaptıkları ikinci çalışmada Taguchi'nin iki adımlı S/G oranı modeline karşılık sinyal-yanıt sistemlerini eniyilemek için “Performans Ölçüm Modeli” ve “Yanıt Fonksiyonu Modeli” diye adlandırdıkları iki model geliştirmişlerdir. Performans Ölçüm Modeli, iki aşamalı bir model olup birinci aşama, performans ölçüsünün tahminini, ikinci aşama ise bu tahmini kullanarak kontrol faktörlerinin bir fonksiyonu olarak performans ölçüsünün modellenmesini içermektedir. Yanıt Fonksiyon Modeli'nde ise kontrol ve gürültü faktörlerinin bir fonksiyonu olarak sinyal-yanıt ilişkisini modellemek için deneysel veri kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda Yanıt Fonksiyon Modeli'nin sistemi düzeltmek için kullanılabilen faktörleri göstermenin yanı sıra bu faktörlerin sistemi nasıl etkilediğini de gösterdiği ispat edilmiştir (Miller ve Wu, 1996b). Wu ve Miller'in bu çalışması Welch ve arkadaşlarının 1990'da yaptıkları çalışma ile Shoemaker ve arkadaşlarının (1991)'de basit-yanıt sistemleri için önerdiği uygulama modellerinin sinyal-yanıt sistemleri için geliştirilmiş hâlidir.

Lunani ve arkadaşlarının (1997)'de yaptıkları çalışmada kalite performans ölçütü olarak S/G oranını kullanmanın dağılma etkisinde yapılan bir tek hatanın birçok hataya sebep olduğunu göstermişlerdir. Dağılma ve duyarlılık etkilerinin arasındaki etkileşimden sakınmak amacıyla uygun dağılma tedbirlerini tanımlayan iki grafik metot geliştirmişlerdir.

Huang ve arkadaşları (1998)'de sistem performansını eniyilemek için Taguchi Dinamik S/G oranı ve ilgili analizleri bir otomotiv klima kompresörü tasarımına uygulamışlardır. Kompresör performansını etkileyen önemli parametreleri tanımlamak ve eniyilemek için iki seviyeli on bir kontrol edilebilen faktör, iki seviyeli bir gürültü faktörü ve üç sinyal faktörü ile deney yapmışlardır. Deneyde 12 kompresör kullanılmış ve tasarım parametrelerinin en uygun seviyeleri belirlenmiştir.

Wu ve Hamada (2001)'de çoklu hedef sistemleri ve ölçüm sistemlerine bir üçüncü kategori ilave etmişlerdir. Çalışmada sinyal-yanıt kavramının ürün / süreç geliştirmede önemli bir rol oynadığı ve bu sistemlerin sağlam parametre tasarımı olarak kalite geliştirmede güçlü ve etkin bir araç olmaya devam edeceği ifade edilmiştir. Ayrıca Wu ve Hamada'ya göre S/G oranı indeksi ile değerlendirilen dağılımın ve hassasiyetin sinyal-yanıt sistemlerinin iki önemli özelliği olduğu da bir uygulama ile gösterilmiştir.

Miller (2002)'de yaptığı çalışmada sinyal-yanıt uygulamaları için önerilen üç yöntemi karşılaştırmıştır: Taguchi'nin S/G oranı; Nair, Lunani ve Wasserman'ın grafiksel yaklaşımı ve Wu ve Miller'in (2002)'de önerdikleri yaklaşım. Yaptığı çalışmada "Ortak Etki Grafiği" adını verdiği yeni bir grafik tekniğini tanıtmıştır. Roshan ve Wu (2002)'de çoklu yanıt sistemlerinin analizinde S/G oranının nasıl uygulanacağını tanımlamışlardır. Ayrıca çoklu hedef sistemleri için teoriksel sistemleri bir formülasyonu tanıtarak pratikte bir uygulama çalışması yapmışlardır. Lesperance ve Park (2003)'te dinamik kalite karakteristiklerin güçlü tasarımını değerlendirmek için standart regresyon modelleme tekniklerine dayalı genelleştirilmiş lineer bir model önermişlerdir.

Wu ve Yeh (2005)'te yaptıkları çalışmada kalite kayıp fonksiyonuna dayalı bir yaklaşımı, çok yanıtlı dinamik problemlere uygulamışlardır. Çalışmalarındaki amaç, toplam ortalama kalite kaybını minimize etmektir. Chan ve Liand'ın (2005)'te

yaptığı çalışma kandaki şeker seviyesinin ölçüm çubuğunun DTY ile eniyilenmesi sağlanmıştır. Dinamik çalışmanın temelini oluşturan farklı çıktı hedeflerine ulaştıran çoklu değerlerin ayarlanması sonucu medikal maliyetlerde düşüş sağlanmıştır. Çalışmada iki bileşik gürültü faktörü, tamamı üç seviyeli toplam 8 kontrol edilebilen faktör ve üç seviyeli bir sinyal faktörünün atandığı $L_{18}(3^1 \times 3^8)$ OD'sine göre yapılan deneylerle kan şekeri ölçüm şeritlerinin eniyilenmesinde S/G oranı ve β -eğim değerleri kullanılmıştır.

Tong ve arkadaşları (2005)'te çoklu yanıt sorunlarını optimize etmenin giderek daha önemli bir konu haline geldiğini belirtmişler ve yaptıkları çalışmada Taguchi'nin parametre tasarımına dayanan yeni bir optimizasyon prosedürü önermişlerdir. S/G oranı başlangıçta her bir yanıtın performansını değerlendirmek için kullanılmış daha sonra bir dizi ilişkisiz bileşen elde etmek için S/G değerleri üzerinde Temel Bileşen Analizi' ni kullanmışlardır. Her bileşen için optimizasyon yönü, ilgili varyasyon modu tablosuna göre belirlenmiştir. TOPSİS Metodu' nu kullanarak çoklu yanıtlar için genel bir performans endeksi belirlemişlerdir. Tayvan'da bir entegre devre üreticisinden bakır ince filmlerin kimyasal-mekanik parlatılmasının optimizasyonunu içeren vaka çalışması ile önerilen prosedürün etkinliğini kanıtlamışlardır.

Hsieh ve arkadaşları (2005)'te yaptıkları çalışmada Tayvan'daki Endüstriyel Teknoloji Araştırma Enstitüsünün kimya laboratuvarlarında etil asetoasetat proses deney projesinin biyolojik olarak indirgenmesi ile ilgilenmişlerdir. Çalışmada Taguchi'nin dinamik sistemini dikkate alarak çoklu yanıt probleminde istatistiksel regresyon analizi ve arzu edilebilirlik fonksiyonunu kullanan bir prosedür önermişlerdir. İlk olarak regresyon analizi, kalite değişimini önemli derecede etkileyen kontrol faktörlerini ve bir Taguchi dinamik sisteminin duyarlılığını önemli derecede etkileyen ayar faktörlerini belirlemek için kullanılmış ardından çok yanıtlıların eniyilenmesi için "Omega Dönüşümü" adını verdikleri bir öneri sunmuşlardır.

Wu ve arkadaşları (2005)'te geleneksel quartz gaz sensörü sisteminin dinamik özelliklerini eniyilemek için Taguchi'nin S/G oranını kullanmışlardır. Depolanmış kütlenin quartz biyosensörünün rezonans frekansı çıkışı üzerindeki etkilerini araştırmak için zamandan ve maliyet açısından verimli Sonlu Elemanlar Analiz

Yöntemi'ni kullanmışlardır. Dış dizin için üç seviyeli bir sinyal faktörü ve imalat sırasında quartz kristal kalınlıklarındaki boyut hatalarını gürültü faktörü olarak kabul etmişlerdir. Yapılan çalışmada Taguchi Yöntemi, bilgisayar simülasyonu ile ilk kez birleştirilmiş, değişkenlik azalırken hassasiyet artmıştır.

Antony ve arkadaşları (2006)'da çok yanıtlı parametre tasarım problemini çözmek için dört adımlı bir prosedür önermişlerdir. Önerilen yaklaşımda, çoklu yanıt optimizasyonunu içeren problemleri çözmek amacıyla hem yapay zekâyı hem de Taguchi deneysel tasarım yönteminin avantajlarını kullanmışlardır. Bir elektronik aksamın çift taraflı yüzeye montaj teknolojisi için seçilen üç yanıtı optimize etmek amacıyla bir vaka çalışmasını ele almışlar ve S/G oranlarının her parametre için en uygun seviye ayarlarını belirlemek üzere önerilen bulanık tabanlı model aracılığıyla tek bir performans istatistiğine eşlemişlerdir. Bahloul ve arkadaşları (2006) yılındaki çalışmalarında bükme işlemi sırasında araçlar tarafından parçaya uygulanan kuvveti ve maksimum gerilimi en küçükmek için deney tasarımına dayanan cevap yüzeyi yöntemini kullanmışlardır. Dixon ve arkadaşları (2006)'da tıbbi cihaz üretimi sürecinde deney tasarımını kullanmışlardır. Rojas ve arkadaşları (2006) yılındaki çalışmalarında dinamik sistem tanımlı min-max sağlam deney tasarımı fikrini geliştirmişlerdir. Zhiyu, Zhen ve Xiangfen (2006)'da çoklu sağlam parametre tasarımına yeni bir çekicilik fonksiyonu metodu önermişlerdir. Önerdikleri metodun geleneksel çekicilik fonksiyonlarından daha iyi sonuç verdiğini yaptıkları bir uygulama ile ispatlamışlardır. Yung-Tien ve arkadaşları (2007)'de doğrusal olmayan çift sinyalli Taguchi uygulaması ile yüksek hassasiyetli bir konumlandırma cihazının tasarımını yapmışlardır. Her biri dört seviyeli olan üç adet kontrol edilebilen faktör ve bir gürültü faktörü iç ve dış ortogoanl dizi ile deneyler tasarlanmış ve en uygun parametre setinin ayarlanmasında varyans analizi uygulanmıştır. Deneylerde uygulanan voltaj dalga biçimleri Sımulink grafik paket programlama dili ile oluşturulmuştur. Doğrulama deneyleri Taguchi Yöntemi'nin %83'lük bir iyileşme sağladığını göstermiştir. Tzeng ve Chen (2007)'de yüksek hızlı elektrik deşarj işleminin hassasiyetini ve doğruluğunu optimize etmek için Taguchi Yöntemi ile Bulanık Mantık yaklaşımını birlikte kullanmışlardır. Toz konsantrasyonu ve toz boyutu faktörlerinin, yüksek hızlı elektrik deşarj süreç tasarımı üzerinde nispeten daha zayıf etkilere sahip olduğunu varyans analizi ile tespit etmişlerdir. Doğrulama

deneyi ile hedeflenen çoklu performans özelliklerinin önemli ölçüde geliştirildiğini görmüşlerdir.

Anawa ve Olabi (2008)'de Taguchi Yöntemi'ni bir istatistiksel deney tasarımı tekniği olarak kaynaşma kesimi ile ilgili gerekli kaynak parametrelerini belirlemek için kullanmışlardır. Cheng ve arkadaşları (2008)'deki çalışmalarında farklı boyutlarda alt katmanın tortulaşmış silikon film kalınlık sapmasını minimize etmek için süreç parametrelerinin eniyilenmesi amacıyla sayısal bir modeli Taguchi Yöntemi'nin dinamik modeliyle bütünleştirmişlerdir. Oudjene ve Ben-Ayed (2008)'de Taguchi Yöntemi'ni perçinleme ortak direnci ve perçinleme şekli üzerinde takım geometrisinin etkilerini incelemek için kullanmışlardır. Rosa ve arkadaşları (2008)'de titanyum kablolarda bakır elektropozisyonu konusunda titanyum yüzey hazırlamada mevcut katodik yoğunluğu, bakır sülfat ve sülfürik asit yoğunlaşmalarının elektrik yoğunluğunun ve çözelti karışımının elektrodositin yapışması üzerindeki etkilerini L_{16} OD'si kullanarak incelemişlerdir. Arvidsson ve Gremyr (2008)'de sağlam tasarım ilkeleri üzerindeki çatışmalar ve anlaşmalarla ilgili bir literatür taraması yapmışlardır. Bu çalışmada güçlü tasarımın dört temel ilkesi incelenmiştir: Varyasyonun varlığı, gürültü faktörlerinin duyarsızlığı, çeşitli yöntemlerin uygulanması ve tasarım sürecinin tüm aşamalarındaki uygulamalar.

Gupta ve arkadaşları (2009)'da iki varyans bileşeni ile karakterize ettikleri sinyal yanıt sistemine split-plot yaklaşımı önermişlerdir. Tsai ve arkadaşları (2009)'da yaptıkları çalışmada çıktı yanıtı ve girdi sinyali ile doğrusal bir ilişki içinde olan bir SAW (Yüzeysel Akustik Dalga) gaz sensörü sisteminin dinamik özelliklerini eniyilemek için Taguchi S/G oranını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma ile değişkenliği azaltırken eş zamanlı olarak ölçüm sisteminin hassasiyetini artırmışlardır. Kumar ve Khamba (2009)'da havacılık ve uzay projelerinde kullanılan bir kobalt alaşımı olan stellit 6'yı ultrasonik işlemenin etkinliğini artırmak için Çok Yanıtlı Taguchi Yöntemi'ni kullanmışlardır. Stellite 6'nın işlenmesinde sünek talaş oluşumu için aşındırıcı bulamaç türü, boyutları ve konsantrasyonu, takım malzemesinin doğası ve makinenin güç derecesi gibi çeşitli girdi faktörlerinin en uygun birleşimini deney tasarımı ve F-testi kullanarak bulmuşlardır. Çalışma, ilk kesme koşullarına kıyasla çok yanıtlı S/G oranında önemli bir iyileşme olduğunu göstermiştir.

Wu ve arkadaşları (2010)'da DTY' de dijital-dijital modelde yapılan nadir çalışmalardan birisini uygulamışlardır. Sinyal-faktör seviyeleri iki sınıfa ve çıktı iki veya daha fazla sınıfa ayrıldığında, deneylerde iki veya daha fazla hatanın ortaya çıktığını belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çıktının dört sınıfa ayrıldığı dijital dinamik sistemler için parametre tasarımını optimize etmek ve eşik değeri seçmek amacıyla genel bir model önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın uygulanması ve etkinliğini iki vaka çalışması ile göstermişlerdir.

Dasgupta ve arkadaşları (2010)'da ölçüm sistemlerinin güçlü tasarımı için tek bir parametre tasarımı deneyiyle ölçüm varyasyonunun azaltılması ve tahmini için bütünlük bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yu ve arkadaşları (2010)'da sağlam parametre tasarımını kullanarak maksimum elektrik güç çıkışını elde etmek için en uygun faktör ayarlarını belirlemişlerdir. DTY' yi kullanarak girdi sinyal faktörü olan farklı akım yoğunluklarına karşı maksimum ve kararlı güç yoğunluğunu elde etmişlerdir. Kontrol faktörleri ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi yapay sinir ağı kullanarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda basınç arttıkça elektrik gücündeki artışlar ve yanıtlardaki değişkenlik azaldığı için güç kararlılığı sağlanmıştır. Yadav ve arkadaşları (2010)'daki çalışmalarında daha önceki yaklaşımları tek bir model hâline getiren çok amaçlı eniyileme temelli hibrid bir kalite kayıp fonksiyonu önermişlerdir. Chatsirirung (2010)'da yaptığı çalışmada Genetik Algoritma ile lineer olmayan ve iki girdi sinyalli dinamik problemi Taguchi Yöntemi ile çözmüştür. Chang ve Chen (2011)'de dinamik çok yanıt parametre tasarımını sürekli parametre değerleriyle optimize etmek için arzu edilebilirlik fonksiyonlarına YSA / Genetik Algoritma yaklaşımını dâhil etmişlerdir. Önerilen yaklaşımda dinamik çok yanıt sistemi tek bir yanıt fonksiyon modeline dönüştürmek için sinir ağlarını, faktör seviye birleşimlerinin genel performansını değerlendirmek için üstel arzu edilebilirlik fonksiyonlarını ve parametre tasarımını optimize etmek için Genetik Algoritma yaklaşımını kullanmışlardır. Analiz sonuçları, yaklaşımın geleneksel Taguchi deney tasarımından daha yüksek performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Kumar ve arkadaşları (2011)'de Taguchi Yöntemi'ni kullanarak döküm proses parametrelerinin eniyilendiği bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Truong ve arkadaşları (2011)'de çıktı yanıtlarının zaman içinde ölçüldüğü farmasötik çalışmalardan meydana gelen güçlü tasarım problemlerinin çözümüne odaklanmışlardır.

Boylan ve Cho (2013)'te çoklu ve karışık tipteki kalite karakteristiklerini modellemek için geliştirilmiş bir yaklaşım sağlayan asimetrik sistem özelliklerinin daha doğru ve tam olarak temsil edilmesini sağlamak için çarpık normal dağılımın kullanıldığı disiplinlerarası bir sağlam parametre tasarımı yöntemini önermişlerdir.

Boylan ve arkadaşları (2013)'te çoğaltma maliyeti ve üretilen çözümlerin istenilen hassasiyeti arasında bir değiş-tokuş (trade-off) analizi önermişlerdir. Yaptıkları çalışmada karar vericiye potansiyel seçenekleri göstermek amacıyla Monte Carlo Simülasyonu'nu bir araç olarak kullanarak deneysel tasarımın erken aşamalarında çeşitli teknikleri dikkate almışlardır. Su ve arkadaşları (2013)'te ince film transistörlü sıvı kristal ekran ürünlerinin güvenilirliğini artırmak için FMEA ve Taguchi Yöntemi'ni birleştiren bir yaklaşım önermişlerdir. Gerçek bir vaka çalışmasıyla elektronik kâğıt ekranının güvenilirliğinin artırılmasında yaklaşımın etkinliğini göstermişlerdir.

Gauri (2014)'te yaptığı çalışmada çok yanıtlı problemlerin optimizasyonu problemine DTY ile birlikte yanıtlar arasındaki korelasyonu dikkate alan Temel Bileşen Analizi'ni uygulamıştır. Önerdiği yaklaşımın Gri İlişki Analizi ve TOPSİS metotlarından daha iyi sonuç verdiğini yaptığı bir vaka çalışmasıyla ispatlamıştır. Zahraee ve arkadaşları (2015)'te kan tedarik zinciri verimliliğini artırmak ve sağlam bir sistemi tasarlamak için benzetim deneyleri ve DTY'ni kullanmışlardır. İran'daki ulusal kan merkezi, çalışma örneği olarak seçilerek biri gürültü faktörü olmak üzere dört kontrol edilebilir faktörün eniyilemesini sağlayarak minimum stok seviyesine ulaştıkları tasarımı uygulamışlardır. Abd ve arkadaşları (2016)'da robotik esnek montaj hücrelerinde zamanlama problemini Bulanık Mantık ile birleştirilmiş DTY'ni kullanarak çözmüşlerdir. Seçilen faktörlerle tek bir yanıt yerine birden çok yanıtın aynı anda eniyilemesini gerçekleştirmek için çoklu performans karakteristikleri indeksi tabanlı bulanık mantık yaklaşımını önermişlerdir. Önerilen yaklaşım seçilen faktörlerin en uygun seviyelerini kullanarak zamanlamada önemli bir gelişme sağlamıştır.

Sholahudin ve Han (2016)'da yaptıkları çalışmada DTY ve sinir ağı modeli kullanarak çeşitli girdi parametrelerinin birleşimlerine bağlı olarak, anlık bina enerji yükünün tahmin eden bir yöntem geliştirmişlerdir. Isıtma yükü, Energy-Plus yazılımı

kullanılarak Seul'de tipik bir apartman için kışın bir aylık bir süre için hesaplanmıştır. Elde edilen veri setleri sinir ağı modellerini eğitmek için kullanılmıştır. Beş adet kontrol edilebilen faktörün ısıtma yükü üzerindeki etkisini araştırmak için TY' ni kullanmışlardır. Dış sıcaklık ve rüzgâr hızının en etkili parametreler olduğu ve dinamik modelin statik modele kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur. Çalışma sonucunda az sayıda girdi faktörü kullanarak hassas ve anlık ısıtma yüklerinin tahmin edilebildiği görülmüştür.

Li ve Zhu (2017)'de müşteri beklentileriyle ilgili en uygun ürün formu tasarımını elde etmek için Bulanık İntegral Tabanlı Taguchi Yöntemi kullanan sağlam bir tasarım geliştirmişlerdir. DTY ile yapılan deney sonuçlarına göre S/G oranları hesaplandıktan sonra bulanık integral değerine dayalı olarak çoklu performans karakteristik indeksi tanımlanmış, tasarım değişkenlerinin etkileri Varyans Analizi ile belirlenmiştir. Omrani ve arkadaşları (2018)'de gaz, buhar, kombine çevrim, rüzgar ve hidroelektrik dâhil olmak üzere beş farklı santralin en uygun seviyesini bulmak için Çok Yanıtlı Taguchi Yöntemi'ni Bulanık Sinir Ağı ile birleştirdikleri TOPSİS Metodu'nu kullanmışlardır. En iyi faktör-seviye birleşimlerini bulmak ve S/G oranlarını hesaplamak için TY'ni, kalan S/G oranlarını tahmin etmek için sinir ağı'nı uygulamışlardır. Çok yanıtlı en iyi faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesinde ise TOPSIS Yöntemi kullanılmıştır. Tong ve arkadaşları (2018)'de Taguchi kalite kaybı fonksiyonu ve S/G oranını kullandıkları bir yaklaşım önererek arıza tespiti yapmaya çalışmışlardır. Çok yanıtlı S/G oranını kullanarak karar vericilerin, üretim hattı sürecinde kaynak kalitesi hatasını bulmada çoklu seviyeler için tolerans eşiklerini belirlemişlerdir.

İwamoto ve arkadaşları (2018)'de, Dinamik Taguchi Yöntemi'ni kullanarak uçucu kül bazlı jeopolimerlerin optimizasyonunu sağlamışlardır. İki adet girdi sinyal faktörü olarak aktif dolgu maddesini ve alkalin çözeltisinin hacim oranını seçmişlerdir. Uçucu kül tipi ve deneylerin yapıldığı enstitüleri gürültü faktörleri olarak kabul etmişlerdir. DTY' nin uçucu kül bazlı jeopolimerin optimizasyonuna uygulanabilirliği teyit edilmiştir. Optimize edilmiş jeopolimer harcın uzun süreli stabil bir basınç mukavemetine ve sülfürik aside karşı üstün bir dirence sahip olduğu görülmüştür.

Onoue ve arkadaşları (2019)'da DTY'ni Japonya'nın Kyushu bölgesindeki iki farklı termik santraldeki uçucu kül bazlı jeopolimer harcının karışım oranlarını ve üretim koşullarını optimize etmek için uygulamışlardır. Tasarım parametrelerinin S/G oranları ve hassasiyetler üzerindeki etkileri incelenerek yeterli mukavemet ve dayanıklılığa sahip bir sistem oluşturulmuştur. Kumar ve arkadaşlarının (2019)'da yaptıkları çalışmada tedarikçi seçimi problemini TY ve TOPSİS Metodu'nu kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Hintli bir ağır lokomotif firması için en güvenilir tedarikçiyi bulmak amacıyla kalite, teslimat, fiyat ve hizmet gibi bazı faktörleri kullanmışlar ve tedarikçilerin objektif değerlendirilmesi için bütünleşik bir model önermişlerdir.

Genel olarak bazı araştırmacılar çoklu statik yanıt sorununu ele almışlardır. Tong, Su ve Wang (1997), Su ve Tong (1997), Vining (1998), Khuri ve Conlon (1981), Lin, Lin ve Ko (2002), Lu ve Antony (2002), Wu (2002), Dasgupta, Miller ve Wu (2010) bunlardan sadece birkaçıdır.

Çoklu dinamik kalite özellikleri için parametre tasarımı ile ilgili çalışma sayısı oldukça azdır. Bu konuyla ilgili çalışmaların bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir: Su ve Tong (1997)'de çoklu sinyal-yanıt problemlerine Temel Bileşen Analizi'ni önermişlerdir. Yanıtlar arasındaki S/G oranına odaklanmışlar ve yanıtlar arasındaki korelasyonu dikkate almamışlardır. Dovey ve Matthews (1998)'de yaptıkları çalışmada çok ölçütlü karar verme yöntemiyle birlikte TY'ni matkap uçlarının titanium nitrit ile kaplanması uygulamasında performans istatistiği olarak kayıp fonksiyonunu ele almışlardır. Kaplama maliyetlerinde %25, matkap uçlarının paslanmaya karşı olan dayanımlarında %40'lık bir iyileşme sağlanmıştır.

Tong ve arkadaşları (2001)'de yanıtlar arasındaki çelişki problemi için çekicilik fonksiyonu temeline dayanan İkili Yanıt Yüzeyi Yöntemi'ni önermişlerdir. İlk olarak yanıtlara bir regresyon modeli oluşturmuşlar ve daha sonra ortalama ve varyansın çekiciliğini hesaplamışlardır. Liao (2003)'te çok yanıtli benzetim eniyilemesinde TY ile TOPSİS Metodu'nu birlikte kullanmıştır. Diğer taraftan Huang ve Liao (2003)'te elektrik teli boşaltım mekanizması parametrelerinin eniyilemesinde Gri İlişki Analizi ve Taguchi Yöntemi'ni birlikte kullanmışlardır. Deneylerin tasarlanmasında OD'leri kullanmışlardır.

Yang ve Chou (2005)'te çok ölçütlü karar verme tekniklerini kullanarak çok yanıtlı benzetim eniyilemesi gerçekleştirmişlerdir. Chang (2008)'de çok yanıtlı dinamik kalite özelliklerini eniyilemek için Veri Madenciliği yaklaşımını TY ile bütünleştirerek bir yöntem önermiştir. Çalışmada en iyi faktör ayarlamasını bulmak için Tavlama Benzetimi yaklaşımını kullanmıştır. Problemin çözümünde yanıt değişkenleri yerine yanıtların S/G oranlarını ve tek bir dizin oluşturmada geometrik ortalamayı kullanmıştır.

Tong ve arkadaşlarının (2007)'de yaptığı çalışmada çok yanıtlı süreç eniyilemesi amacıyla VİKOR Metodu ile TY birlikte kullanılmıştır. Kuo ve arkadaşları (2008)'de çok ölçütlü benzetim problemlerinin eniyilemesine gri ilişkisel derece tabanlı TY'ni uygulamışlardır. Biswas ve arkadaşları (2009)'da çok yanıtlı toz altı ark kaynağı-SAW eniyilemesi çalışmasında VİKOR tabanlı Taguchi Yöntemi'ni, Lan ise (2009)'da bir frezeleme işleminde TY ve TOPSIS Metodu'nu birlikte kullanmıştır.

Pal ve Gauri (2010)'da ağırlıklandırılmış Taguchi S/G oranı ile Çoklu Regresyon Tekniği'ni birleştirdikleri yeni bir metot önermişlerdir. Çalışmada iki deneysel veri setini önerilen metotla analiz ederken toplam S/G oranlarının yanı sıra tek tek yanıtların hedef değerlerine yakınlığını da ele alarak değerlendirmeler yapmışlardır.

Awad ve Kovach (2011)'de çok yanıtlı problemleri eniyilemek için süreç kapasite indeksi tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Kullandıkları indeks her yanıt ancak bir hedef değere sahipse uygulanabilmektedir. Jalili, Bashiri ve Amiri (2012)'de Veri Zarflama Analizi'ni proses kapasite indeksi ile birlikte kullanmışlardır. Her iki yöntemin yanıt değişkenleri ve kontrol edilebilir faktörler arasındaki lineer olmayan ilişkiler için uygun olduğu yapılan bir uygulama ile gösterilmiştir. He, Zhu ve Park (2012)'de çok yanıtlıları aynı anda eniyilemek için sağlam bir çekicilik fonksiyonu yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır.

Tüm bu çalışmalar göstermiştir ki dinamik sistemleri incelemek için gerekli olan bir indeks sistemi iki önemli koşula sahip olmalıdır. İlk olarak hem yanıtların dağılımı hem de konumu birlikte düşünülmeli; ikinci olarak ise önerilen indeks, yanıtlar arasındaki ilişki ve sinyal faktöründe doğrusallık gibi herhangi bir gevşemeye meydan vermemelidir. Taguchi Yöntemi'nin çok farklı alanlarda ve etkin bir şekilde kullanıldığı yapılan çalışmalardan görülmektedir. Regresyon analizi gibi

matematiksel model yaklaşımlı çalışmalarda (Tong ve diğ., 2002; Hsieh ve diğ., 2005; Wu, 2007; Zhang ve diğ., 2014; Bashiri ve diğ., 2016) matematikte veya istatistikte iyi bir deneyime sahip olmayı gerekmektedir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile bütünleşik olarak yapılan çalışmalarda (Tong ve diğ., 2004; Wang ve Tong, 2005; Wang, 2007; Zhong ve Liu, 2009; Gauri, 2014; Wu, 2015) TY TOPSİS, VİKOR gibi yöntemlerle birlikte kullanılmıştır. Meta-sezgisel tabanlı bazı çalışmalarda (Chang, 2006; Chang, 2008; Tong ve diğ., 2008; Chang ve Chen, 2011) TY ile elde edilemeyen en uygun çözüm alternatifleri bulunmaya çalışılmıştır. Literatür incelemelerini gösteren tablolar Ek-A' da listelenmiştir.

1.3. Kalite Kavramı

Kalite çok yönlü bir kavram olup kişilere, toplumlara, ülkelere, kullanılan ürün veya hizmete ve kullanım yerine, şekline ve konumuna göre farklılık gösteren kalite anlayışları ve kalite sağlama şekilleri olduğu söylenebilir. Üretim miktarlarının artması ve değişen taleplerle birlikte artan rekabet nedeniyle kalite giderek artan bir önem arz etmiştir. Shewhart (1931)'de istatistiği kullanarak ürün kontrolü yapılması fikrini ileri sürdüğünde kalite kavramı bilimsel bir temel kazanmıştır. Deming (1950)'lerin başında Japonya'da istatistiksel kalite kontrolü anlayışının yerleşmesinde öncü olmuştur. Juran (1954)'te Japonya'da yöneticilere bir dizi seminer vererek kalitenin ve verimliliğin yönetim tarafından anlaşılmasını sağlamıştır (Flood, 1995). Kalite sadece müşterileri şikâyetlerini önleme değil, müşterileri memnun etmenin bir aracı olarak gören Garwin, kaliteyi sekiz boyutun bir bileşimi olarak ifade etmiştir (Bumin ve Erkutlu, 2002). Bunlar;

1. Performans: Mal veya hizmetin temel iş görme özelliklerini olup genellikle ölçülebilir değerlerdir.
2. Ek özellikler: Bunlar mal veya hizmetin temel özellikleri yanında sahip olduğu ve müşterinin tercih etme ihtimalini artıracak olan yan özelliklerdir.
3. Ürünün güvenilirliği: Ürünün belli bir süre bozulmayacağı ve kendisinden beklenen performansı karşılama kabiliyetidir.
4. Uygunluk: Üretilen mal veya hizmetin daha önceden belirlenen standartlara uygunluğu ile ilgili kalite boyutudur.
5. Dayanıklılık: Ürünün kullanım ömrünün uzunluğunun ölçüsüdür.

6. Bakım hizmetleri kolaylığı: Servis ihtiyacı olduğunda ürünün bu hizmeti alabilme hızı, imkânı ve kolaylığıdır.
7. Estetik: Müşterinin kişisel tercihini yansıtan ve ürünün genel görünümü, şekli gibi kişiye göre değişen özelliklerini gösteren kalite boyutudur.
8. Algılanan kalite: Kişiye göre değişen subjektif bir kalite boyutudur. Müşterinin algıladığı kalite olup yukarıda sayılan kalite boyutları ile ilgili yeterli bilgi toplanamadığı durumlarda ürünün markası, imajı gibi özellikler müşteri için önem kazanır.

Üretilen ürünlerin ya da verilen hizmetlerin müşteri tarafından kabul görmesi kalite tanımlamasında oldukça önemli bir unsur olan kusursuzluk ile mümkündür. Eğer ürün müşteri tarafından kötü kalite nedeniyle kabul görmediyse bu duruma neden olan etkenler belirlenmeli ve ortadan kaldırılmalıdır. Crosby kötü kalitenin bedelinin kusurları ve israfı yok eden işlemlerle ortadan kaldırılabileceğini ifade etmiştir. Kaliteyi “ihtiyaçların ne fazla ne de eksik değil, tam olarak karşılanması ve gerekliliklere ve şartnamelere uygunluk” olarak tanımlamış ve ürün kalitesine ilişkin dört madde saymıştır (Crosby, 1980): Tanımlama, kalite gerekliliklerine uygun performans; sistem, kusurların önlenmesi; performans standardı, sıfır hata ve ölçüm, ideal kaliteye uygunsuzluğun bedeli.

Collier kaliteyi mal ve/veya hizmetin müşteri tarafından algılanan soyut ve somut ayırıcı özellikleri olarak tanımlamıştır (Uyguç, 2000). Juran’ın (1967)’de “Kalite Kontrol Çemberleri Olayı” isimli çalışmasından sonra kalite kontrol çemberleri batı ülkelerinde de tanınmaya başlamıştır. Japonya’da istatistiksel kalite kontrol yöntemleriyle başlayan çalışmalar, kalite kontrol çemberleriyle gelişmiştir.

Zeithaml, kaliteyi üstünlük veya mükemmellik olarak tarif etmiş ve özellikle hizmet kalitesinin tanımlanması üzerinde durmuştur. Üretilen bir malı pazarlayanların kalitenin hem tanımını hem de ölçümünü kolaylıkla ve artan bir hassasiyetle yapabildiklerini belirtmiş ancak hizmet üretenlerin kaliteyi kontrol edebilmek ve onu anlamak konusunda zorluklar yaşadıklarını söylemiştir. Bunun sebebinin ise hizmetlerin çıktı olarak üründen ziyade bir performans olmasını göstermiş ve hizmet firmaları için standart üretim özelliklerini belirleyip uygulayabilmenin nadir bir durum olduğunu belirtmiştir (Zeithaml ve diğ., 1988).

1.3.1. Kalitenin özellikleri

Ürün ya da hizmetlerin farklı amaçlarla kullanılması uygunluk açısından değişik elemanların belirlenmesini gerektirir. Bu elemanlara “kalite özellikleri” denir ve dört gruba ayrılabilir (Ertuğrul, 2014, s. 9):

1. Yapısal özellikler: Çap, uzunluk, kimyasal yapı vb.
2. Zamana bağlı özellikler: Güvenirlilik, tamir edilebilirlik vb.
3. Hissedilen özellikler: Yüzey pürüzlülüğü, renk, tat, koku vb.
4. Ahlaki özellikler: İşletmenin müşteriyle ilişkilerinde iyi niyet, dürüstlük vb.

Bu özelliklere göre bir mal ya da hizmetin kalitesi amacına uygun bir şekilde yerine getirdiği fonksiyonlara bağlı olarak farklı anlamlar taşıyan çok boyutlu bir kavramdır. Kalite her müşteri için farklı özellikler taşımakta olup her bir müşteri için önem dereceleri birbirinden farklı olmaktadır. Aslında kalite ve kalitenin taşınması gereken özellikler görecelidir. Ancak bir ürünün taşınması gereken temel özellikler vardır ki günümüzde her ürünün bir alternatifinin olduğu düşünülürse firmaların kusursuz ve maliyeti düşük ürünleri üretmesi ve sürekliliğini sağlaması aslında kaliteyi sağlaması anlamına gelmektedir.

1.3.2. Üretim planlama ve kalite

Genellikle firmalar hangi ürünleri tanıtacaklarını ilk olarak planlarlar. İkinci olarak ürünleri imal etmek için süreçleri tasarlarlar. Son aşamada ise ürünleri üretip satarlar. Ürün geliştirmenin başlıca aşamalarını Taguchi altı madde halinde sıralamıştır (Taguchi, 1993):

- Ürün / hizmet planlama: Pazar analizi yapılır, birincil hedefler belirlenir, fiyatlandırma yapılır ve yeni ürünün ömrü tespit edilir.
- Ürün tasarımı: Ürünün tasarlanması ve geliştirilmesi için yapılan her türlü faaliyeti kapsamaktadır.
- Üretim sürecinin tasarımı: Ürünün imalatı için üretim prosesinin tasarlanması ve geliştirilmesi aşamasıdır.
- Üretim: Ürünün imalat faaliyetlerinin yürütüldüğü çalışmalardır.
- Satış: Ürünün müşterilere sevk edildiği aşama uygun ambalajlama ve sevkiyat koşulları sağlanmalıdır.

- Ürün servisi: Arızalı ürünlerin garantileri ve talepleri gibi satış sonrası hizmet konularının ele alındığı üretim faaliyetleridir.

Ürün fiyatları imalat maliyetlerinin en az birkaç katı olarak belirlenmektedir. Yeni ürünler tasarlanırken eğer pazarda rakip ürünler var ise -günümüz rekabet ortamında yerli ve yabancı olarak birden fazla- tasarım mühendislerine piyasada tutunabilecek fiyatta ürün tasarmaktadırlar. Firmalar tasarımdan servise kadar olan tüm aşamalarda öncelikli olarak kalite ve maliyete birlikte odaklanmalıdır. Kalite, ürünün tasarımı aşamasında dikkate alınması gereken en önemli unsurdur, denilebilir. Ayrıca kaliteyi sadece mal ve hizmet için değil insan ve toplumlar içinde önemli bir kavram olarak kabul etmek gerekir. Çünkü küresel dünyada kaliteli insan ya da toplum, kaliteli ürün ya da hizmet tasarımının tek ve vazgeçilmez ögesidir. Kalitenin tasarım aşamasında planlanmasında sistematik bir şekilde aşağıdaki adımların takip edilmesi gerekmektedir (Taguchi, 1993).

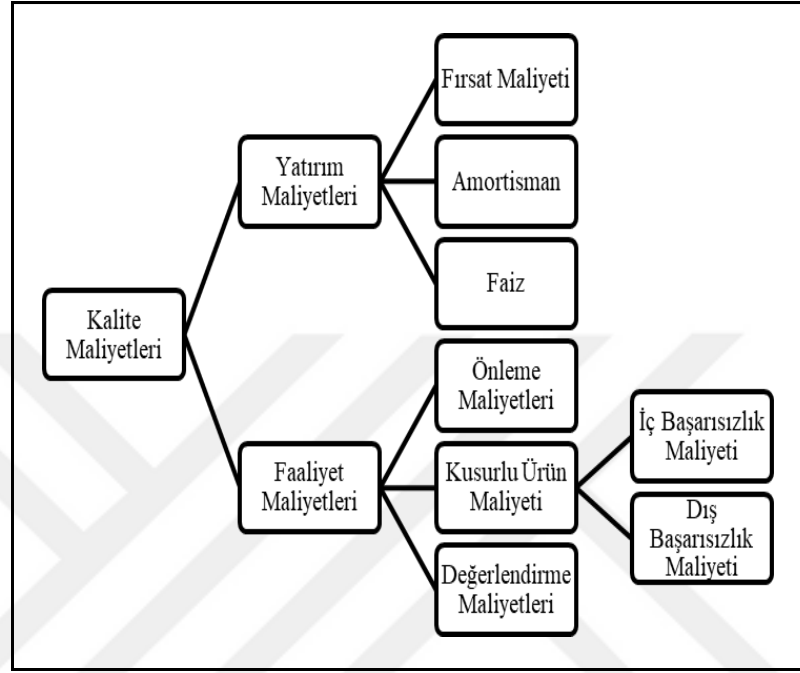
1. Politika ve amaçların belirlenmesi: Yöneticiler pazarı kimlerin oluşturduğunu, hangi kalitede ürün üretilmesi gerektiğini ve rakip firmaların kalite ile ilgili yaptığı değişiklikleri tespit etmeli ve sürekli olarak pazarı takip etmelidirler.
2. Ürünün yeniden gözden geçirilmesi: Üretilen ürünün değişen pazar şartları ve müşteri isteklerine göre değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir.
3. Kalite-maliyet analizlerinin yapılması: Kalitenin sağlanması için yapılan çalışmalarda firmaların maliyetlerini kontrol altında tutması pazarda kalabilmek için son derece önemlidir. Bu nedenle kalite sağlamada düşük maliyet, yüksek kalite anlayışı ile çalışmak firmalar için fayda sağlayacaktır.

1.3.3. Kalite maliyetleri

Bir ürün ya da hizmet, hedef müşteriye tatmin etmede başarısız olmuşsa bu o ürün veya hizmetin kusuru olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.1'de kalite ile ilgili maliyetler görülmektedir (Juran ve Gryna, 1993). Ortaya çıkan kusurlar, brüt satışların %20-30'luk kısmını oluşturan ve dört ana grupta toplanan kalite maliyetlerini artırmaktadır (Yükçü, 2010).

- Değerlendirme maliyetleri: Ürün ya da hizmetlerin daha önceden belirlenen performanslara uygunluğunun değerlendirilmesi amacıyla yapılan kalite muayene

ölçümleri, bu çalışmaların yürütülmesi ve kontrol edilmesi amacıyla yapılan masraflar bu gruba girer. Ham madde / malzeme girdi muayene ve testleri, ölçüm cihazlarının kullanılmasıyla ortaya çıkan masraflar ve yeniden düzenleme masrafları bu gruba dâhil edilmektedir.



Şekil 1.1. Kalite maliyetleri

- Önleme maliyetleri: Problemlerin oluşmadan önlenmesi için firmaların kalite sistemlerini tasarlama, oluşturma ve firma içine yerleştirme çalışmalarının ortaya çıkardığı maliyetlerdir. Kusurlu ürünlerin oluşması neticesinde ortaya çıkan iç ve dış başarısızlık maliyetlerinin önlenmesi için alınan tedbirlerin oluşturduğu maliyetler de bu grupta toplanmaktadır. Önleme maliyetleri, kalite planlama maliyetleri, kalite ölçüm ve test cihazlarının tasarımı ve geliştirilmesi ile bakım ve ayarlama maliyetleri, kalitenin gözden geçirilmesi, tedarikçi garantileri, kalite eğitim ve denetim giderleri ve süreç kontrol maliyetlerini kapsamaktadır.
- İç başarısızlık maliyetleri: Müşteriye ulaşmadan işletme içinde ortaya çıkan üretim kusurlarının neden olduğu maliyetlerdir. Müşterilerin açık veya saklı ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz olan ürün ve hizmetlerin kusurlarını düzeltme, iyileştirme ve ortaya çıkarma maliyetleridir (Kendirli ve Çağırın 2002). Bozuk ürünlerin maliyeti, yeniden üretim, test tekrarı ve muayene maliyetleri, zaman kaybı maliyetleri iç kalitesizlik maliyetleridir. Hurda maliyetleri; yerine koyma,

yeniden üretme ve tamir, tedarikçi firma hataları, değişim izinleri ve uzlaşmalar, kazanç ve zaman kayıpları, yönetimin aldığı yanlış kararlar nedeniyle oluşan hataların neden olduğu maliyetler bu grupta toplanmaktadır.

- Dış başarısızlık maliyetleri: Düşük kaliteli ürünün müşteriye sevkıyatı, teslimi, satış sonrası verilen hizmetler ve servislerde ortaya çıkan aksamalar nedeniyle oluşan maliyetlerdir (Koç ve Demirhan 2007). Garanti sürecinde yerine getirilmek zorunda kalınan yükümlülükler, iade edilen ürünler, hatalı ürün nedeniyle ortaya çıkan satış kaybı, geri alma maliyetleri, diğer müşterileri etkileme, garanti hizmeti hukuki davaların maliyetleri bu grupta toplanmaktadır. Müşteri memnuniyeti açısından ürün pazarlandıktan sonra verilen hizmetlerin aksaması nedeniyle oluşan imaj ve müşteri kaybı firmalara yüksek maliyet olarak yansımaktadır. Dışsal başarısızlık maliyetleri firmaların pazar payını ve kârlarını azaltmanın yanında toplumda oluşturduğu kayıplar nedeniyle kalite maliyetleri içinde en tehlikeli olanlarıdır. Bu nedenle ürünün tasarımı ve geliştirilmesi aşamasında müşteri odaklı kalite anlayışı ile henüz ürün tasarım aşamasındayken yapılan çalışmalarla kusursuz üretim yapılması son derece önemlidir.

1.4. Kaliteyi Oluşturan Temel Bileşenler

Kalitenin çok sayıda bileşeni olmakla birlikte kalite kavramı, tasarım kalitesi, uygunluk kalitesi ve performans kalitesi olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır (Sarıkaya, 2003).

1.4.1. Tasarım kalitesi

Ürün veya hizmetin müşterinin istediği özelliklere sahip olması için tasarım aşamasında yapılan çalışmalardır. Tasarım kalitesi, müşteri anketleri ve kullanıcı ziyaretleri ile başlayıp müşteriyi tatmin edecek ürün veya hizmet kavramının tüm detayları ile belirlenmesi için yapılan çalışmaları kapsayan önemli bir süreci kapsar. Bu aşamadan sonra ürün veya hizmet için müşteri şartnamelerinin hazırlanması ile süreç devam etmektedir (Bozkurt ve Odaman, 1995).

İşletmeler için tasarım açısından iki farklı durum söz edilebilir. Birinci durumda tasarımın özellikleri üretici kuruluşun inisiyatifi dışında müşteri tarafından belirlenebilir ya da sektörde geçerli olan belirli standartlara uygunluk gerekebilir.

İkinci durumda ise nihai tüketime yönelik tekstil, elektronik, dayanıklı tüketim malları gibi ürünlerde tasarım özellikleri üretici kuruluş tarafından belirlenir. En uygun tasarım kalitesinin belirlenmesi, kalitenin tüketici açısından değeri ile tüketiciye olan maliyeti arasında optimum noktanın bulunması sürecidir (Kavrakoğlu 1993).

1.4.2. Uygunluk kalitesi

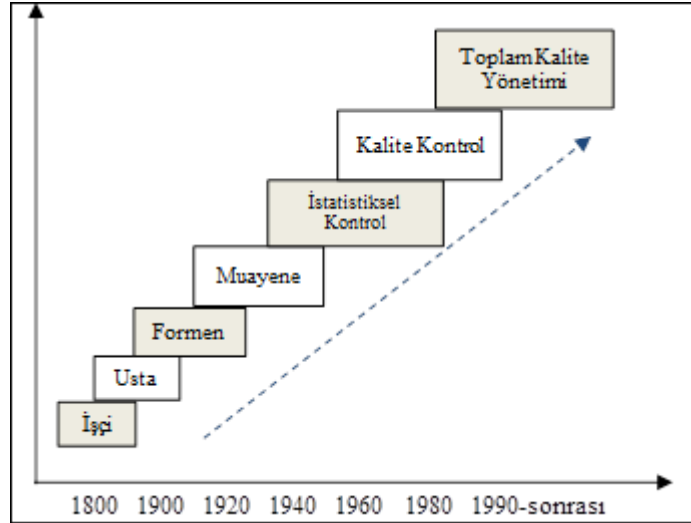
İşletmenin ve tedarikçilerin müşteri ihtiyaçlarını karşılamada gerekli olan tasarım şartnamelerini karşılayabilme ölçüsü uygunluk kalitesi olarak adlandırılır (Tekin, 2004). Uygunluk kalitesinin değerlendirilmesinde hedeflenen değer ve tolerans olmak üzere iki gösterge söz konusudur. Tolerans aralığındaki hassasiyet ürüne göre değişir. Hangi tür ürün olursa olsun, tolerans aralığındaki ürünler uygun kabul edilmesine rağmen sapmalar arttıkça kalite seviyesi düşer ve üretim ekonomik olmaktan uzaklaşır (Kavrakoğlu 1993).

1.4.3. Performans kalitesi

İşletmelerin ürün veya hizmetlerinin pazardaki performans düzeylerinin müşteri araştırmaları, satış veya hizmet analizleri ile belirlenmesidir. Bu çalışmalar, satış sonrası hizmet, bakım, güvenilirlik ve lojistik destek analiz ve araştırmalarıyla işletmenin ürün ya da hizmetlerini müşterilerin niçin satın almadıklarının araştırılmasını kapsamaktadır. Tüm bu araştırmalar neticesinde yeni ürün / hizmet tasarımlarına karar verilebilir (Bozkurt ve Odaman 1995).

1.5. Kaliteyi Etkileyen Faktörler

İşletme içinde ve dışında kaliteyi etkileyen çok sayıda faktörün varlığından söz edilebilir. Yönetim, insan gücü, motivasyon, malzeme, makine ve ekipman gibi üretim araçları, üretimde kullanılan yöntemler, ölçme araçları ve ölçüm tekniklerinin tamamı işletme içi faktörler olarak adlandırılmaktadır. Müşterilerin özellikleri, pazar yapısı, finansal imkânlar, değişen müşteri istek ve ihtiyaçları, teknoloji ve rekabet gibi faktörler ise işletme dışı faktörler arasında sayılabilir. Ürün ya da hizmetin kalitesinin tam anlamıyla belirlenmesinde işletme içi ve işletme dışı faktörlerin tümünün dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 1.2’de kalitenin tarihî seyri görülmektedir (Feigenbaum, 1986).



Şekil 1.2. Kalitenin tarihî gelişimi

İnsanlar çok eski zamanlarda bile üretilen her üründe belli kalite özelliklerinin olmasını arzu etmişlerdir. Bir ustanın yaptığı tekli üretimlerde ürünün müşteri taleplerine uygun olarak yapılması amacıyla kendi kendine yaptığı kontrol faaliyetleri ürün adetlerinde ortaya çıkan artışla daha sistemli bir hâl almıştır. Bir veya birkaç işçiden oluşan küçük gruplarla yapılan üretimlerde kalite kontrol işçi tarafından yapılırken üretim faaliyetleri ve ürün çeşitliliği artınca kalite kontrol ustabaşları tarafından sağlanmaya başlamıştır. Ancak artan üretim miktarları kalitenin kurulan özel bölümlerce kontrol edilmesini zorunlu hâle getirmiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra üretimin fabrikalarda ve kitlesel bir şekilde yapılması sonucu artık %100 muayenenin mümkün olmadığı görülmüş ve istatistiksel kontrol ile kalite sağlanmaya çalışılmıştır. Artan rekabet ile kalitenin sadece bir bölüm tarafından değil, bütün organizasyon tarafından sağlanması gerçeği Toplam Kalite Yönetim anlayışını ortaya çıkarmıştır.

Her alanda olduğu gibi mal ve hizmet üretim faaliyetlerinde de kontrolün önemli bir yeri vardır. Firmalar, mal ve hizmet üretimlerinde öncelikle belirli bir kalite hedefi oluşturup sonra bu hedefe ulaşmak için birçok aracı birlikte kullanır. Günümüzde işletmeler, ürün kalitesini maksimum düzeyde gerçekleştirmek ve kaliteyi aynı seviyede ve hatta daha mükemmele ulaştırmak için birtakım faaliyetlerde bulunur. Kaliteyi oluşturacak bu faaliyetler kalite kontrol faaliyetleri olarak adlandırılır. Kalite; kontrol, muayene, analiz ve uygulama aşamalarından oluşan bir sistem olarak tanımlanabilir.

1.6. Kalite Kontrol

Kalite kontrol, bir ürünün, tüketicisini tatmin etmesi ve onun beklentilerini en iyi biçimde karşılaması amacıyla üretimin her aşamasında sürdürülen denetim işlemleridir. Üretimi yapılan parça, ürün ve prosesten alınacak numunelerin incelenmesi suretiyle istenilen kalite seviyesine ulaşılması için yapılan işlemlere “kalite kontrol” adı verilir (Kavrakoğlu, 1993). Kalite kontrol, üretimin planlanması aşamasında belirlenen kalite standartlarına üretim öncesinde, sonrasında ve üretim esnasında ne ölçüde uyulduğunun incelenmesi ve gözlenmesi olarak da tanımlanabilir. Ancak kalite kontrol, yalnızca gözetleme, muayene ve ölçümleme işlemi olarak anlaşılmamalıdır. Daha geniş anlamda kalite kontrol;

- Ürün ya da hizmet ile ilgili kaliteye ait standartların ve temel prensiplerin üst yönetim düzeyinde belirlenmesi,
- Kontrol ve gözlem işlemlerinin örgütlenmesi ve uygulanan yöntemlerin geliştirilmesi,
- Kalitenin bozulmasını ve planlanan kaliteye ulaşılmasını engelleyen durumların ortadan kaldırılması,
- Kalite sorunları hakkında işletmenin tüm birimlerine danışmanlık hizmetlerinin verilmesini kapsamaktadır (Barutçugil, 1988).

Kalite kontrolü ile verimlilik, üretim oranları ve satışlar artarken ürün ve hizmet maliyetleri düşürülerek firma kârları yükseltilebilir. Ürünün kalitesi konusunda hak edilmiş iyi bir marka olmanın rekabetçi pazar ortamında büyük bir üstünlük sağladığı herkesçe kabul edilmektedir. Birinci Dünya Savaşı’nın ortaya çıkardığı şartlar, üretim sistemlerini eskiye göre daha karmaşık hâle getirmiş ve kalite kontrol faaliyetlerinin bu alanda uzmanlaşmış kişiler tarafından muayene ile yapılması zorunlu olmuştur.

Kitle üretiminde ürün miktarların çok yüksek olması %100 muayeneyi olanaksız kılmıştır. Bu aşamada örnekleme yaparak tüm üretim partisinin kalitesi hakkında istatistiksel çıkarım yapmaya yönelik olan istatistiksel kalite kontrol firmalara büyük faydalar sağlamıştır. Bu dönemde muayenecilerin rolü değişmiş, örnekleme, kontrol şemaları gibi bazı istatistiksel araçları kullanarak kalite kontroldeki görevlerini

devam ettirmişlerdir. İstatistiksel kalite kontrol, İkinci Dünya Savaşı döneminden sonra istatistiksel proses kontrolü yönünde gelişmiştir (Ertuğrul, 2014).

1.6.1. Kalite kontrolünde istatistiki yöntemlerin yeri ve önemi

İncelenecek konuyla ilgili sayısal verilerin toplanması, özetlenmesi, konuyu tanıttak şekilde işlenmesi, belirli faktörlere göre analizi, başka verilerle ilişkilerinin tespiti ile sonuçların yorumlanması için yapılan tüm işlemler “istatistiksel yöntem” olarak adlandırılır (Kavrakoğlu, 1993). Üretim yöntemlerinin ve ürün yapısının karmaşıklığı kaliteli ve değişkenliğin olmadığı tek tipte ürün elde etmeyi neredeyse imkânsız kıldığı için istatistik bu sorunların çözümünde kullanılan temel araç haline gelmiştir. Toplu üretimlerin söz konusu olduğu durumlarda kaliteyi kontrol etmek ve muayene edilecek birimlerin miktarlarını belirlemek ancak istatistiki yöntemlerin kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.

Kalite kontrol faaliyetlerinde firma girdilerinin ve çıktılarının kontrol edilmesi; çevrim veya dönüşüm faaliyetlerinin yürütüldüğü üretim sürecinin kontrol edilmesi olmak üzere istatistiki örnekleme tekniğini kapsayan iki ayrı yaklaşım kullanılmaktadır. Japonlar dünya savaşını çok büyük zararlarla kapatmış bir toplum olarak Birinci Dünya Savaşı’ndan zaferle çıkan Batılı ülkelerle rekabet edebilecek boyutta ürün üretmek için çok çalışmaları gerektiğini biliyordu. Japonların, dünya piyasalarında kalite konusunda yüksek rekabet gücüne sahip olabilmelerinin önemli nedenlerinden biri, Batılı ülkelerin takip ettiğı geleneksel düzeltici kalite kontrol ve örnekleme yoluyla incelemeye daha az önem vermeleri, kaliteyi işletmelerin tüm aşamalarına yerleştirmeleri ve bu amaçla istatistiki yöntemleri etkin bir biçimde kullanmaları olmuştur. Bu şekilde gerektiğı yerde uygun önlemleri almak daha kolay olmakta ve ekonomik açıdan da yarar sağlamaktadır (Newbold ve diğ., 2017).

1.6.2. Kalite kontrol modelleri

Değişen dünya görüşleri ve şartlar kalite kontrolde de farklı modeller ortaya çıkmasını zorunlu kılmıştır. Kalite kontrol modelleri üç kısma ayrılabilir (Ertuğrul, 2014):

Klasik kalite kontrol modeli: Sanayi devrimi ile 18. yüzyıl ortalarında İngiltere’de başlayıp 19. ve 20. yüzyıldan itibaren Avrupa ve Amerika’da yayılmıştır. Klasik

anlayış, Taylor'un bilimsel yönetim ilkeleriyle şekillenmiş, Ford'un yürüyen bant ve teşvikli ücret sistemiyle ilerlemiş ve Fayol'un yönetime getirdiği fonksiyonel yaklaşım ile rasyonellik temeline dayalı bir model hâlini alarak olgunlaşmıştır (Düren, 1996).

Kalsik kalite kontrolünde modelde uzmanlaşma önemlidir ve kalite kontrol ilgili departmanın sorumluluğundadır. Kalite kontrol mühendisleri bu dönemde ortaya çıkmıştır. Kaliteyi ölçmek ve değerlendirmek sadece kalite kontrol departmanının sorumluluğundadır. Kalite ve maliyet doğru orantılı için belirli bir seviyenin üzerinde kaliteyi sağlamak ancak maliyetlerin yükselmesi ile mümkündür (Kavrakoğlu, 1993). Kalite 1700'lü yıllarda zanaatkârların ürettikleri ürünlerde kişisel çabaları ile elde etmeye çalıştıkları en iyi ürünü sağlama çabasından günümüze kadar pek çok evreden geçerek gelmiştir. Taylor, Ford, Fisher, Shewhart, Deming, Feigenbaum, Taguchi ve Kavrakoğlu gibi pek çok bilim insanı kalite çalışmalarına müşteri ihtiyaçları ve üretim şartlarına bağlı olarak katkılarda bulunmuşlardır. Kalitenin ve kalite kontrolün gelişim aşamaları Tablo 1.1'de görülmektedir.

Zanatkârların tekli üretimlerinden sonra ilk olarak Frederick W. Taylor, işleri daha küçük ve daha kolay yapılabilir parçalara ayırarak daha karmaşık ürünlerin ve süreçlerin uygulamasına başlamıştır.. Daha sonra bu konuya başka çalışmalarla katkıda bulunulmuştur.

Henry Ford kurduğu montaj fabrikasında üretim miktarlarını yükseltmek ve kaliteyi geliştirmek için daha farklı metotları uygulamıştır. Hatasız montaj, kendini kontrol ve süreç muayenesi kavramlarını geliştirmiştir. Ford' un öncülüğünü yaptığı bu çalışmalar İngiltere'de ilk standartlar laboratuvarı ve benzeri kurumların oluşturulmasını sağlamıştır. Fisher tarım bilimi uygulamaları ile deneysel tasarımını tanıtmıştır. Shewhart; Bell laboratuvarları teknik notlarında kontrol diyagramları kavramını dünyaya tanıtmıştır. Juran ve Deming kontrol diyagramlarının kullanımının yaygınlaşmasında öncülük etmişlerdir. Kabul edilir örneklem metodolojisi, Dodge ve Roming tarafından Bell laboratuvarlarında geliştirilmiş ve Shewhart "İmalat ürünlerinin kalitesinin ekonomik kontrolü"nü çizerek yayınlamıştır. Taguchi, kaliteli mühendisliği; Feigenbaum toplam kalite kontrolü kavramlarını geliştirmiştir.

Tablo 1.1. Kalite kontrol gelişim evreleri (Kavrakoğlu, 1993)

TARİH	KALİTE GELİŞİM EVRELERİ
1700-1900	Kalite, daha çok zanaatkarların kişisel çabalarıyla belirleniyordu.
1875	Frederick W. Taylor işleri daha küçük ve daha kolay yapılabilir parçalara ayırarak daha komplike ürünlerin ve proseslerin uygulamasında ilk uygulamayı yaptı. Daha sonra Gilberth ve Gantt bu konuya katkıda bulundular.
1900-1930	Henry Ford montaj fabrikası üretkenlik ve kaliteyi geliştirmek için daha rafine çalışma metotları uyguladı. Hatasız montaj, kendini kontrol ve proses muayenesi kavramlarını geliştirdi.
1901	İlk standartlar laboratuvarları Büyük Britanya’da kuruldu.
1907-1908	AT&T sistematik muayeneyle ürün ve malzemelerin testlerine başladı.
1908	W.S. Gosset; Guinness Biraları’ndaki çalışmasında t-dağılımın tanıttı.
1915-1919	WWWI – İngiliz hükümeti “Tedarikçi Sertifikası Programı”na başladı.
1919	“Teknik Muayene Kurumu” İngiltere’de kuruldu. Bu kurum daha sonra “Kalite Güvence Enstitüsü” olarak anıldı.
1922-1923	R.A. Fisher deneysel tasarım ve tarım bilimi uygulamaları üzerine bir seri temel yazı yayımlandı.
1924	W.A. Shewhart; Bell laboratuvarları teknik notlarında kontrol diyagramları kavramını tanıttı. Juran, mühendis olarak mezun olup Western Electric Hawthorne’da çalışmalara katıldı.
1927	Deming, Bell Laboratuvarlarında Shewhart’dan kontrol diyagramı kavramını öğrendi.
1928	Kabul edilir örnekleme metodolojisi, H.F. Dodge ve H.C. Roming tarafından Bell laboratuvarlarında geliştirildi.
1931	W.A. Shewhart “İmalat ürünlerinin kalitesinin ekonomik kontrolü”nü çizerek yayınladı.
1932	W.A. Shewhart Londra Üniversitesinde üretim ve kontrol diyagramlarında istatistiksel metotlar eğitimi verdi.
1932-1933	İngiliz tekstil ve ağaç endüstrisiyle Alman kimya endüstrisi ürün proses geliştirme için deneysel tasarımı kullanmaya başladı
1933	Kraliyet istatistik kurumu, Endüstriyel ve Zirai Araştırma Bölümünü kurdu.
1938	W. E. Deming Shewart’i, Amerika Zirai Bölümü’ne kontrol diyagramları üzerine seminerler vermesi için davet etti.
1940	Amerika savaş departmanı, proses bilgilerinin analizinde kontrol diyagramlarının kullanımı için bir rehber yayımlandı.
1940-1943	Bell Laboratuvarları Amerikan ordusu için askeri standart örnekleme planını geliştirdi.
1942	Büyük Britanya’da istatistiksel metotlar ve kalite kontrol üzerine Tedarik ve Danışmanlık Bakanlığı kuruldu.
1942-1946	İşletmelerde kalite kontrol eğitim kursları verildi ve Kuzey Amerika’da on beşten fazla kurum kuruldu.
1944	Endüstriyel Kalite Kontrol dergisi yayınlanmaya başladı. Feigenbaum, General Electric’te Jet motorlarının kalitesi üzerine çalışmaya başladı. Burada “Toplam Kalite Kontrolü” yaklaşımını geliştirdi. Kalitesizlik maliyeti kavramını ortaya attı.
1946	Farklı kalite kurumlarının birleşmesiyle Amerikan Kalite Kontrol Kurumu kuruldu. Deming, Amerika Savaş Bakanlığının ekonomi ve bilimsel servisi tarafından Japonya’daki yeniden yapılanmaya yardım etmek üzere Japonya’ya davet edildi.
1946-1949	Deming Japon endüstrisinde istatistiksel kalite kontrol seminerleri vermek üzere davet edildi.
1948	Profesör G. Taguchi deneysel tasarım çalışmalarına başladı.
1950	Deming Japonların endüstriyel yöneticilerini eğitmeye başladı ve Japon düşüncesinde istatistiksel kalite kontrol metodu yaygınlaşmaya başladı. Profesör K. Ishikawa sebep ve sonuç diyagramlarını tanıttı. Eugene Grant ve A.J. Duncan tarafından, istatistiksel kalite kontrolde klasik testler oluşturuldu.

Tablo 1.1. (Devam) Kalite kontrol gelişim evreleri (Kavrakoğlu, 1993)

TARİH	KALİTE GELİŞİM EVRELERİ
1951	Dr. A.V. Feigenbaum “Toplam Kalite Kontrol” adlı kitabının ilk baskısını yayınladı. JUSE ürün kontrolü ve kalite metodolojisinde başarılı olanlara verilmek üzere Deming ödülünü çıkardı. G.E.P Box ve K.B. Wilson proses eniyilemesi için deneysel tasarımın kullanımı hakkında temel bir çalışma yayınlandı. Bundan sonra uygulamalar kimya endüstrisinde düzenli olarak gelişti.
1954	Dr. Joseph M. Juran bazı kalite geliştirme ve yönetimi eğitimleri vermek için Japonya’ya davet edildi.
1957	J.M. Juran ve F.M. Gryna’nın Kalite Kontrol El Kitabı ilk defa yayınlandı.
1959	Technometrics (fizik, kimya ve mühendislik bilimleri için istatistik dergisi) kuruldu ve editörü J. Stuart Hunter oldu. S. Robert, üstel ve ağırlıklandırılmış hareketli ortalama kontrol diyagramlarını tanıttı. Amerika’nın insanlı uzay uçuşları programı endüstriyi güvenilir ürünlere olan ihtiyaç hakkında bilgilendirdi ve bundan sonra güvenilirlik mühendisliği gelişti.
1960	G.E.P Box ve J.S. Hunter faktöryel tasarım üzerine temel bir yazı yazdılar. Japonya’da K. Ishikawa tarafından toplam kalite çemberleri kavramı tanıtıldı.
1961	Kalite ve Verimlilik Uluslararası Konseyi Büyük Britanya’da İngiliz Verimlilik Konseyinin bir bölümü olarak kuruldu.
1960’lar	İstatistiksel kalite kontrol kursları endüstri mühendisliği akademik programlarında yer almaya başladı. Taguchi, istatistik kalite kontrolü çalışmalarıyla Deming ödülünü kazandı. Sıfır hata programları Amerika endüstrilerinde tanıtıldı.
1965	Crosby, ABD’de ilk olarak kaliteden sorumlu başkan yardımcısı olarak ITT’de göreve başladı. Crosby, “Kalite Bedavadır” teması üzerine danışmanlık çalışmalarına başladı.
1969	Endüstriyel Kalite Kontrol dergisi yerine Kalite Prosesi ve Kalite Teknolojisi dergisi çıkarıldı.
1970’ler	Büyük Britanya’da NCQP ve “Kalite Güvence Enstitüsü” birleşerek İngiliz Kalite Kurumu (BSI) oldu. Kuzey Amerika’da kalite çemberleri ile ilgilenilmeye başlandı.
1975-1978	Deneysel tasarım üzerine yazılan kitaplar, mühendisler ve bilim adamları için oryante edildi.
1979	Juran Enstitüsü kuruldu.
1980’ler	Endüstriyel tasarım yöntemi tanıtıldı ve büyük organizasyonlar ile yaygınlaştırıldı. Profesör G. Taguchi’nin deneysel tasarım çalışmaları ilk kez Amerika’da görüldü.
1984	Amerikan İstatistik Kurumu (ASA) kalite ve verimlilik üzerine Ad Hoc komitesini kurdu.
1986	Box ve diğerleri Japonya’yı ziyaret ettiler. Deneysel tasarım ve diğer istatistiksel yöntemlerin kullanımı yaygınlaştı.
1988	Malcom Baldrige Uluslararası Ödülleri, Amerikan Kongresi tarafından kuruldu.
1989	“Kalite Mühendisliği” dergisi yayına girdi.
1990’lar	Amerikan endüstrisinde ISO 9000 sertifikalarına ilgi arttı.
1990 sonrası	Kalite geliştirme teknikleri geniş her sektörde artarak uygulanmaya devam etti.

1990 yılından sonra yapılan kalite faaliyetleri, daha önce geliştirilen kalite yöntemlerinin üzerindeki gelişmelerin ve uygulamaların firma geneline yayılmasıyla bütüncül bir anlam kazanmıştır. Çalışmalarda değişen müşteri istek ve taleplerini en kısa sürede, en düşük maliyetle ve en yüksek kalitede sağlamak rekabet ortamında dikkate alınması gereken en önemli unsurlardandır.

1.6.3. Kalite kontrolünde standartlar, spesifikasyonlar ve toleranslar

Firmalarda kalite kontrolü, geniş kapsamlı pek çok faaliyetten oluşur. Amaç, tüketicinin ihtiyaç ve isteklerini en ekonomik seviyede karşılayabilmek için işletmede kalitenin yaşatılması, geliştirilmesi ve korunmasına ilişkin çabaları koordine etmek için üretim sürecinde kaliteyi etkileyebilecek araçlar olan standartlar, spesifikasyonlar ve toleranslardan faydalanmak gerekmektedir.

Standart: Ürünlerin kalite ve fiyat bakımından kullanım amaçlarını tam karşılayabilecek özelliklere sahip olabilmeleri için üretim tekniklerini, ölçüm özelliklerini ve yöntemlerini sınıflandırmayı, araştırmayı, sevk ve idareyi, kalite kontrol yöntemleri gibi işlemler ve hizmetleri bir bütün olarak içine alan prensipler topluluğuna standart adı verilir (Büyükdora, 1997). Standartlar, işletmelerde üretim verimliliğini arttırmak ve maliyetleri düşürmek amacıyla kullanılır. ISO: Uluslararası Standartlar Enstitüsü, ASA: Amerikan Standartlar Birliği, BSI: İngiltere Standartlar Enstitüsü, DIN: Alman Endüstriyel Normları, TSE: Türk Standartlar Enstitüsü, CEN: Avrupa Standartlar Komitesi gibi kurumlar standartlaştırma çalışmalarını yürütmekle görevli çeşitli ülkelerin kurumlarıdır. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü, 1960 yılından beri her türlü standardı hazırlama ve hazırlatma, takip etme, standartlara uygun ve kaliteli üretimi teşvik edecek çalışmalar yapma gibi pek çok faaliyeti sürdürmektedir. Ürünlerin sahip olması gereken asgari nitelikleri belirten standartlar ölçülebilir kalite için gerekli olup bunların kategorilere ayrılması önemlidir.

Spesifikasyon: Spesifikasyon standartlaştırmada kullanılan bir araç olup işin nasıl yapılacağını belirten ayrıntılı talimatlardır.

Tolerans: Bir ürünün kalitesi ile ilgili tasarım aşamasında belirlenen kabul edilebilir sapmalardır. Dar toleranslarda üretim ve kontrol personeli tolerans tutturamama endişesi ile üretim hızını yavaşlatır, kusurlu sayısı artar ve maliyetler yükselir. Geniş toleransta ise ürün kalitesi azalır, müşteri şikâyetleri ile bölümler arasındaki anlaşmazlıklar artar. Bu nedenle işletmelerde toleranslar genellikle geçmiş uygulamalar, tecrübe ve pazarlık esaslarının yanında tasarım mühendisleri, üretim ve kontrol yöneticilerinin görüşleri de dikkate alınarak belirlenmelidir. Üretimin kalite yönüyle kontrol altında olup olmadığı kalite kontrol grafikleri aracılığıyla önceden belirlenen toleranslara göre tespit edilmektedir.

1.7. Toplam Kalite Kontrol

“Toplam Kalite Kontrolü, penisilin gibi hızla hareket eden bir ilaç değil, uzun süre alınırsa bir şirketin yapısını aşama aşama iyileştiren yavaş çalışan, bitkisel bir ilaçtır” diyen Ishikawa sadece muayene ve istatistiki yöntemlerle kalitenin tam anlamıyla kontrol edilemeyeceğini, çalışmalara insan unsurunun da her aşamada katılması gerektiğini ifade etmektedir. İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra kitle üretiminin artmasıyla matematik ve istatistiki yöntemlerin kalite kontrolünde yetersiz kaldığı görülmüştür. Dr. Armand Feigenbaum 1961 yılında “Toplam Kalite Kontrol: Mühendislik ve Yönetim” kitabını yayınlarak toplam kalite kavramını ilk defa kullanmıştır (Kavrakoğlu, 1993). Feigenbaum’a göre Toplam Kalite Kontrol, “bir organizasyondaki değişik grupların kalite geliştirme, koruma ve iyileştirme çabalarını, müşteri tatminini de göz önünde tutarak üretim / hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek için birleştiren etkili bir sistem” olarak tanımlanabilir. Feigenbaum TTK’nin işletmelerde herkesin görevi olup kimsenin görevi olmama durumuna düşmemesi için tek uzmanlık alanı ürün kalitesi ve tek çalışma alanı kalite kontrol işleri olan ayrıca iyi örgütlenmiş yönetimle desteklenen bir bölümün şirketlerde var olması gerektiğini belirtmiştir (Ishikawa, 1990). Ishikawa, şirketlerin tüm elemanlarının kalite kontrolü öğrenmesi, uygulaması ve bu yöndeki çalışmalara katılması gerektiğini düşünmüş ve kalite kontrole “toplam” kavramını ilave etmiştir. Üretim ister mal isterse hizmet olsun kalite, tek bir bölümde ve birkaç çalışanın katılımıyla değil, tüm çalışanların katkılarıyla yapıldığı takdirde sağlanabilecektir.

1.7.1. Toplam kalite kontrol ve sıfır hata

Firmalarda hatalı üretim ve bu durumun nedenleri ortadan kaldırılamadığı sürece kalite sorunlarına kalıcı çözümler getirmek mümkün olmayacaktır. Ancak buz dağının altındaki asıl sorunlar halledildiği zaman sıfır hata ve sıfır müşteri şikâyeti elde edilebilir. İnsanın yaşamının her alanında, yaptığı tüm işlerde sıfır hata prensibi ile hareket etmesi gerekmektedir. Kalitede sıfır hata sağlama faaliyetlerini üç grupta toplayabiliriz (Ertuğrul, 2014, s.67): Ortaya çıkan sorunların yeniden oluşmaması için alınan tedbirlerden oluşan önleme sıfır hataları; hatasız ürün ve hizmet için kurulan güvence sıfır hataları ve kalite sorunlarının kaynağında çözülmesine imkân tanıyan küçük sıfır hatalar. Hataların ortaya çıkmasını önlemek için firma hedeflerine odaklanan her çalışan yaptığı işi tek seferde ve en iyi şekilde yapmalıdır. Bu

sağlandığı zaman başarı ve kalite kendiliğinden gelir. Toplam Kalite Kontrol uygulaması üst yönetimden başlayan ve her düzeydeki yöneticilere yol gösteren ve daha doğru karar vermelerine yardımcı olan ve geçerliliği kanıtlanmış son derece yararlı bir anlayıştır.

1.7.2. Toplam kalite kontrol anlayışının temel esasları

İşletmelerde kalite kontrol anlayışının alt kademe işçiden üst düzey yöneticiye kadar tüm birimlere Toplam Kalite Kontrolü oluşturan temel esaslar altı grupta toplanabilir (Kavrakoğlu, 1993).

Önlemeye dönük yaklaşım: Hataların önlenmesine dayanır. Klasik kalite kontrol anlayışında zaman içinde görülmüştür ki üretim sırasında ya da sonunda hatalı veya bozuk ürünlerin ayıklanması işletmelere bir yarar sağlamamış hatta ilave maliyetlere sebep olmuştur. Yeni ve modern bir anlayış olan TKK' de üretim sırasında oluşan hataların sebepleri ile birlikte tespit edilerek kaynağında çözümlenmesi daha doğru olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

Ölçümler ve istatistik: İkinci Dünya Savaşı ile birlikte istatistik ve ölçme yöntemleri sayesinde ürün kalitesi ve güvenilirlik yükselmiş, maliyetlerde düşüş sağlanmıştır. İstatistiki yöntemlerle değişkenlik özellikleri incelenip hata kaynakları tespit edilebilir.

İşlevsel bütünlük: Bir işletmeyi oluşturan tüm birimler belirlenen ortak hedefe ulaşmak için grup çalışması yaparak çalışmalıdır. Bu amaçla kalite kontrol çemberleri geliştirilmiştir. Kalite kontrol çemberleri, birlikte çalışarak ve periyodik toplantılar yaparak yönetimin tam desteğiyle ve gönüllü katılımcıların sorunları tespiti ve analizi, çözüm üretilmesi, araştırma raporunun üst yönetime sunulması gibi aşamaları içermektedir. Yönetim tarafından kabul edilen ya da reddedilen çalışmalarda üyelerin motivasyonu ve devamlılığı esastır. Sistemin işletmede kurulma koşullarını, planlamayı, örgütlemeyi ve yürütme fonksiyonları ortaya konulmadığı takdirde alt yapının zayıf olması ve başarısızlık kaçınılmazdır (Efil, 1999). TKK anlayışında grup çalışması olarak kullanılan kalite kontrol çemberleri temel unsurlardan birisidir. Her kademedan çalışanın gönüllülük esası ile oluşturduğu bu gruplar sorun çözümünde oldukça etkilidir.

Sürekli gelişim: Kalite ile ilgili çalışmaların devamlılığı ve toplam katılımda her bir ferdin kararlılığı kalitede sürekli gelişimin temelini oluşturur. Japonya’da “Kaizen” olarak adlandırılan bu sistem kısa zamanda az ancak hızlı ve sürekli büyümedir. Hızla ve sürekli gelişen Japon şirketlerinde Kaizen önemli kalite adımlarından birisidir. Şirket kültürünün tüm unsurlarını tanıyan her bir personel, hızlı ve radikal değişimlere inançla sarılmalı ve ilgili alanlarda sürekli sıçramalar gerçekleştirmelidir (Aktan, 1998).

İnsana yatırım: Üretimin her aşamasını robotlar yapsa bile insan unsuru işletmelerden çıkarılamaz. O hâlde çalışanların eğitimi, farklı yollarla motivasyonu, kendilerine değer verildiğinin ve işletmenin bir parçası olduklarının hissettirilmesi kalite hedeflerine ulaşmak için yapılması gereken faaliyetler arasındadır.

Katılımcı yönetim ve yenilikçilik: Bireysel çalışmalar başarı için yeterli değildir. Başarının sırrı ekip çalışmasıdır. İşletmelerde belirlenmiş hedeflere ulaşmak için farklı alanlardaki uzmanların katılım ve desteği ile şirket görevlerinin oluşturulması gerekir. Katılımcı yönetim de klasik anlayışların aksine dağıtılmış sorumluluk ve karar mekanizmaları hiyerarşik kademelerin azaltılmasıyla oluşturulabilir. Katılımcı yönetime sorumluluk ve yetki verilerek yenilikçilik özendirilmelidir. Ancak üst yönetimin her aşamada desteğinin alınması tüm adımlar için vazgeçilemeyen unsurdur.

1.8. TKY: Toplam Kalite Yönetimi

Büyüyen dünya pazarı, artan rekabet, seçici müşteri, düşen fiyatlar, artan kalite anlayışı, firmaları pazarda pay bulma, bu payı sürekli hâle getirme, düşük maliyet ve yüksek kalite ile kârı artırma gibi son derece güç şartlarda ayakta kalmaya zorlamaktadır. Kısacası dinamik bir pazar anlayışının hâkim olduğu dünyada müşteri beklentilerini en yüksek düzeyde ve en ekonomik şekilde karşılamak amacıyla daha önceden belirlenen kaliteyi, ürün ya da hizmet faaliyetlerinin tüm aşamalarında gerçekleştirmeyi hedefleyen yönetim anlayışına “Toplam Kalite Yönetimi (TKY)” denir (Kavrakoğlu, 1998).

TKY’ de ast veya üst ayrımı yapılmaksızın tüm personelin katılımı gerekmektedir. Kaliteyi her aşamada yükseltecek ve iyileştirecek her türlü çalışmayı yapmak ve

desteklemek üst yönetimin sorumluluğundadır. Yapılan bu çalışmalarda üst yönetimin kararlılığı, tek seferde ve kusursuz mal ve hizmet üretmek kalitenin sağlanması için gerekliliktir. Kalite, kontrol ile değil üretim ile elde edilir anlayışı tüm personele anlatılmalıdır. Hataların oluşmadan belirlenmesi ve önleyici faaliyetler yapılması kalite sağlama çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Özellikle ürün tasarımlarında yapılan kalite geliştirme faaliyetleri ile ilk seferde kaliteli ürünü müşteri taleplerine uygun şekilde ve rakiplerden daha kısa zamanda üretmek mümkün olmaktadır. Tüm bu çalışmalar gerçekleştirilirken rekabet ortamında en önemli unsurlardan olan maliyet ihmal edilmemelidir. Çünkü yüksek kalite, düşük maliyet ve yüksek üretim hızı pazarda kalmak isteyen firmalar için yüksek rekabet gücü anlamına gelir. Tablo 1.2’de TKY’nin aşamaları görülmektedir (Tengilimoğlu ve diğ., 2009).

Tablo 1.2. Kalite yönetiminin aşamaları

1. KALİTE PLANLAMASI
• Müşterilerin kimler olduğunu belirlemek • Müşteri ihtiyaç ve beklentilerini belirlemek • Müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak ürünleri geliştirmek • Geliştirilen ürünlerin üretimini sağlayacak süreçleri oluşturmak • Elde edilen bulgular doğrultusunda üretim faaliyetine başlamak
2. KALİTE KONTROLÜ
• Kalite performansını kontrol etmek • Kalitede belirlenen amaçlar ile gerçek kalite performansını karşılaştırmak • Elde edilen sonuçlar doğrultusunda kaliteyi geliştirme çalışmalarını sürdürmek
3. KALİTE GELİŞTİRME
• Kalite geliştirmeyi güvence altına alacak altyapıyı oluşturmak • Kalite geliştirmek için projeler oluşturmak • Her proje için görevleri tanımlanmış kalite geliştirme çalışma grubu oluşturmak • Çalışma grubuna gerekli motivasyonu ve eğitimi sağlamak

1.8.1. TKY’nin temel özellikleri

TKY’nin başlıca özellikleri; kalite odaklı olmak, müşteri odaklı olmak, süreç odaklı olmak, kalite maliyetlerini hesaplamak, işlerin planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesini bir çember üzerinde gösteren Deming döngüsünü bir yönetim modeli olarak kullanmak, gerçek istatistikleri kullanarak doğru kararlar vermek, sürekli gelişme, hedeflerle yönetim, katılımcı yönetim ve grup çalışmaları, girdi ve kaynakların kontrolü, bir sonraki sürecin müşteri olduğu anlayışının yerleştirilmesi, önlemeye dönük yaklaşım olarak sıralanabilir (Özveren, 2000). TKY öncelikli olarak tüm çalışmalardan işlevsel sonuç alınmasını amaçlar. Yapılan tüm çalışmalarda temel amaç, şirketin tüm bölümlerinin ortak hedef geliştirmesine ve başarmasına

yardımcı olmaktadır (KalDer, 2003). TKY öncelikli olarak müşteriye odaklanan bir çalışmalar bütünüdür. Müşteri, ürün ya da hizmetin ulaştığı en son kişi olarak tanımlanır ve kalite talepleri karşılanmalıdır (Şişman ve Turan, 2001). TKY’de tüm bölümler, şirket müşterilerinin taleplerinin eksiksiz karşılanmasına yönelik bir politika ve strateji etrafında çalışır. Aslında TKY demek, kurum yerine müşteri odaklı çalışma demektir (Hodje ve diğ., 2003). Yapılan çalışmaların başarıya ulaşmadığının en belirgin özelliği, müşteri ihtiyaçlarının karşılanıp karşılanmadığıdır (Dessler, 1998). Müşteri odaklı olmak, talep edilen ihtiyaçların tam ve kusursuz karşılanması amacıyla şirketin tüm bölümlerinin ortak, koordineli ve sürekli iletişim hâlinde olması ve bu çalışmaları yaparken merkezde müşterinin bulundurulmasıdır.

TKY işlevsel ve iş ile bütünleşik bir liderlik anlayışını benimser. Liderlik, önceden saptanmış amaçları gerçekleştirmeye yönelik insanları harekete geçiren önder kişilik olarak tanımlanır (Dessler, 1998). TKY’de üst yönetimin liderliği ve desteği süreklilik açısından son derece önemlidir. Toplam katılımın sağlanması için liderlik pozisyonundaki şahısların konuyla ilgili objektif çalışmalar yapması ve katılımcıları motive edecek şekilde davranması gerekir. Sürekli gelişen ve değişen ortamlara uyum sağlanabilmesi için çalışanların ve liderlerin ortak hareket etmesi önemlidir.

TKY sürecinde Avrupa Kalite Yönetimi Vakfı (EFQM-European Foundation for Quality Management) mükemmellik modeline göre liderler kuruluşun misyon, vizyon ve değerlerini oluştururlar ve bir mükemmellik kültürü doğrultusunda tüm çalışanlara örnek olurlar. Çalışanlara katılımcı bir iş birliği ile mükemmellik kültürünü yayarken kurumsal değişim ihtiyacını belirleyerek değişime öncülük ederler (KalDer, 2003). TKY’de kalite sorunları, liderliği ile sadece yönetimin değil, kurumda herkesin kendini birer lider olarak benimsemesi ile topluca çözülmeye çalışılır. Bu durum, herkese kurumla bütünleşik, kendi sorumluluk alanında liderlik görevi yüklenme sorumluluğu vermektedir. Bu durumda TKY uygulanan bir kurumun tamamı öğrenen örgüt, o kurumda çalışanlar ise öğrenen liderler olarak adlandırılabilir (James, 1996).

TKY sürekli gelişmenin planlı ve sistematik bir yaklaşımla sürdürülmesini amaçlar. Planlı ve sistematik işleyen bir kurum oluşturmanın gereklerinden biri, sistemi süreçlere bağlı yönetmekle sağlanabilir (Kavrakoğlu, 1998). Kurumun amaçlarının

gerçekleştirilebilmesi için bölümler arasında birleşik bir yönetim anlayışı geliştirilmelidir. Kararlar, güncel ve geleceğe ilişkin performansa, süreçlere, ortak ihtiyaçlara, beklentilere, deneyimlere, başka kurumların performanslarına, rekabet edilen kurumlara ilişkin veri ve bilgilere dayanılarak gerçekleştirilmelidir (KalDer, 2003). TKY’de insan kaynakları yönetiminin desteği olmadan toplam katılım sağlanamayacağı için tam başarı elde edilebilir. İç müşteri olarak kabul edilen çalışanların motivasyonu, ihtiyaçlarının giderilmesi, alınan kararlara katılmaları, etkili ve verimli olmaları başarı için önemli unsurlardandır. Bu amaçla başarıların nesnel değerlendirilmesi, ekip çalışmalarına katılım, sağlıklı iletişim ve eğitim ile ihtiyaçların karşılanmasına çalışılmalıdır (KalDer, 2003).

1.8.2. TKY’nin ilkeleri

Başarılı bir yönetim sistemi belirli ilkelere dayanır. Tam başarı elde edilmesi için bu ilkelerin tamamının uygulanması şarttır. Birinin uygulanmaması domino etkisi yapar ve zincirdeki eksik halka sonuca olumsuz olarak yansır (Sevim, 1996, s.24). TKY’nin temel ilkeleri belli başlıklar altında şu şekilde sıralanabilir:

İşletmenin kalite, amaç ve politikalarının belirlenmesi: İşletme bünyesindeki tüm personele, daha önceden belirlenen işletme hedefleri, amacı ve kalite politikası açıkça anlatılmalıdır. İletişim ve açıklık olmadan TKY’den başarı beklenemez.

Çalışanların tamamının müşteri tatminine öncelik vermesi: Şirketler müşterilerinin taleplerini tam ve eksiksiz olarak belirlemeli, kayıt altına almalı ve bu talepleri karşılamak için izlemeleri gereken yolu planlamalı ve uygulamalıdır. Şirket çalışanlarının tamamı müşteri odaklı çalışırsa pazar payı artar ve müşteri memnuniyeti sağlanmış olur.

Çalışmaların uzun vadede ve bilinçli bir şekilde programlanması: Hedeflerle yönetim ilkelerinin uygulanması TKY’nin başarı anahtarıdır. Tüm alanlarda hedeflere ne ölçüde ulaşıldığı tespit edilmeli ve gerekli ayarlamalar yapılmalıdır.

Sürekli eğitim faaliyetlerinin yapılması: Çalışanlar ilgili oldukları alanlarda ve TKY faaliyetleri ile ilgili olarak yönetim tarafından sürekli eğitime tabi tutulmalıdır. Değişen ve gelişen şartlara uyum ve başarının sürekliliği açısından bu aşama önemlidir.

İstatistiksel yöntemler ve süreç kontrol çalışmaları: Kaliteyi ürün / sistem tasarımı veya üretim aşamasında sağlamanın yanında hatalı ürünleri oluşmadan önlemek için ürünler yerine süreçler kontrol edilmelidir. Yeni tasarımlar ise sürekli olarak geliştirilmelidir.

Kalite çemberleri: Kalite çemberleri bir işletmede kalite, verimlilik, etkinlik, etkililik gibi problemleri analiz etmek ve çözümleri yönetime önermek için sayıları 5 ile 10 arasında değişen çalışanların tamamen kendi istek ve katılımlarıyla belirlenmiş zamanlarda düzenli olarak toplanan küçük çalışma gruplarıdır. Katılan çalışanların önerileriyle işletmelerde ortaya çıkan sorunlar kalite çemberleri ile çözülürken çalışanların motivasyonu da sağlanmış olacaktır.

Verimlilik çalışmaları: Pazardaki ezici rekabet, verimlilik değerlerini ölçmeyi ve sonuçlara göre çalışmaları yönlendirmeyi yönetimin öncelikli vazifelerinden kılınıştır.

Toplam kalite maliyetlerinin hesaplanması: İlgili bölümler toplam kalite maliyetlerini periyodik aralıklarla hesaplayıp raporlamalı, kalitesizlik kayıplarını belirlemeli ve analiz edip sonuçları açıklamalıdır.

Planlı bakım: TKY’de önleyici bir yaklaşımdır. İşletmenin üretimde kullandığı her türlü makine, tesisat ve donanımın bakımları; arızaları ve duruş zamanlarını sıfırlayacak biçimde planlanması ve bunlarla ilgili prosedürlerin hazırlanıp uygulamaya konulması gerekmektedir.

Tedarikçiler ile ilişkiler: Ekip çalışması şeklinde yürütülen iş birliği seçilen tedarikçilerle karşılıklı güven ve ortak çıkarlara dayalı uzun vadeli ilişkiler toplam kalite için temel şartlardandır.

Kalite tetkiki: Sistemde var olan hata ve aksaklıkları belirlemek amacıyla belli aralıklarla ya da özel şartlarda kalite denetimleri yapılmalıdır. Denetimlerin içeriği ve kimlerle yapılacağı daha önceden yapılan planlarda detaylarıyla belirtilmelidir.

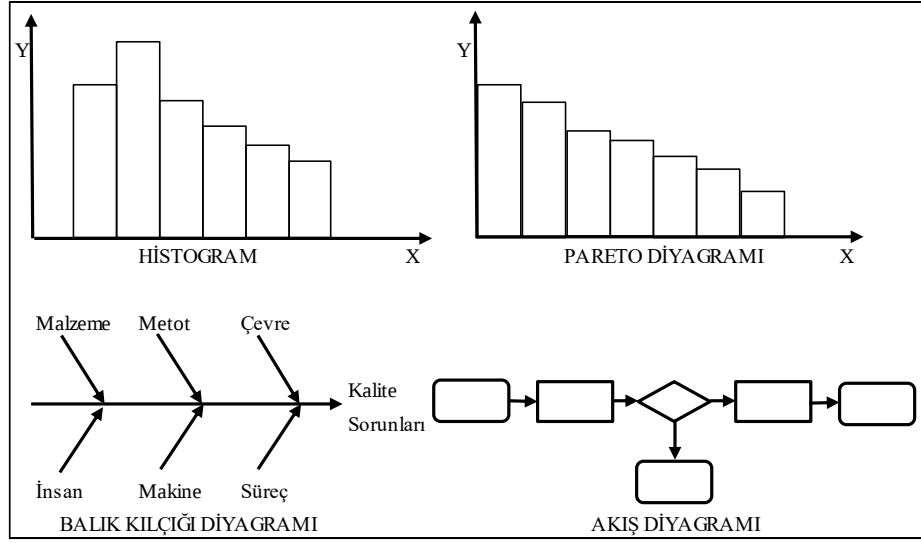
1.8.3. TKY’nde yararlanılan temel araçlar

TKY’de çeşitli yönetim anlayışları açısından geçerli olan birçok araç ve teknik kullanılmaktadır. Bu araç ve teknikler yönetim alanında yaşanan ilerlemelere bağlı

olarak zaman içerisinde gelişip çeşitlenmektedir. TKY’de kullanılan araç ve tekniklerin çoğu bazı mantıksal ve istatistiksel bilgilerden yola çıkılarak problemlerin görüntülenmesi ve çözümlenmesi düşüncesi ile geliştirilmiş yaklaşımlardan oluşmaktadır. Bu araç ve tekniklerin kullanımı, TKY’nin temel ilkelerinin hayata geçirilmesi olarak adlandırılabilir. Kalite araçları olarak adlandırılan bu unsurlar özellikle uygulama sürecinde ortaya çıkan ya da çıkması mümkün olan problemlerin belirlenmesi ve çözülmesi amacıyla toplanacak bilgi ve veri üretimini yönlendirmek ve sistematik bir yaklaşımla bu bilgi ve verileri değerlendirmek amacına yönelik olarak tasarlanmışlardır. Kalite araçları planlama ve üretim faaliyetlerinde farklı amaçlar için kullanılabilir özelliktedir. Sorunların belirlenmesi veya mevcut problemlerin çözülmesi amacıyla konuya hâkim ve alanında uzman kişilerin kullandığı istatistik yöntemlerdir. Tüm bu kalite araçlarında aynı konu ya da problem hakkında birden fazla kişinin farklı ve orjinal fikirler üretmesi amacıyla kullanılan beyin fırtınası yönteminden yararlanılır. Kalite araçları ortaya çıkış sırasına göre yedi temel grupta toplanabilir (Ertuğrul, 2014, s.101).

1. Balık Kılçığı Diyagramı (Neden-Sonuç Analizi)
2. Akış Diyagramları
3. Pareto Diyagramları
4. Trend Analizleri
5. Histogramlar
6. Dağılım Diyagramları
7. Kontrol Çizelgeleri

Ishikawa, Japon sanayi devriminin gerçekleştirilmesinde karşılaşılan sorunların %95’nin bu yedi temel kalite aracı ile çözülebildiğini belirtmiştir (Kavrakoğlu, 1998). Yedi kalite aracının sistematik bir biçimde uygulanması başarılı bir kalite geliştirme sürecine önayak olacaktır. Kullanılan bu tekniklerle ürün kalitesinin sadece üretim aşamasından değil aynı zamanda tasarım aşamasında yükseltildiği ve maliyetlerde düşüş sağlandığı görülmüştür. Çevrim içi ve çevrim dışı kalite çalışmalarının birlikte yürütülmesinde kullanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen yüksek rekabet gücü firmalara pazar paylarında artış ve piyasada süreklilik kazandırmaktadır. Şekil 1.3’te Histogram, Pareto Diyagramı, Balık Kılçığı ve Akış Diyagramı kalite tekniklerinin diyagram örnekleri ile ilgili temel tasarımları gösterilmiştir.



Şekil 1.3. İstatistiksel kalite kontrolde kullanılan bazı yöntemler

Balık kılçığı diyagramı: Görünüşünden dolayı balık-kılçığı olarak adlandırılan bu diyagramlar problem çözme ve süreç geliştirmede çalışan takımların en çok kullandığı kalite araçlarından birisidir. Diyagram, 1943 yılında Tokyo Üniversitesi profesörlerinden Kaoru Ishikawa tarafından kalite sorunlarının sebeplerini belirlemek için geliştirilmiştir (Doğan, 2000). Tanımlanan sistemlerde söz konusu problemler veya geliştirme imkânları ile öngörülen sebepler arasındaki bağların doğru ve eksiksiz olarak ortaya çıkarılmasına fırsat verir. Bu aracın amacı, problemlerin ve/veya sistemlerin anlaşılabilirliğini farklı bir bakış açısı ile ele almaktır. Bu diyagramlar, önemli sebepleri tanımda, tüm sebep ve sonuçları anlamada, önemli çözümler bulmada, ne yapılacağına karar vermede ve süreci düzeltmede kullanılan temelde sebep ve sonuç olmak üzere iki kısımdan oluşan kalite araçlarıdır. Başarılı bir sebep-sonuç diyagramı analizi için problem üzerindeki tüm sebepler mümkün olduğunca göz önünde bulundurulmalıdır. Belirtiler yerine nedenler veya etkiler üzerinde çalışılmalı ve sorunla ilgili açıklamanın tatminkâr olmasına dikkat edilmelidir. Nedenlerin belirlenmesinde mümkün olduğunca çok akış diyagramı kullanılarak çalışmaya özen gösterilmelidir. Sorunların tespit edilmesi ve çözümlerin belirlenmesinde etkin bir yöntem olan diyagramın hazırlanmasında herkesin dikkati bir noktaya toplanır ve iletişim güçlenir. Başlı başına eğitici bir çalışma olup herkesin bilgisi gelişir. Üzerinde çalışılan konuya hâkimiyet sınanır ve tüm sorunlara uygulanabilir (Ertuğrul, 2014, s. 187). Önemli olan sonuca etki eden sebepleri doğru belirlemek ve sınıflandırmaktır. Bu amaçla çalışma grubunun konu ile ilgili

uzmanlardan oluşması gerekmektedir. Diyagram oluşturulurken bir kutu içinde problem yer alacak şekilde ana kılçık çizildikten sonra temel kılçıklar olarak 5M (Men, Materials, Machines, Money, Management) veya daha uygun olanları yerleştirilir. Her kılçık veya sebep birçok alt kılçıktan oluşabilir.

Akış diyagramları: Bir faaliyetin, ürünün ve/veya prosesin gerçekleştirilmesinde takip edilen adımların art arda eklenmesiyle sıralı olarak gösterilmesini sağlayan bir kalite aracı olup işin gerçekleşmesi için gerekli olan adımların basit, anlaşılır ve doğru bir şekilde anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Hazırlanan diyagramlar ile süreç içindeki sapmalar da kolaylıkla belirlenmiş olur. Sistemin kolay anlaşılmasını sağlayan akış diyagramları problemlerin çözümüne yönelik çalışmalarda da ilk başvurulacak araçlardır. Yapılan işin anlaşılabilmesi için akış diyagramında sistemi tanımlayan ifadeler açık ve seçik olmalı ve diyagram bütün detayları içermelidir. Diyagram hazırlanmadan faaliyetler, kararlar, dokümanlar ve iletişimle ilgili işlemlerin türü belirlenmelidir. Sorumluluklar, yerleşim düzeni ve müşteri-tedarikçi ilişkileri ortaya konmalıdır. Geçiş ve proses süresi ile ilgili gerçek değerler ve tahminler yapılmalıdır. Maliyetler ve katma değerler belirlenerek potansiyel veriler oluşturulmalıdır. Hangi alanda olursa olsun akış diyagramlarının hazırlanmasında ortak bir dil oluşturmaya yönelik olarak çeşitli semboller kullanılması önemlidir (Erol ve diğ., 1998). Akış diyagramları, değişik amaçlar ve kapsamaları çerçevesinde makro akış diyagramları, dikey akış diyagramları, iş akış diyagramları, geliştirme akış diyagramları ve proses akış diyagramları olarak gruplara ayrılmaktadır.

Pareto diyagramları: Özellikle kalite çember faaliyetlerinde kullanılan, kategoriyle düzenlenen özellik verilerinin basit sıklık dağılımıdır (Ertuğrul, 2014, s.188). İtalyan iktisatçı Vilfredo Pareto tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Problemlerin kaynaklarının %80'inin tüm problemlerin %20'sini oluşturan basit nedenleri ortadan kaldırmakla çözümlenebileceğini öngören 80:20 kuralında belirtilen problem nedenlerini belirlemek amacıyla kalite geliştirme çalışmalarında en çok kullanılan tekniklerden birisidir. Kalite sorunlarının çoğunu çözmek için hata kaynaklarının en önemli kısmını ortadan kaldırmak yeterlidir.

Süreç verimliliğini ve ürün kalitesini etkileyen tüm karakteristikler belirlenerek değerlendirilmeleri yapılmalıdır. Değerlendirme için gerçek ve olası tüm etkenler

önem sırasına göre dizilmelidir. Ürün kalitesinin geliştirilmesi için üzerinde en fazla durulması gereken karakteristiklerin belirlenmesinde Pareto Analizi kullanılmaktadır. Problem üstünde en önemli etkiye sahip olan faktörü belirlemek, problemleri listelemek ya da sebepleri tablolamak ve her biri için oluşan hata sayısını saptamak, önem sırasına göre tablo oluşturmak, listedeki toplam hata sayısını belirlemek, her bir problemin yüzde oranlarını hesaplamak, herhangi bir takım çalışmasında ortak bir karar almak veya belirli bir yolda birleşmek Pareto Analizi'nin belli başlı faydaları arasında sayılabilir.

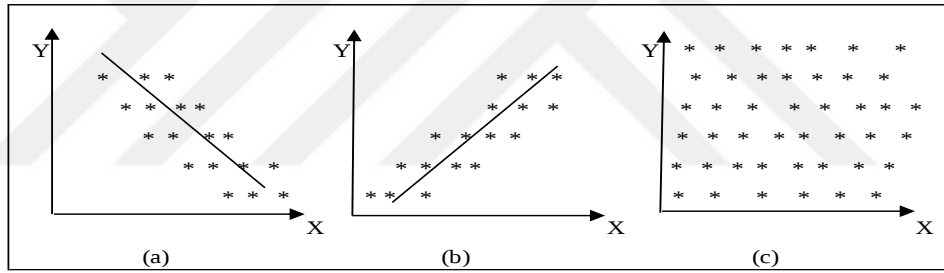
Trend analizleri: Trend analizi, cari dönem içinde oluşan maliyetlerin önceki dönemde gerçekleşmiş olan maliyetlerle karşılaştırılmasını esas alan bir analiz türüdür (Yükçü, 2014). Finansal verilerin çokluğu analiz çalışmalarının titizlikle yapılması gerekliliğini doğurur. Nakit akışları, satışlar, alıcı ve satıcı hesapları gibi verilerin istatistiksel olarak analizinde kullanılan en temel yöntemlerden biri trend analizidir. Trend analizinde birbirini izleyen dönemlere ait finansal tablolarda yer alan hesapların temel alınan finansal tablo kalemlerine göre gösterdiği artış ve azalışlar yüzde olarak hesaplanır. Bu nedenle işletmenin finansal tablolarında yer alan her bir hesap kaleminin esas kabul edilen önceki yıla göre yüzde olarak gelişme trendi bulunmuş olur (Çubuk ve Lazol, 2016).

Histogramlar: Fransız istatistikçi A. M. Guerry tarafından geliştirilen, ürünün yalnızca bir özelliğinin sayısal olarak sıklığını göstererek çeşitli olayları ortaya koyma tekniğidir. Sözlü anlatım yerine daha çok şekillerle verileri sunuş tekniğidir (Ertuğrul, 2014, s.197). Ölçülen özelliğin değerleri uygun sınıf aralıklarına bölünerek her sınıfa düşen eleman sayıları belirlenip bir bölünme serisi elde edilir. Bu grafiğin yatay eksenini değer aralıklarını, dikey eksen ise frekansları gösterecek şekilde çizilir.

Dağılım diyagramları: Dağılım diyagramları, bir süreç ya da ürünün kalitesini etkileyen iki faktörün birbirleri ile ne derece bağlantılı olduğunu gösteren ilişki, diğer isimlendirmeye korelasyon olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. Diyagramlar ile iki faktörün birbirini etkileyip etkilemediği veya etkiliyorsa nasıl etkilediği belirlenir. Dağılım diyagramında yatay ekseninde problemin nedeni, dikey ekseninde ise problem yer alır. Problemin nedeni ve problem arasındaki ilişki, değişkenin aldığı ardışık değerlere karşılık gelen sonuç değerlerin ölçülmesi ile

ortaya konur. Eğer bir özellik ya da parametrenin diğeri üzerinde bağımlılığı varsa bağımsız olanı kontrol altına alarak bağımlı faktörü kontrol edebilmek mümkün olacaktır.

Başarılı bir dağılım diyagramı oluşturabilmek için sebep-sonuç analizi ile istenmeyen etkilere karşı şüpheli nedenlerin belirlenmesi gerekir. İlişkinin varlığını kesinleştirmek için ikili değişken serisi karşılaştırılmalıdır. Dağılım diyagramının yorumlanmasına yönelik iki genel yaklaşım söz konusudur. Diyagramda ilişkiyi görüntüleyen noktalar pozitif veya negatif olarak birbiri ile ilişkilidir ya da noktalar öylesine dağılmıştır ki iki değişken arasında herhangi bir ilişkiden söz edilemez. Şekil 1.4'te dağılım diyagramlarındaki korelasyon örnekleri görülmektedir. Negatif korelasyonda X arttıkça Y'de doğrusal olarak azalmaktadır. X, neden faktörü Y, sonuç olduğunda X faktörü kontrol edilerek hedef Y değerine ulaşılabilir. X ve Y karakteristik olduğunda X biliniyorsa Y tahmin edilebilir.



Şekil 1.4. Dağılım diyagramları a) negatif korelasyon, b) pozitif korelasyon, c) korelasyon yok

Pozitif korelasyonda X arttıkça Y de artmaktadır. İki değişken arasındaki ilişki pozitif ve güçlüdür. Korelasyonun olmadığı durumlarda X'in artması Y'yi etkilememektedir. Y'yi etkileyen diğr faktörler incelenerek ilişkisi daha güçlü olan faktörler üzerinde durulmalıdır.

Kontrol grafikleri: Kontrol grafikleri esas olarak süreç değişkenliğini izlemek ve kontrol altına almak için geliştirilmiştir. İstatistik süreç kontrol (İSK) teknolojisinde başlıca iki tip kontrol grafiğı kullanılmaktadır: Ölçülebilen karakteristikler için kontrol grafikleri ve sayılabilen veya niteliksel karakteristikler için kontrol grafikleri. Ölçülebilen karakteristik; çap, uzunluk, ağırlık, sertlik, oktan sayısı, devir/dakika vs. gibi bir ölçü aleti ile veya laboratuvar analizi ile ölçülmesi mümkün olan özelliklerdir. Niteliksel karakteristik ise ürünlerin iyi / kötü, geçer / geçmez olarak ayrıldığı veya

hataların sayılarak bunların istatistiklerinin yapıldığı durumlar için kullanılır. Her iki gruptaki grafikler de kendi içinde farklı gruplara ayrılmaktadır. Kalite kontrolde temel amaç üretim işleminin ekonomik olarak kontrol altında tutulması olduğu için kontrol grafikleri kalite geliştirmede sıklıkla kullanılmaktadır (Tekin, 1999, s.106). Bir süreç istatistiki olarak kontrol altında iken performansı ve kalite seviyesi tutarlı ve öngörülebilir bir durumdadır. Kontrol grafiklerinin limitleri sürecin doğal değişkenlik sınırlarıdır. Kontrol grafikleri ayarlanan orta değerde ve değişkenlikte meydana gelen farklılıkları belirtebilme özelliğine de sahiptir ve süreç performansı hakkında bilgi veren kalıcı bir belgedir (Ertuğrul, 2014, s. 207).

TKY’de sorun çözme tekniğine temel oluşturan bu yedi temel araç kişilere ve gruplara kalite kontrol süreçlerini uygulamak, uygulanan bu süreçleri görüntülemek ve herhangi bir süreçten kaynaklanan problemi çözmek için destek sağlamaktadır. Bu araçların dışında kullanılan başka yöntemler de mevcuttur. FMEA, Kalite Fonksiyonlarının Geliştirilmesi Tekniği, Hata Ağacı Analizi, Deney Tasarımı, Poka-Yoke, Değişim Mühendisliği, Altı Sigma, Kıyaslama, Taguchi Yöntemi, Shainin Metodu ve Kısıtlar Teorisi bunlardan bazılarıdır.

2. DENEY TASARIMI

Kaliteyi muayene ile sağlamanın maliyeti oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Müşteri memnuniyetini artırmak için yüksek kalitede ürünler üretirken maliyetleri düşük tutmak amacıyla teknolojiyi ve istatistiksel teknikleri etkin bir şekilde kullanmak gerekmektedir (Margavio ve Margavio, 1993). Kalite, sadece üretilen ürün ya da hizmet ile sınırlı kalmamalıdır. Aslında kalite insanın benliğinde yerleşmiş doğru ve mükemmel duygu, düşünce ve tüm faydalı özelliklerin fiiliyata geçirilmiş hâli olarak algılanmalıdır. Canlılar içinde akıl sahibi tek ve seçkin varlık insan olduğuna göre kaliteyi her alanda tasarlamak, uygulamak ve sürdürmek insanın diğer insanlara, toplumlara, canlı-cansız tüm varlıklara kısacası kendisi dışında kalan tüm âlemle birlikte kendisine karşı en önemli vazifesidir. Kaliteyi tasarlarırken tüm alternatiflerin birlikte değerlendirilmesi, kaliteyi etkileyen faktörlerin tüm seviyelerinin gözönünde bulundurulması gerekmektedir. İşte deney tasarımı bu amaçla geliştirilen ve yaygın bir kullanım alanına sahip olan kalite geliştirme tekniklerinden birisidir.

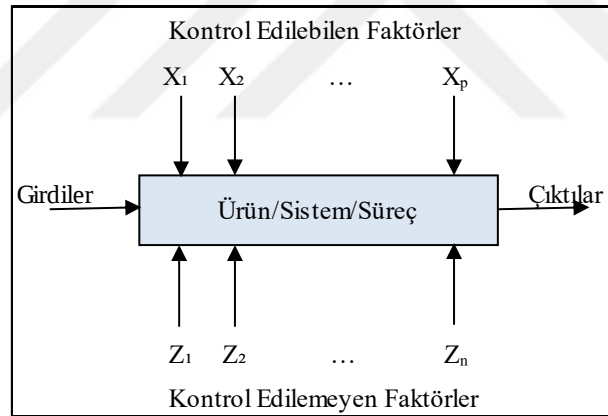
Deney tasarımı, ürün, süreç veya sistemlerin girdi değişkenlerinde değişiklik yapılarak çıktı değerlerinin gözlenmesi ve analiz edilmesidir (Montgomery, 2005). Süreç, belirli bir çıktı elde etmek için birbirleriyle etkileşim halinde bulunan makine, malzeme, metot ve insan gibi kaynakların kullanıldığı faaliyetler dizisi olarak tanımlanmaktadır. Girdi değişkenleri ise deney sonucunu etkileyen kontrol edilebilen veya edilemeyen faktörlerdir. Bir ürün ya da sürecin kalite performansını iyileştirmek veya geliştirmek amacıyla, ürün / süreci etkileyen çeşitli faktörler ve seviyeleri üzerinde değişiklikler yapılarak, seçilen kalite karakteristikleri üzerinde ortaya çıkan farklılıkların gözlenmesi ve çeşitli yöntemlerle yorumlanması ‘deney tasarımı’ olarak adlandırılmaktadır.

Deney tasarımı, süreç eniyilenmesinde, süreç değişkenlerinin tanımlanmasında ve değişkenliğin azaltılmasında kullanılan önemli bir yöntemdir. 1920 yılında İngiliz istatistikçi Ronald Fisher ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş ancak değişkenliğin

azaltılması için ilk olarak Taguchi tarafından kullanılmıştır (Akman ve Özkan, 2011). Fisher aynı zamanda gözlemlenen veri gruplarının ortalamaları arasında önemli farklılıkların olup olmadığının ölçülmesinde kullanılan Varyans Analizi (ANOVA) tekniğini de geliştirmiştir. Fisher, aritmetik düzenlemenin en uygun yolunun varyans analizi olduğunu belirtmiştir (Lazic, 2004).

2.1. Deney Tasarımının Kullanım Amaçları ve Aşamaları

Deney tasarımının en temel amaçlarından biri deney hatalarını minimuma indirmektir (Hinkelmann, 2005). Deney tasarımı ve planlaması zaman alıcı olduğu için deneyin planlanması sırasında bir kontrol listesinin oluşturulması gerekmektedir. Bir deneyin tasarımında kontrol listesinde oluşturulan adımlar birbiriyle bağlantılıdır. Bazen listedeki bir önceki adıma dönülüp gerekirse liste revize edilebilir ve tekrar uygulamaya geçilebilir. Deney tasarımı için ilk kontrol listesi Dean ve Voss'un 1999 yılında çıkardıkları kitaplarında yayınlanmıştır (Taşgetiren ve Gökçe, 2009).



Şekil 2.1. Ürün / Süreç modeli

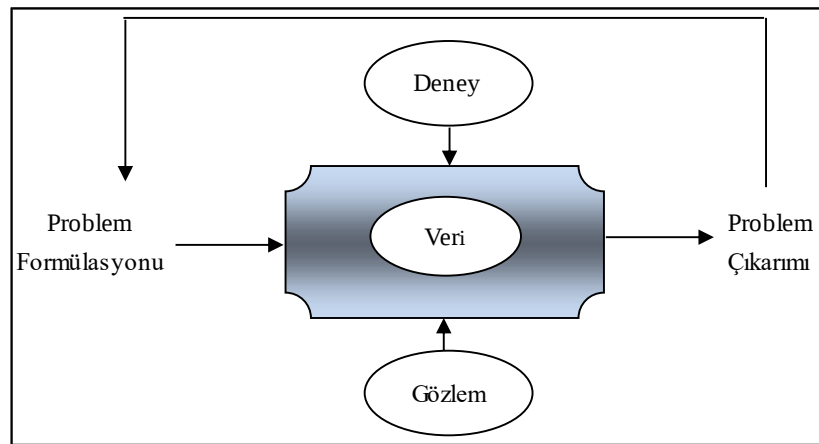
Şekil 2.1’de ürün ve süreçlerin genel bir modeli gösterilmiştir. $X_1, X_2, \dots, X_p$ kontrol edilebilen faktörleri, $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ ise kontrol edilemeyen faktörleri temsil etmektedir. Deneysel çalışmalarda çok sayıda deney yapılması gerekmektedir. Deney tasarımının amacı, ürün / sürecin gösterdiği davranışlar hakkında bilgi toplayarak, bu sürecin kalite karakteristiklerini etkileyen faktörleri belirlemek ve sürecin kalitesinin iyileştirilebilmesi için hangi faktörlerin hangi seviyede olması gerektiğini tespit etmektir. Deneysel çalışmalar neticesinde ürün / süreçten beklenen performansın elde edilmesi amacıyla en uygun faktör seviyeleri belirlenerek kalite

geliştirilecektir. Deneyler laboratuvar ortamında pilot uygulama olarak ya da klinik olarak yapılabilir. Deney tasarımının amaçlarından birisi de sebep ve etki ilişkisinin belirlenmesidir. Bu amaçla, deneyi yapılacak çalışmaya etki eden tüm faktörlerin deneylere dâhil edilmesi ve bunların sonuca etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Deney tasarımının yapım amaçlarından bir diğeri güçlü tasarımı (robust tasarım) sağlamak için gerekli olan unsurların belirlenmesidir. Bu unsurlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Lazic, 2004):

- Toplam deney sayısını azaltmak
- Tasarımcının formüle ettiği etkinliği eş zamanlı olarak değiştirebilmek
- Doğru bir deney stratejisi belirlemek

Eğer bir deney doğru bir şekilde tasarlanırsa en iyi sonuca ulaşmak için gerekli olan veriler doğru bir şekilde toplanmış olacaktır. Bu nedenle deney tasarımı yapılırken aşağıdaki sorulara cevap verilecek şekilde tasarım yapılmalıdır (Lazic, 2004):

- Sonuçlar ve parametrelerin oluşturduğu etki hesaplanabiliyor mu?
- Sonucu kaç adet parametre etkiliyor?
- Aynı anda kaç adet parametre ele alınmalı?
- Deney kaç kez tekrarlanmalı?
- Ne tür bir veri analizi (regresyon, ANOVA) kullanılmalı?
- Etkiler üzerinde hangi seviye farklılıkları, ne kadar önemli?



Şekil 2.2. Bilimsel çalışmalarda istatistik girdi düzeyi

Veriler deneysel veya gözlemsel çalışmaların odak noktasıdır. Deneysel çalışmaların en temel problemlerinden birisi de çıkarımların formüle edilmesidir. Şekil 2.2'deki

gibi veriler, deneysel çalışmaların ve gözlemlerin kesişim noktasında olmalıdır (Taşgetiren ve Gökçe, 2009).

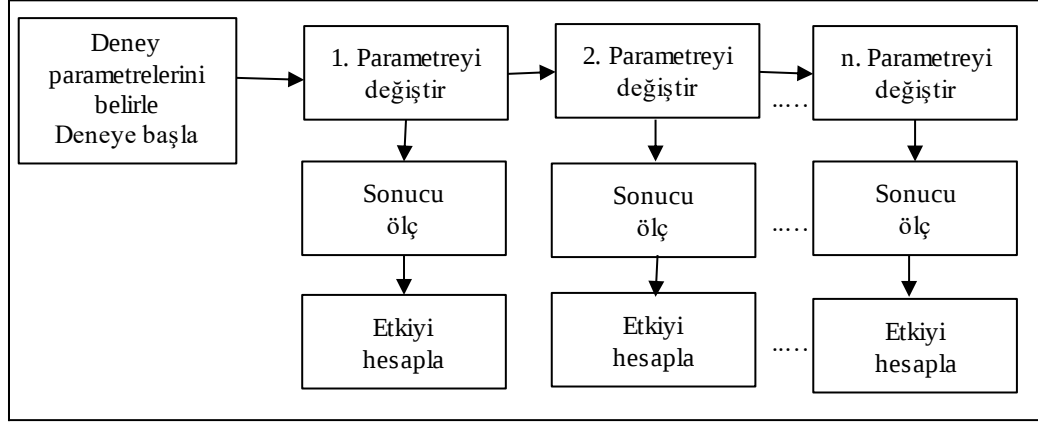
Deneysel çalışmalarda değişkenlerin kaynağı her bir deneme için kontrol edilebilir ya da sabitlenebilir. Böylece değişen faktör seviyelerine göre ayarlanan deneylerin farklı birleşimlerinin incelenmek istenen karakteristikler üzerindeki etkileri ve sonuçları yapılan denemelerle belirlenebilir. Ancak gözlemsel çalışmalarda değişkenler kontrol edilemez, sadece veri olarak kaydedilebilir (Mason ve diğ., 2003).

2.2. Deney Tasarım Yöntemleri

Deney tasarımı; klasik / geleneksel deney tasarımı ve istatistiksel deney tasarımı olmak üzere iki gruba ayrılır.

Geleneksel deney tasarım yöntemleri malzeme maliyeti yüksek, zaman alıcı ve kaynak kullanım oranı olarak günümüzde çok tercih edilmeyen yöntemlerdir. Her parametrenin etkisini araştırmak için diğer parametreler sabit tutularak deney yapmak gerekmektedir. Ancak parametre seviyeleri de eklenince deney sayısı yüzler hatta binlerle ifade edilen rakamlara ulaşabilir. Ayrıca deneysel hataları azaltmak ve gerçek ortam şartlarına yaklaştırmak için deney tekrar sayısı da eklenince deneyleri yapmak zaman, maliyet ve kaynak bakımından neredeyse imkânsız hâle gelmektedir.

Klasik / geleneksel yöntemlerde eş zamanlı analiz yapmak mümkün olmadığı için istatistiksel deney tasarımları tercih edilmektedir. İstatistiksel deney tasarımlarına her bir parametre için bir başlangıç noktası ya da temel seviye seçmekle başlanmaktadır. Seçilen parametre dışındaki diğer parametreler kendi temel seviyesinde sabit tutulurken seçilen parametre değerleri kendi aralığı içinde değiştirilerek parametrenin deneye olan etkisi araştırılır (Güngör, 2003). Şekil 2.3'te klasik deney tasarım metodolojisi görülmektedir (Taşgetiren ve Gökçe, 2009). Her deney parametresinin sırasıyla değiştirilmesi ile yapılan deneylerin maliyeti ve süresi parametre sayısı arttıkça yükselmektedir. Klasik yöntemlerde kontrol edilemeyen faktörler ve aralarındaki etkileşimler deneye dâhil edilemez. Deneyin parametreleri niceliksel ise deneyin seviye göstergesi dışındaki bir değer deneye olan etkisi hesaplanabilir.



Şekil 2.3. Klasik / geleneksel deney tasarım metodolojisi

Ancak deney parametresi niteliksel ise parametreye ait seviye göstergesi dışındaki bir değeri tahmin etmek mümkün değildir. Bu tür deney tasarımlarında her bir faktörün etkisi tek tek incelendiği için çok fazla zaman harcanır ve deney maliyetleri yükselir (Breyfogle, 2003). Ar-Ge çalışmalarının son derece önemli olduğu rekabet ortamında en düşük maliyetle en yüksek kaliteyi elde etmek firmalar için önemli unsurlardandır. Bu nedenle günümüzde klasiksel deney tasarımı yerine istatistiksel deney tasarımı metotları geliştirilmiştir.

İstatistiksel deney tasarımının amacı en az zaman, kaynak ve harcama ile en fazla sayıda anlamlı ve kullanılabilir veri elde etmektir. Geleneksel deney tasarım metotları ile deney yapıldığında varyans ve regresyon analizi sonuçları bazen etkin süreci ya da işlemi belirlemeyebilir. Yapılan regresyon analizi, işlemin sonucunu etkileyecek faktör etkisini tam olarak tespit edememektedir. Bu durumda sonucu iyileştirmek için ayarlama yapılamaz. Deney sırasında faktör dalgalanmalarından dolayı sapmalar ortaya çıkabilir. Ancak bu dalgalanmalar istatistiksel olarak tespit edilecek kadar büyük olmadığı için bu tür hatalar ve kısıtlamalar ancak istatistiksel deney tasarım metodu ile giderilebilir (Breyfogle, 2003).

İstatistiksel deney tasarımında farklı metotlar kullanılmaktadır. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı, Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı, Shainin Metodu, Taguchi Yöntemi bu metotlarından bazılarıdır. Tam faktöriyel deney tasarımı, en az iki veya daha fazla faktör ve bu faktörlerin en az iki veya daha fazla seviyesinin olduğu durumlarda seviyelerin birbirleriyle çarpımlarının oluşturduğu birleşim sayısına göre yapılan deneylerdir. Tablo 2.1’de bu tasarıma örnek bir deney modeli görülmektedir.

Faktör seviyeleri orta sütunda, deneme numaraları ise satırda gösterilmiştir. Sonuç sütunu deneylerden elde edilen ve daha önceden belirlenen yanıt değerleridir. Bu tür deney tasarımlar istatistiksel metotlarla kullanıldığında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Verilen tam faktöriyel tasarım örneğinde sistem ya da ürünün çıktı kalite karakteristiğini etkileyen toplam üç faktörün tüm alternatif seviye birleşimleri yapılan sekiz adet deneyle incelenebilmektedir. Ancak faktör sayısı arttıkça yapılması gereken deney sayıları da üstel olarak artacağından tam faktöriyel tasarım deneme maliyetleri ve süreleri artacaktır. Ancak sayıca az olan denemelerde her bir faktörün etkisi ve birbirleri ile olan etkileşimi araştırılarak yapılan istatistiki analizler ile tüm alternatif faktör birleşimleri değerlendirilebilir.

Tablo 2.1. Tam faktöriyel deney tasarım modeli-iki seviyeli üç faktörlü

Deneme sayısı	Faktörler ve seviyeleri			Sonuç
	F ₁	F ₂	F ₃	
1	1	1	1	S ₁
2	1	1	2	S ₂
3	1	2	2	S ₃
4	1	2	1	S ₄
5	2	1	1	S ₅
6	2	1	2	S ₆
7	2	2	1	S ₇
8	2	2	2	S ₈

Deneyler yapılırken oluşabilecek hatalardan ve sapmalardan etkilenmeyi en aza indirmek için deneylerin rastgele yapılması ve geriye dönük detayların incelenerek gerekli düzeltmelerin yapılması deneylerin temel kaidelerindendir (Cox ve Reid, 2000). Deneyde beklenmeyen hataların oluşmaması için tam faktöriyel deney tasarımında da rastsal bloklamalar kullanılır. Tam faktöriyel deneylerin analizinde varyasyon analizi ve regresyon analizi kullanılmaktadır. Varyasyon analizi yapılması için deneyin en az üç kez tekrarlanması gerekir. Bu yöntemlerle faktörlerin deney üzerindeki etkisi hesaplanabilir. Varyasyon ve regresyon analizi, işlem sırasında bir değişiklik yapmadan varyasyonların kaynağının belirlenmesine yardımcı olur (Breyfogle, 2003).

Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı: Tam faktöriyel deney tasarımı faktörlerin tüm birleşimleri teker teker denendiği için deneylerde parametre sayısı arttıkça maliyetli

ve zaman alıcıdır. Deney tasarımcılar bu sorunu azaltmak amacıyla deney sayısını orantılı olarak azaltarak kesirli faktöriyel deney tasarımını geliştirmişlerdir. Yedi parametrelili ve ikişer seviyeli bir deney tam faktöriyel olarak yapıldığında $2^7 = 128$ deney yapılması gerekirken bunun yerine 64 ya da 32 veya 16 deney ile çalışma yapılabilir.

Shainin Deney Tasarımı: Amerikalı bir kalite yöneticisi olan Dorian Shainin'in geliştirdiği, basit, anlaşılması ve uygulanması nispeten kolay, güçlü istatistik tekniklerin birleşiminden oluşan bir deney tasarım metodudur. Stratejisi, süreç çıktısı üzerindeki bir probleme odaklanarak varyasyona neden olan bir, iki veya üç baskın sebebin tespit edilmesi üzerine kurulmuştur. Genellikle üretimde yaygın olarak kullanılan, kendine özgü araç ve stratejileri olan bir problem çözme metodu olarak adlandırılan bu sisteme, aldığı mühendislik eğitimi desteğiyle D. Shainin "İstatistiksel Mühendislik" adını vermiştir (Baynal ve Aksu, 2010). Motorola, 1980'li yıllarda uyguladığı Shainin ve 6 Sigma çalışmaları ile 1988 yılında ABD ulusal kalite ödülü olan "Malcolm Baldrige" ödülünü almıştır (Şirvancı, 1997). Shainin Yöntemi'nde kalitesizliği oluşturan problem ile bu problemi oluşturan sebepler yeşil, kırmızı ve pembe renklerle kodlanmaktadır. Bu parametrelerden Kırmızı X, pembe X ve soluk pembe X, Pareto analizi ilkelerine göre sıralanmaktadır. Shainin Yöntem algoritması üç temel adımdan oluşmaktadır (Baynal ve Aksu, 2010). Tüm adımlarda amaç; belirlenen en önemli parametrelerin optimum düzeyleri ve kabul edilebilir tolerans değerlerinin belirlenmesidir. Eğer herhangi bir etkileşimin varlığı söz konusu değilse "Serpilme Grafiği Yöntemi" kullanılır. Değişkenler arasında bir etkileşim varsa, "Yanıt Yüzeyi Metodolojisi" kullanılmaktadır. Elde edilen iyileştirmelerin devamlılığının sağlanması için Shainin aşağıdaki işlemleri uygulamayı önermektedir (Aksu, 2010).

- Positrol ile deney tasarımı en uygun değerleri elde edilmiş olan önemli proses parametrelerini kendi tolerans sınırları içinde korur.
- Süreç onaylama aşamasında önemi az olan kalite sorunlarının nereden (operatör veya kontrol edilebilir problemler, metrik ölçümler ve çevresel faktörler vb.) kaynaklandığı belirlenmektedir. Bu aşamada yapılan tüm çalışmalarda amaç; ürün / süreci deney tasarım öncesi ve sonrasında bu tür hatalardan korumaya çalışmaktır.

- İstatistiksel süreç kontrol ile yapılan ön-kontrol, devam eden üretimi izleyen veya bakımını yapmaya çalışan eski kontrol çizelgelerine göre çok daha iyi, hızlı ve daha az maliyetli olarak hazırlanan çizelgelerdir.

Shainin Yöntemi'nin en belirgin özelliği, varyasyona etkisi olan faktörler arasından önemsizlerin elenerek sadece önemli parametreler üzerinde çalışılmasıdır. Diğer metotlarda problemin nedenleri mühendisler tarafından beyin fırtınası gibi metotlarla ve tahmin ile bulunurken bu metotta ipucu yaratma araçları olarak adlandırılan bölümlerdeki işçi, operatör vb. ile yapılan konuşmalarla bizzat işi yapanlarca tespit edilmektedir. “Probleme en yakın olan kişiler o işte aktif rol oynayanlardır.” prensibi dikkate alınmaktadır (Shainin, 1992). Multi-vari analizinde kullanılan grafikler ile varyasyonun sebepleri detaylı olarak belirlenebilir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan rassallık bu metotta da öncelikli şartlardandır.

3. TAGUCHİ YÖNTEMİ

İkinci Dünya Savaşı'nı iki atom bombasının topraklarına düşmesi sonucu en ağır bedelle kapatan Japonya acımasız şartların gerçekliğinin bir kez daha farkına varmıştır. Yaraları sarmak için hızlı bir içe dönüş ve çalışma ile ülkenin çocuk-yaşlı tüm vatandaşları gerek sosyal gerek bilimsel alanlarda hızlı bir ilerleme elde etmişlerdir. Dünya piyasalarında kalitesiz mal olarak nitelenen Japon ürünlerini kaliteli ve maliyeti düşük ama rekabet gücü yüksek olarak piyasaya sürmek amacıyla yapılan çalışmalar kısa sürede neticesini vermiş ve bilgi batıdan doğuya olan seyrini değiştirip doğudan batıya doğru akmaya başlamıştır. Kalite ile ilgili en büyük yenilik, Dr. Genichi Taguchi'nin Nippon telefon ve telgraf firması için OD'lere dayanan deneyler ve kontrol parametrelerinin "optimum ayarları" ile çok daha düşük varyans sağlayan bir yöntem geliştirmesi ile sağlanmıştır. ABD'de Taguchi yöntemleri olarak adlandırılan ancak Dr. Taguchi'nin "Kaliteli Mühendislik" diye isimlendirdiği yöntem mühendislik ve istatistiğin birleştirilmesi ile oluşturulan deney tasarım metodudur.

1980'de ABD'ye girişinden sonra Dr. Taguchi'nin kalite mühendisliği sistemi yaygın bir şekilde uygulanmış ve geniş ölçüde tartışılmıştır. Bu kapsamlı kalite mühendisliği sistemiyle karşılaşan çoğu insan, sadece bir kısmını ele aldığı için uygulamada bağlamsal sorunlar ortaya çıkmıştır. Birçok araştırmacı, araştırmaya benzemediğinden şikâyet etmiş ancak metod aslında araştırma değil, geliştirme ve üretim amaçlı oluşturulmuştur (Taguchi, 1993b).

AT&T, Xerox, Ford ve ITT gibi pek çok şirket Dr. Taguchi'nin çalışmalarını ürün geliştirmenin farklı safhalarında kullanmıştır. Kalite mühendisliği sisteminin gücünü gösteren binlerce vaka incelemesi yapılmıştır. Artık, kalitenin bir ürün / süreci kontrol ederek elde edilemeyeceği günümüzde açıkça anlaşılmıştır. O hâlde kaliteyi tasarım aşamasında sağlamak ve bunu Dr. Taguchi'nin statik ve dinamik sistemler için geliştirdiği metotlarla yapmak daha kısa sürede, düşük maliyetle ve sağlam bir şekilde kalite elde etmenin en etkili yol olduğunu söyleyebiliriz.

İleri teknolojinin ve ezici rekabetin hâkim olduğu günümüzde firmalar yeni ürünleri etkin bir şekilde geliştirebilmeli, mevcut ürünleri yenileyebilmeli, ayrıca kalite ve maliyet açısından kusursuz ürünler üretebilecek sağlam teknolojiler üretmelidir. Dr. Taguchi, tasarım sürecinin ilk safhalarına uygulanabilir bir yöntem ortaya koymuştur. Bu sayede sağlam teknolojiler kolay ve düşük maliyetle ürün tasarım aşamasında geliştirilebilir. Tasarım aşamasında kalitenin sağlanması son derece önemlidir. Ürün maliyetinin genellikle %80'i tasarım sürecinin ilk %20'sinde alınan kararlarla belirlenmektedir (Ishikawa, 1990). Bu nedenle yeni veya geleneksel bir teknolojinin işlevselliğini en üst düzeye çıkarmak için kullanılabilecek potansiyel gürültü faktörlerinin, kontrol ve ayar faktörlerinin ve uygun performans ölçütlerinin tanımlanması da dâhil olmak üzere bir dizi faaliyeti dikkate alarak tasarım aşamasının işlevselliği artırılmalıdır. Fiziki deneyler veya simülasyon teknikleri kullanılarak yapılan bu çalışmalar, firmalara rekabet üstünlüğü sağlayan yüksek kaliteli, düşük maliyetli ve müşterinin talep ettiği zamanda ürünler geliştirmeye imkân tanıyacaktır.

3.1. Kaliteli Mühendisliğin Eleştirilen Yönleri

Kaliteli mühendisliğe getirilen eleştirilere bizzat Dr. Taguchi açıklamalar getirmiştir. Eleştirilerden birisi, performans istatistiği olarak kullanılan S/G oranlarının yetersizliğidir. Taguchi, sonuçları analiz ederken elektriksel kontrol teorisinde kullanılan ve S/G oranı olarak adlandırılan istatistiksel performans ölçüsünü kullanmaktadır (Phadke, 1989). Yöntemin uygulanmasında probleme uygun istatistiksel tasarım ve analiz metotlarının kullanılması, farklı fikirlere ve yaklaşımlara izin verilmesi kalite sağlamada sınırlamaların ortadan kaldırılması ve kalite geliştirme çalışmaları açısından önemlidir. Tüm mühendislik sistemleri girdi ve çıktı arasındaki ideal bir ilişki temelinde yönetilir. Ancak deney tasarım yöntemlerinin çoğu ortalamayı hedef değere ayarlamaya çalışırken Taguchi, kullandığı S/G oranı ile hem ortalamayı hem de değişkenliği dikkate alan bir performans ölçüsü kullanır (Ünal ve Dean, 1991). Bu işlemi yaparken pek çok metottan farklı olarak tek adım değil iki adımda hedefe ulaşmaya çalışılır. Birincisi varyans küçültme, ikincisi ise ayarlama adımlarıdır. S/G oranı tasarım içinde enerji dönüşümünü ölçmenin yanında dayanıklılığı da ölçerek pek çok metottan daha iyi sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Tasarım değişkenlerini modellemede esneklik

olmadığı iddiası diğer bir eleştiridir. Dr. Taguchi, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenleri belirlemede neden-sonuç analizi, uzman görüşü gibi farklı teknikler kullanılabilmesi konusunda herhangi bir sınırlama getirmemektedir. Nitekim bir işi yapan o işi en iyi bilen kişi olduğu için faktör belirlemede çalışma ekibine tüm kademelerden personelin dâhil edilmesi modellemede sorun yaşanmamasını sağlamaktadır. Önemli olan belirlenen tüm faktörlerin ürün ya da süreç ile ilişkili ve etkin faktörler olmasıdır. Nitekim Shainin Metodu'nda değişken belirlemede multi-vari analizi, bileşen araştırması, ikili karşılaştırmalar ve ürün / süreç karşılaştırması gibi farklı metotlar uzman bir ekibin desteğiyle kullanılmaktadır (Baynal ve Aksu, 2010). Dr. Taguchi bu konuda esnektir ve geçerliliği kanıtlanmış tüm metotlar değişkenleri modellemede kullanılabilir.

Deney tasarım planının ekonomik olmadığı yönündeki diğer eleştiriler ise OD kullanılarak azaltılan deneme sayısının göz önünde bulundurulmadığını düşündürmektedir. Örneğin, L_9 tasarımı olarak adlandırılan bir OD'sine her biri 3 seviyeli 4 faktör atandığını düşünürsek Taguchi'nin geliştirdiği metoda göre 9 deney yapılması gerekirken tam faktöriyel bir tasarımda $3^4 = 81$ adet deney yapmak gerekmektedir. Aradaki fark düşünülecek olursa bu yöndeki eleştiri haksız bir eleştiridir. Ayrıca tasarım eniyileme deneyleri fiziksel olarak yapılabileceği gibi bilgisayar ortamında benzetim deneyleri de yapılabilir. Taguchi dış OD'lerle gürültü faktörlerini kontrol etmek yerine bu faktörlere duyarsız kontrol faktör ayarlarını en az deneme sayısı ile belirlemeye çalışmaktadır.

Diğer bir eleştiri ise metodun ardışık denemeye izin vermemesidir. Oysa Dr. Taguchi deneme sayısı ile ilgili bir sınırlama getirmemektedir. Ancak yapılan tüm denemelerde rassallık esastır. Çünkü rassallık deneyler üzerindeki önyargıların giderilmesi açısından önemli bir unsurdur (Çelik ve Burnak, 1998). Taguchi Yöntemi'nin anlaşılması ve uygulanması son derece basit ve uygulama maliyetleri düşüktür. Karmaşık istatistik hesaplamalara ve yorumlamalara gerek duyulmamaktadır. Ar-Ge çalışmaları için parametre tasarımları, çok pahalı olmayan basit bir numune üzerinde gerçekleştirilebilir (Taguchi, 1993a). Taguchi Yöntemi ile yapılan çalışmalar laboratuvar ortamında yapılan çalışmaların üretim aşamasında iyi neticeler verdiğini ispatlamıştır. Eleştiriler, önerilen metotların geliştirilmesi ve varsa

eksikliklerinin giderilmesi açısından son derece faydalıdır. Ancak eleştirilerdeki niyet metodun faydalı yönlerini göz ardı ederek tamamen kötülemek amacını taşımamalıdır. Zaman içinde yapılan çalışmalar Taguchi Yöntemi'nin özellikle parametre tasarımında çok iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

3.2. Taguchi'ye Göre Kalite ve Verimlilik

3.2.1. Üretim planlama ve kalite

Firmalar yeni ürünleri planlarken önce pazar analizi yaparak hedeflerini, ürünün fiyatını ve ömrünü belirler. Tasarım ve ürün geliştirme ikinci aşamada gerçekleştirilir. Üretim süreci tasarlandıktan sonra ürün üretilir, pazarlanır ve ürünün satış sonrası garanti ve servis hizmetleri ayarlanır. Ürünlerin satış fiyatları imalat maliyetlerinin birkaç katıdır. Eğer firmalar yeni ürün geliştirecekse piyasaya sürülebilecek diğer rakip ürünlerin fiyatlarını önceden tahmin etmek zorunludur. Çünkü firmaların yoğun rekabet ortamında ayakta kalabilmesi, geliştirdikleri ürünün pazardaki diğer ürünlerden daha düşük fiyatta ve yüksek kalitede ayrıca müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilme kabiliyetine göre daha iyi durumda olmasına bağlıdır. Taguchi kaliteyi müşteride ve toplumda oluşan kayıp olarak ve karesel bir fonksiyon ile tanımlar. Ürün veya hizmet müşteriye ulaştıktan sonra oluşan memnuniyetsizliğin bedeli müşteri kaybı olarak firmaya dönüş yapacaktır. Bu şekilde bir bakıma sosyal boyutlu bir tanım yapan Taguchi, kaliteye yeni bir bakış açısı getirerek geliştirdiği sağlam mühendislik anlayışını müşteri odaklı kalite ve mühendislik kalitesi olarak kaliteyi iki grupta ele almıştır (Çelik ve Burnak, 1998). Müşteri odaklı kalite; pazar payının büyüklüğüne, renk, boyut, görünüm ve işlev gibi ürün özelliklerine bağlı olup kalite arttıkça ürünün pazar payı büyümektedir. Pazar oluşturma aşamasında kalitenin önemi bilinmektedir. Bu nedenle müşteri kalitesi, ürünün planlanması aşamasında ele alınmalıdır. Öte yandan mühendislik kalitesinde kusurlar, arızalar, gürültü, titreşimler, kirlilik gibi unsurlar yer almaktadır. Müşteri kalitesi pazarın boyutunu tanımlarken mühendislik kalitesinde amaç pazar payını kazanmaya yardımcı olan faaliyetleri yapmaktır. Geleneksel kalitede üretici merkezli çalışmalar yapılırken kalite maliyetleri hurda, servis ve yeniden işlemeyi içermektedir. Oysa Taguchi kaliteyi, ürünlerin fonksiyonel değişim miktarı, çevre zararları ve işletme giderleri gibi olabilecek tüm olumsuz etkiler olarak tanımlanan kalite kaybı ile

değerlendirmektedir (Taguchi, 1993b, s.4). Kalitede müşteri ve toplum önceliklidir. Ürün kalitesini ve pazar payını artırmak için aşağıdaki yöntemler uygulanmalıdır:

- Ürün kalite kayıplarının belirlenmesi için değerlendirme yöntemleri
- Ürün maliyetlerini yükseltmeden kalite seviyesini yükseltmek veya kalite kaybını azaltmak için parametre tasarım yöntemleri
- Yüksek kaliteli bileşenlerin maliyeti ile ürünün kalite kaybı arasındaki dengeyi sağlamak için tolerans tasarım yöntemleri
- Üretim sürecinde ürünün nesnel özelliklerini kontrol etmek amacıyla kullanılan en uygun kalite yönetim metotları

Tüm bu yöntemlerde tek bir amaç vardır: Kaliteyi iyileştirmek. Kaliteyi iyileştirmenin yolu ise değişkenliği azaltmaktan geçmektedir. Kaliteyi iyileştirmede hedef sıfır sapma ve sıfır bozulma olmalıdır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Rekabet ortamının son derece yüksek olduğu günümüz küresel pazarında sadece ucuz ürünler değil, yüksek kaliteli ve müşteri taleplerini tüm yönleriyle karşılayan ürünler pazarda kalabilmektedir.

3.2.2. Kaliteli mühendislik için görev dağılımları

Ürün planlamasının ilk aşamasında birçok imalat şirketi, yeni ürünlerin üretim maliyetleri ve güvenilirliği için hedef değerler belirlemektedir. Kaliteli mühendislikte ise önce hedef fonksiyonların hedef değerlerinin, ürünün satış fiyatının ve yeni ürünün çalışma ömrünün belirlenmesi önemlidir. Peki, bu çalışmalar hangi bölümler tarafından yapılacaktır? Yeni ürünlerin maliyet ve kalite seviyeleri için hedef değerlerin belirlenmesi, ürün planlama bölümünün değil, teknoloji ve üretim bölümlerinin sorumluluğunda olmalıdır (Taguchi, 1993a). Ancak az sayıda işletme, yeni ürünlerin planlanan işlevleri veya hedefleri gerçekleştirebilmesini ve düşük maliyetle üretilmesini sağlamak için tasarım ve teknoloji bölümlerini, sağlam teknoloji geliştirme çalışmalarını teşvik etmektedir. Ürün tasarım bölümleri, üretim maliyeti düşük, arıza çıkarmayan ve çevreye zarar vermeyen yeni ürünler tasarlamalıdır. Bu ideal hedeflere yaklaşmak için tasarım bölümlerinin ulaşması istenen kalite ve maliyet hedefleri, yeni ürünün planlama aşamasında kurulmamalıdır. Bunun yerine bu hedefler ürünlerin sağlam tasarımı yapıldıktan sonra ilgili bölümler tarafından geliştirilmelidir. Böylece tasarım bölümleri belirli

hedeflere ulaşmakla sınırlı kalmayacak aynı zamanda kalite seviyesini yükseltecek ve yeni ürünlerin maliyetini düşürerek en uygun ürünü geliştirebilecektir. Taguchi, yeni bir ürünün işlevlerini belirlemenin ürün planlama bölümünün görevi olduğunu belirtmektedir (Taguchi, 1993a). Aslında bu görev sadece bilim ve mühendislik ile ilgili değil, insan ve sosyal çevreyle ilgilidir. Ürünün temel fonksiyonları belirlendikten sonra farklı çalışma koşulları altında ürünün işlevleri tüm detaylarıyla ve sağlam bir şekilde geliştirilmelidir. Maliyeti düşürürken yeni ürünlerin veya teknolojilerin işlevsel sağlamlığının temin edilmesi kalite mühendisliğinin temel hedefleri arasındadır. Taguchi'ye göre tasarım mühendislerinin ve üretim teknisyenlerinin ürün ve süreç tasarımında aşağıda belirtilen beş aşamaya dikkat etmesi gerekmektedir (Taguchi, 1993b, s.7).

1. Sistem tasarımı: Tasarım çalışmalarının ilk aşamasında mevcut sistemlere ilave olarak gerekli işlevleri yerine getirebilecek tüm olası yeni sistemlerin geliştirilmesi düşünülmelidir. Mevcut sisteme alternatif oluşturulması ile pazar payının ve müşteri ilgisinin artırılması, ortaya çıkabilecek güçlü ve zayıf yönlerin tartışılarak en iyi sonuca ulaşılabilmesi açısından sistem tasarlanmalıdır. Bütün bu çalışmalarda alınan kararlar ve tartışmalar niceliksel ölçütlerden ziyade nitel temele dayansa da sistem seçiminde son derece önemlidir. Taguchi, tasarım bölümlerine yeterli zaman ve finansman kaynakları varsa aynı anda birkaç yeni sistemi alternatif durumları görmek için geliştirmelerini tavsiye etmektedir. Sistem seçimi, kalite mühendisliğinde çok önemli bir görev olduğundan bu ilk aşamada mümkün olan tüm teknolojiler değerlendirilmelidir.
2. Parametre tasarımı: Mühendislik tasarımlarının değişim kaynaklarına duyarlılığını azaltan ürün veya süreç parametrelerini tanımlama işlemi parametre tasarımı olarak tanımlanmaktadır (Kackar, 1989). Bu aşamada tasarım mühendislerinin kaliteyi yükseltmek ve maliyeti düşürmek için seçilen sistemlerin uygun tasarım parametrelerini belirlemeleri gerekmektedir. Taguchi güçlü tasarım yaklaşımı, gürültü faktörlerinden dolayı hata hassasiyetini analiz etmek ve anahtar sistem parametreleri için en sağlam ayarları belirlemek için kullanılmaktadır (Taguchi ve diğ., 2004). Sistem parametreleri arasındaki lineer olmayan ilişkiler ve bu parametrelerle gürültü ya da çevresel faktörler arasındaki etkileşimler, yeni sistemlerin işlevlerini çeşitli faktörlere karşı duyarsızlaştırmak için kontrol altında

tutulmalıdır. Deneysel tasarım yöntemlerine ek olarak Yanıt Yüzeyi, Doğrusal Programlama, Doğrusal Olmayan Programlama ve İşletim Penceresi Yöntemleri gibi metotlarla parametre tasarımı daha verimli hâle getirilebilir.

3. Tolerans tasarımı: Parametre tasarımı ile tanımlanan nominal ayarların etrafındaki toleransları belirleme süreci olarak tanımlanmaktadır. Endüstride toleransları bilimsel olmaktan çok toplantılarla belirlemek yaygın bir uygulamadır. Çok dar toleranslar imalat maliyetini artırırken çok geniş toleranslar performans değişimini yükseltmektedir. Bu nedenle tolerans tasarımı, performans farklılığından dolayı müşteri kaybı ve imalat maliyetindeki artış arasında bir denge kurmayı gerektirmektedir (Kackar, 1989). Parametre tasarımından sonra seçilen sistemlerin tüm bileşenleri için tolerans özellikleri belirlenmeli ve bu bileşenler için uygun malzeme sınıfları seçilmelidir. Tolerans tasarımının amacı, yeni sistemler tasarlarken kalite ve maliyet arasındaki dengeyi kurmaktır. Değerlendirme ölçütleri olarak ürünlerin kalite önemlilikleri kullanılmalıdır. Bu değerler genellikle ürünlerin hedef değerlerindeki fonksiyonel sapmalardan ve ürünlerin bozulmasından kaynaklanan maliyetlerden hesaplanmaktadır.
4. Tolerans özellikleri: Tolerans tasarımından sonra malzemelerin kalitesi ve bileşenlerin tolerans sınırları belirlenerek planlara yerleştirilmeli ve tedarikçilerle bu sınırlara uyan malzeme ve ham madde için sözleşme imzalanmalıdır. Tolerans şartnamesi aşamasını tolerans tasarım aşamasıyla birleştirmek uygulamada sıkça kullanılmaktadır.
5. Üretim süreci için kalite yönetimi: Bu aşamada çevrim içi kalite faaliyetlerinden olan geri bildirim kontrol sistemleri, mevcut ürün / süreçlerin iyileştirilmesi, yeni ürünlerin önemli ölçütlerinin istatistiksel dağılımını kontrol etmek için tasarlanmalıdır. Kalite yönetim sistemi tarafından kullanılacak ölçüm aletlerinin tasarımı da bu kapsamda yapılması gereken çalışmalardan olup kalitenin geliştirilmesi ve devamlılığı açısından son derece önemlidir. Üretim tasarım mühendisleri ve teknisyenleri, ürünlerin kalite seviyesi ile birlikte yüksek kaliteli bileşenlerin ve malzemelerin maliyetini dengeleyen en iyi kalite yönetim yöntemlerini belirlemelidir. Kalite seviyesinin iyileştirilmesi ve ürünlerin maliyetinin düşürülmesi doğrudan üretim süreçleriyle ilişkili olduğundan üretim teknolojisi geliştirme ve üretim bölümleri özellikle bu konularda çalışarak ürünlerin verimliliğini yükseltmelidir.

3.2.3. Kaliteli mühendislik ve bilim

Kâinata yaratılmış canlı ve cansız, gözle görülebilen ve görülemeyen, varlığından haberdar olduğumuz veya henüz olmadığımız pek çok unsur vardır. Akıl ve irade sahibi olarak yaratılan insan düşünerek bu unsurları incelemek ve keşfetmek amacıyla sürekli araştırma ve bulma çabası göstermektedir. Dünyanın ilk oluşumundan günümüze kadar geçen uzun süreçte yapılan bütün keşiflerin ve buluşların temelinde insanda mevcut olan merak duygusu yatmaktadır. İnsanoğlu yaratılış özelliği gereği bilinmeyene karşı merak duyduğu için sürekli araştırma ve öğrenme çabasındadır. Ancak bunu yaparken kendi dışındaki varlıklara zarar vermeden kaliteli ve sağlam çalışmalar yapmak insanın sorumlulukları arasındadır. Bilim var olan olguları anlamak için yapılan her türlü araştırmadır. Bu araştırmalar yapılırken birincil hedef keşfetmek veya çözümlemektir.

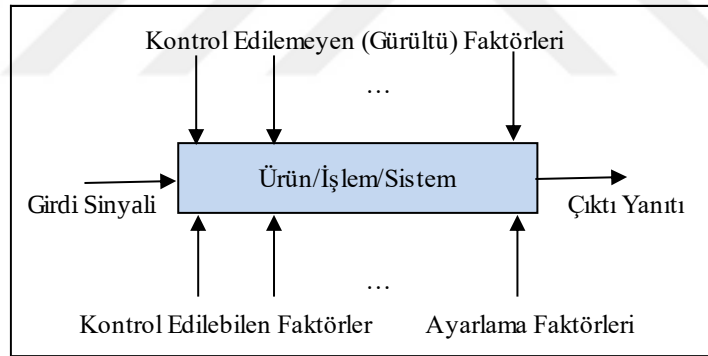
Mühendislik çalışmalarında ise ürünleri tasarlamak için kullanılabilecek farklı metodlar araştırılırken kalite ve maliyet açısından en uygun olan yol tercih edilmelidir (Taguchi, 1993a). Çünkü rekabet ortamında ayakta kalabilmenin şartı ucuz ama kaliteli ürünler üretmek ve müşterileri memnun edecek en kaliteli hizmeti sunmaktır. Bilimsel araştırmalarda üzerinde çalışılan olgunun objektif karakteristiğini açıklayan bir matematiksel formülasyon veya prensip ortaya konulurken mühendislik çalışmalarında ürün ve teknolojilere sağlamlık kazandırmak için deneysel tasarım yöntemleri uygulanır. Taguchi, bir tasarımın giriş varyasyonunun performans üzerindeki etkisini azaltmak için güçlü tasarım çalışmalarını geliştirmiştir. Pek çok deney tasarım kitapları ile istatistiksel ders kitaplarının bilimsel araştırma amacıyla yazıldığını, işlevsel açıdan yeterli olmadığını iddia etmektedir (Taguchi, 1993b, s.9). Bu nedenle geliştirdiği metotta işlevselliği ön plana çıkarmış ve mühendislik ile istatistiği birleştirmiştir.

3.3. Taguchi Yöntemi'nde Kullanılan Temel Kavramlar

3.3.1. P-diyagramı (ürün / proses diyagramı)

P-diyagramları; bir ürünü, işlemi veya sistemi temsil etmede kullanılan blok diyagramlarıdır. Ürün, işlem veya sistem ile ilgili giriş sinyali, çıktı yanıtı, kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler, ayar faktörleri Şekil 3.1'deki P-diyagramında görülmektedir (Hasgül 2010, s. 8). Taguchi Yöntemi'nin temel prensibi olan enerji

dönüşümü girdi sinyali ile çıktı yanıtı arasında gerçekleşmektedir. Amaç, kontrol edilebilen faktörlerin en iyi seviye ayarlarını kullanarak gürültü faktörlerine karşı girdi enerjisinin çıktı yanıtına dönüşümünü en yüksek seviyede sağlamaktır. Girdi sinyal faktörleri, hedef değere ulaşmak veya istenilen çıktıyı elde etmek için kullanıcı / operatör tarafından belirlenir. Örneğin, direksiyon açısı bir otomobilin direksiyon mekanizması için sinyal faktörüdür. Sinyal faktörleri, mühendis tarafından mühendislik bilgisine dayalı olarak da seçilebilir (Taguchi ve Phadke, 1989). Bazı durumlarda birden fazla sinyal faktörü birlikte kullanılabilir. Sebep-sonuç diyagramları ile belirlenen tüm faktörlerin dâhil edildiği ön denemelerde S/G oranı üzerinde etkisi küçük ancak ortalama üzerinde etkisi büyük olan faktörler sinyal faktörü olarak seçilebilir (Phadke ve diğ., 1989). Kontrol faktörleri, değerleri tasarımcının sorumluluğunda olan ürün parametreleridir. Her kontrol faktörü, seviye olarak ifade edilen birden fazla değer alabilir (Taguchi ve Phadke, 1989). Nitel kontrol faktörlerinde en az üç seviye, nicel kontrol faktörlerinde ise iki seviye alınması Taguchi tarafından tavsiye edilmektedir.

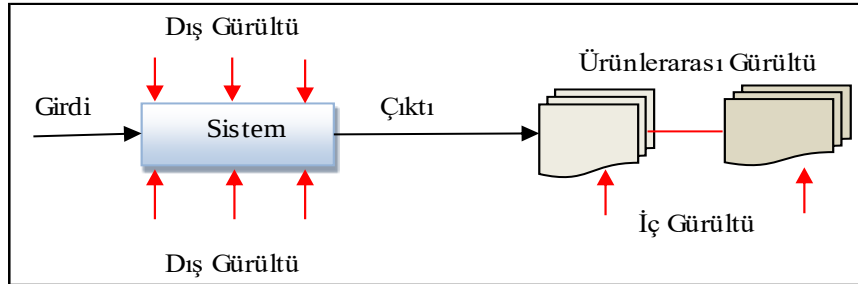


Şekil 3.1. Ürün / proses diyagramı (Hasgöl, 2010)

Tasarım faaliyetinin amacı ürünün gürültüye karşı duyarsız veya sağlam olmasını sağlayacak bu faktörlerin seviyelerini belirlemektir. Bir başka ifadeyle sağlamlık, gürültü faktörlerine karşı ürün ya da sistemin duyarsızlaştırılmasıdır. Kontrol edilebilen faktörler arasında ortalama üzerinde etkili ancak S/G oranı üzerinde etkisi olmayanlar ayarlama faktörleri olarak adlandırılmaktadır (Taguchi ve Phadke, 1989). Belirli bir hedef değere ulaşmanın gerekli olduğu statik problemlerde ve dinamik özellik gösteren tüm sistemlerde ayarlama faktörleri kullanılmaktadır. Ayarlama faktörlerinin belirlenmesinde çeşitli bilimsel metotlarla birlikte oluşturulan uzman bir kalite ekibinin önerileri de dikkate alınmaktadır.

Gürültü faktörleri, yüksek maliyet veya diğer sebeplerle kontrol edilemeyen faktörlerdir. Isı, nem, yıpranma, aşınma, ham madde vb. başlıca gürültü faktörleridir. Hedeften sapmaya neden olan ve dolayısıyla kayba neden olan faktörler olarak tanımlanan gürültü faktörleri basitçe değişim kaynakları olarak da adlandırılır (Taguchi, 1986; Park, 1996; Ross, 1996; Wu ve Wu, 2000). Bu faktörler çıktıyı etkiler ve seviyeleri ürünün bir biriminden diğerine, bir ortamdaki diğerine ve zamana bağlı olarak değişir (Taguchi ve Phadke, 1989). Gürültü faktörleri Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ürün yada sistemleri dışardan etkileyen veya ürünler arasındaki farklılıkların biri veya bunların bir birleşimi olarak da tanımlanabilmektedir (Baynal, 2003, s. 134).

1. Dış gürültü: Bir ürünün performansını dışarıdan etkileyen değişkenlerdir. Sıcaklık, nem, basınç, voltaj, toz ve titreşimler gibi çevresel faktörlerdeki değişiklikler ve ürünü çalıştırmada insan çeşitliliği başlıca dış gürültü faktörleridir.
2. İç gürültü: İç gürültü kaynakları, üretilen bir ürünün özelliklerinin belirlenmiş olan ayarlardan sapmasıdır. Başlıca iç gürültü kaynaklarına örnek olarak imalat kusurları, renk solması, yıpranma ve ürün bozulması verilebilir.
3. Ürünler arası gürültü: Bölümden bölüme farklılıklar bu gruptaki gürültü faktörlerini oluşturmaktadır.



Şekil 3.2. Gürültü faktörlerinin sistemdeki yeri (Baynal, 2003)

Bazen dış gürültü kaynakları, belirlenen ayarlardan ürünün fiilî özelliklerinin sapmalarını arttırarak ürünün performansını dolaylı olarak etkiler. Örneğin, yüksek sıcaklık ve nem bir ürünün daha hızlı bozulmasına neden olan sapmalar iç gürültü kaynaklarıdır. Bu nedenle bir ürünün performansı iç gürültü kaynaklarına duyarsız ise dış gürültü kaynaklarının seviyesini artırarak performansı etkileyen iç gürültü kaynaklarının etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmalıdır. Parametre tasarım deneylerine tüm gürültü kaynakları dâhil edilememektedir. Deney maliyetlerinin

artırılmaması ve tüm gürültü faktörlerinin tespit edilememesi nedeniyle parametre tasarım deneyinde bulunabilecek gürültü faktörleri, ürünün ya da sürecin performansını etkileyen değişim kaynaklarını temsil edenler arasından seçilmelidir. Parametre tasarımı ancak bu şartlarda mümkündür. Çünkü iç ve dış gürültü faktörlerinin etkileri tasarım parametrelerinin ayarlarıyla değişebilmektedir. Bu üç büyük gürültü kaynağı ile gürültüyü gidermek için firmaların uygulamaları gereken stratejiler arasındaki ilişki Tablo 3.1’de görülmektedir (Taguchi, 1993b, s.14; Arvidsson ve Gremyr, 2008).

Tablo 3.1. Bölümlerin gürültüyü yönetme stratejileri (Taguchi, 1993b)

BÖLÜM/STRATEJİ		GÜRÜLTÜLER		
Bölüm	Strateji	İç gürültü	Dış gürültü	Ürünler arası gürültü
OFF-LİNE bölümler	Yenileme			
	Sistem tasarım	Y	Y	Y
	Parametre tasarımı	Y	Y	Y
Tasarım ve Geliştirme	Tolerans tasarımı	S	Y	Y
	Yenileme			
Üretim teknolojisi	Sistem tasarım	K	K	Y
	Parametre tasarımı	K	K	Y
	Tolerans tasarımı	K	K	Y
ON-LİNE bölümler	Yenileme			
	Proses yönetimi	K	K	Y
İmalat	Ürün yönetimi	K	K	Y
Pazarlama	Yenileme			
	Satış sonrası servis	K	K	K

Y: Belirtilen strateji kullanılarak bu bölümde bu tür gürültünün etkileri azaltılabilir.

S: Gürültü etkileri azaltılabilir ancak bu aşamada tavsiye edilmez.

K: Belirtilen strateji kullanılarak gürültü etkisi bu bölümde azaltılamaz.

3.3.2. Off-line kalite kontrol

Gürültü faktörlerine karşı duyarsız bir ürün ancak tasarım aşamasında yapılan çalışmalar ile elde edilebilir. Taguchi, kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetleri off-line kalite kontrol ve on-line kalite kontrol olarak iki gruba ayırmaktadır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Kalitenin off-line kalite kontrol aşamasında sağlanması düşük maliyetli ve güçlü tasarımları beraberinde getirir. On-line kalite kontrol aşamasındaki çalışmalarda ise sağlam parametre tasarımının devamlılığı ve kontrolü gerçekleştirilir (Kackar, 1989). Off-line kalite kontrol çalışmaları; pazar araştırması ile başlayıp ürün ve süreç geliştirme ile devam eden, üretim öncesi yapılan kalite geliştirme faaliyetleridir. Off-line kalite kontrol, ürün geliştirme sırasında, ürün / süreç tasarım aşamalarında gerçekleştirilen kalitenin ve ilgili maliyetlerin kontrolünün yapıldığı faaliyetlerdir. Çevrim dışı kalite kontrol faaliyetleri olarak da adlandırılan bu

Çalışmaların genel amacı ürünün üretilebilirliğini ve güvenilirliğini iyileştirmek ve ürün geliştirmeyi sağlamak ayrıca tüm bunları yaparken oluşabilecek maliyetleri azaltmaktır (Hasgöl, 2010, s.74). Dünya pazarında kaliteli ürünlerin önde gelen üreticileri, tasarım incelemeleri, hassasiyet analizleri, prototip testleri, hızlandırılmış ömür testleri ve güvenilirlik çalışmaları gibi off-line kalite kontrol yöntemlerini kullanmaktadır. Bu yöntemleri kullanan firmaların elde ettikleri güçlü tasarımlarla pazar payını artırdıkları görölmektedir. Off-line kalite kontrol çalışmalarında performans farklılıklarını azaltan ve üretim maliyetlerini düşüren ürün / süreç tasarım özelliklerini tanımlamak amacıyla bilimsel yöntemlere de ihtiyaç duyulmaktadır.

Ürün / süreç tasarımının tüm özellikleri, ideal nominal değerler ve bunların etrafında ayarlanacak olan toleranslar, off-line kalite kontrol aşamasında belirlenmelidir. Tasarım aşamasındaki bu özellikler sanayide genellikle tolerans aralıkları ile belirtilir. Üretici firmalar tolerans aralıkları içinde ürettiği ürünleri kaliteli kabul eder ancak ideal olan bu değildir (Taguchi, 1993a). Çünkü bu tür ürünlerin kalitesi ve güvenilirliği hedef değerlerinde üretilen ürünlere göre daha düşük seviyededir. Bir ürünün tüm özellikleri tolerans aralıkları dâhilinde olsa bile ürün, ürün özellikleri arasındaki etkileşimler nedeniyle tatmin edici bir performans göstermeyebilir. Üretilen ürün ancak tüm özellikleri ideal değerlerinde olduğunda en iyi sonucu verebilir ve kaliteli olarak adlandırılabilir. Ürün / süreç tasarım özelliklerinin ideal değerleri ve bu değerlerden sapma nedeniyle oluşan kayıp bilgisi firmaları sürekli olarak kalitenin iyileştirilmesine teşvik edecektir. Taguchi, ürün tasarımı ve süreç tasarım özelliklerine nominal değerler ve toleranslar atamak için üç aşamalı bir yaklaşım ortaya koymuştur (Ross, 1996):

1. Sistem tasarımı
2. Parametre tasarımı
3. Tolerans tasarımı

Sistem tasarımı, off-line kalite kontrolün ilk aşaması olup üründen istenen ve ihtiyaç duyulan özelliklerin temel alındığı fonksiyonel bir örnek ürün tasarımı üretmek için bilimsel ve mühendislik bilgilerinin uygulandığı adımdır. Prototip modeli, ürün ve süreç tasarım özelliklerinin başlangıç ayarlarının tanımlanmasıdır. Ürün ya da sürecin örnek ürün modelinde parametre tanımı yapılırken tüketici ihtiyaçları ile

Üretim sürecinin çevresel faktörleri de dikkate alınmalıdır (Pekircioğlu, 1990). Asıl amaç, ürünü belirlenen tolerans sınırları içinde ve en düşük maliyetle üretmek için gerekli olan süreci geliştirmektir. Süreç için gerekli olan ham madde, malzeme, donanım ve üretim teknolojisi de bu aşamada belirlenmektedir.

Geleneksel yaklaşımlarda sistem tasarımıdan sonra genellikle tolerans tasarımı aşamasına geçilmekte, maliyetlerin azaltılmasında ve kalitenin geliştirilmesinde çok büyük etkiye sahip olan parametre tasarımı genellikle ihml edilmektedir (Hasgl, 2010). Parametre tasarımı, performans değişimini ortadan kaldıran veya en azından azaltacak olan ayarları belirlemek için yapılan çalışmalardan oluşan ve Taguchi Yöntemi'nin en önemli aşamasıdır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Bir rn veya süreç tasarım özelliklerinin birçok ayarında istenen işlevi yerine getirebilir. Bununla birlikte performans karakteristiği farklı ayarlarla değişebilir. Bu değişkenlik hem ürünün üretim maliyetini hem de ömür boyu kullanım maliyetlerini arttırır. Parametre tasarımı, ürün kalitesini etkileyen faktörlerin tespit edilerek kontrol edilemeyen faktörlerin ürüne olan etkisinin en küçüklenmeye çalışıldığı aşamadır. Taguchi bu çalışmalarda mühendislik ve istatistiği birleştirerek yeni bir yaklaşım geliştirmiştir.

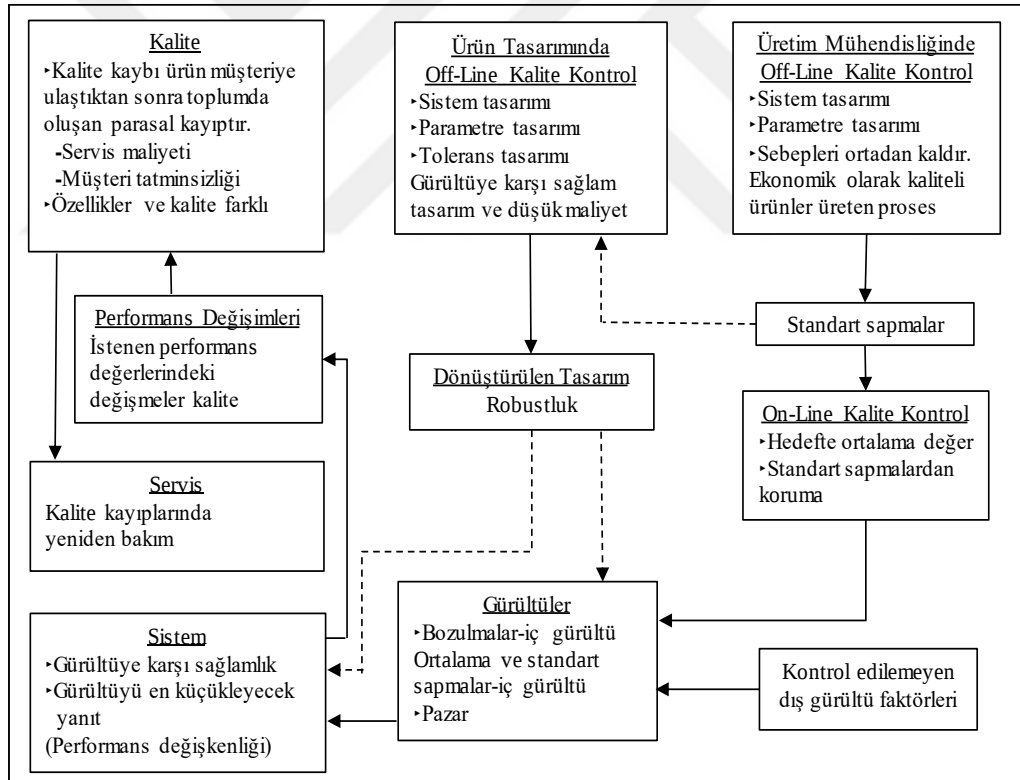
Parametre tasarımının yetersiz kaldığı durumlarda toleranslar ile çalışılabilir. Tolerans tasarımı, ürün imalatının ve ürün ömrü boyunca oluşacak maliyetlerin toplamını en aza indirgeyen toleransların belirlenmesi için kullanılan yöntemdir (Belavendram ve Kelang, 2012). rn ve süreç tasarımlarını belirlemenin son adımı olan bu aşama parametre tasarımı ile belirlenen nominal ayarların etrafındaki toleransları tespit etme aşamasıdır (Kackar, 1989). Genellikle toleranslar sübjektif değerlendirmeler ile belirlenmektedir. Dar toleranslar maliyeti arttırırken geniş toleranslar değişkenliği yükselterek çok daha yüksek maliyetlere sebep olduğu için tolerans sınırlarının belirlenmesi bilimsel çalışmalarla yapılmalıdır. Taguchi, ancak tolerans tasarımı zorunlu olan durumlarda bu aşamanın kullanılabileceğini düşünmektedir.

On-line kalite kontrol, evrimii kalite kontrol olarak da adlandırılan, üretim sırasında ve sonrasında yapılan kalite faaliyetlerini içerir (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Üretim süreci boyunca ürünlerin kalitesini periyodik olarak ölçmek için süreç yönetim çalışmalarının da yapılması gerekmektedir. Süreçte ortaya çıkan kusurlu

ürünlerin sebepleri kökten yok edilmeli ve üretim işlemleri normal şartlara göre yeniden ayarlanmalıdır.

Süreç yönetiminde hem ileri besleme kontrol hem de geri besleme kontrol bu amaçlara ulaşmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ürünlerin nesnel özelliklerini ve bu karakteristikleri ölçmek için kullanılan ekipmanı periyodik olarak kontrol etmek üretim esnasında oluşabilecek hataların belirlenmesi açısından önemlidir. İleri ve geri besleme kontrol çalışmaları, süreç yönetimi ve ürün yönetimi kapsamında yapılan faaliyetler olan tüm on-line kalite kontrol çalışmaları parametre tasarımı ile elde edilen güçlü tasarımın devamlılığı açısından önemlidir.

Taguchi'nin off-line kalite kontrol ve on-line kalite kontrol faaliyetlerinde kaliteyi sağlama ve üretim aşamaları Şekil 3.3'te görülmektedir (Baynal, 2003, s.126).



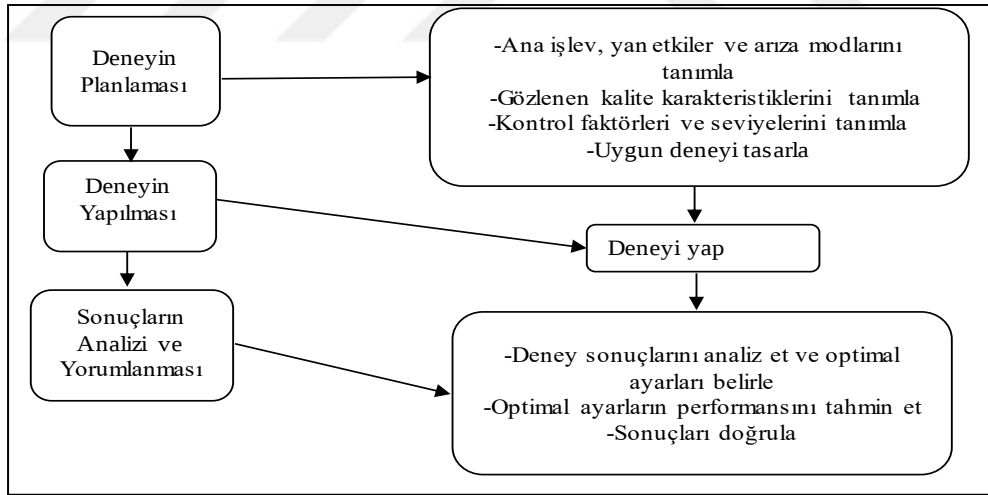
Şekil 3.3. Taguchi kalite sağlama aşamaları (Baynal, 2003)

On-line kalite kontrolü, ürünlerarası değişkenliği en aza indirmek için montaj sürecindeki ve üretimdeki tutarlılığın sürdürülmesidir. Burada düşük maliyeti ve yüksek kaliteyi eş zamanlı olarak sürdürebilmek ve üretim aşamasında karşılaşılabilecek problemlere hızlı bir şekilde çözüm getirmek önemlidir (Hasgül 2010, s.79).

Günümüzde on-line kalite kontrol yöntemleri çoğu imalat işletmelerinin üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanıldığından üretim teknolojisi bölümleri kalite yönetim sistemlerinin tasarımından sorumludur. Birçok imalat işletmesinde üretim teknolojisi bölümleri on-line kalite kontrol sistemlerini tasarlamak için üretim bölümü ile birlikte çalışmaktadır.

3.3.3. Ortogonal diziler

Deney tasarımında, ürün / süreç performansını etkileyen faktörlerin değerleri veya seviyeleri değiştirilerek değişkenlik üzerindeki faktör etkilerini tahmin etmek için sistematik bir biçimde çeşitlendirilir ve böylece sağlam bir tasarım için en uygun faktör / seviye kombinasyonu bulunmaya çalışılır. Performansa etki eden faktör sayıları arttıkça yapılacak deney sayısı katlanarak artacağı için deneylerin maliyeti yükselecek ve deney süreleri artacaktır. Tüm deney tasarım metotlarında izlenen adımları gösteren tipik bir deneysel tasarım döngüsü Şekil 3.4'te görüldüğü gibi planlama, deneyin yapılması ve sonuçların analiz edilerek yorumlanması olmak üzere üç temel adımdan oluşmaktadır (Taguchi ve diğ., 2004, s.10).



Şekil 3.4. Deney tasarım döngüsü (Taguchi ve diğ., 2004)

Ortogonal diziler Taguchi Yöntemi ile yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır ancak sadece Taguchi'ye mahsus değildir. Taguchi, standart OD'leri ve bunlara karşılık gelen doğrusal grafikleri geliştirmiştir (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Taguchi Yöntemi'nde kullanılan ortogonal dizinlerin başlıca rolü, mühendislerin, kontrol faktörlerinin ayarlarını değiştirerek gürültüye karşı sağlam ve düşük maliyetli ürün tasarımını daha az deneme sayısı ile değerlendirmelerini sağlamaktır. Tam

faktöriyel ve kesirli faktöriyel deneylerde deneme sayısı oldukça fazla ve deneyler hem yüksek maliyetli hem de zaman alıcı olduğu için OD'ler ile Taguchi Yöntemi'nde zaman ve maliyet avantajı sağlanmaktadır. Ortogonal dizinler kötü tasarımın olumsuz etkilerinin tasarım aşamasından üretim ve pazar aşamasına doğru yani akışaşağı gitmesini önlemek için kullanılan bir çeşit denetim cihazı olup Eşitlik (3.1)'de görüldüğü gibi temsil edilmektedir (Taguchi ve diğ., 2004, s.10):

$$L_a(b^c) \quad (3.1)$$

a: deneysel çalışma sayısı-deneme sayısı

b: faktör seviye sayısı

c: faktör sayısı-OD sütun sayısı

L: latin kare tasarımını ifade etmektedir.

Ortogonal dizinlerde en çok karşılaşılan iki ve üç seviyeli faktörlerdir ancak daha fazla seviyede faktörde kullanılabilir. Tablo 3.2, 2 seviyeli ve 3 faktörlü L_8 OD'si ve Tablo 3.3, ortogonal dizinlerin deneme sayısı açısından deney tasarımcılarına sağladığı kolaylıkları göstermektedir.

Tablo 3.2. $L_8(2^7)$ OD örneği

Faktörler	A	B	C	D	E	AB	CD
Deneyler	1	2	3	4	5	6	7
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	+	+	+	+
3	-	+	+	-	-	+	+
4	-	+	+	+	+	-	-
5	+	-	+	-	+	-	+
6	+	-	+	+	-	+	-
7	+	+	-	-	+	+	-
8	+	+	-	+	-	-	+

Tablodaki dizine en fazla 7 faktör ya da faktör etkileşimi atanabilir. Faktör / seviye değerleri birbirinden bağımsız olarak değiştirilebilmelidir. Faktör seviyelerinin belirlenmesinde özellikle ürün / süreçle yakından ilgili olan personelin görüşleri alınır. Bunun için kullanılan özel programlarda vardır.

Tablo 3.2'de görülen sütunlar faktörleri büyük harflerle temsil etmektedir. Satırlarda ise deneme sayıları yani deney numaraları vardır. OD'lerdeki sütun sayıları, faktör sayıları ve deneylere dâhil edilecek faktör etkileşimlerinin sayısına göre kullanılır.

Taguchi ortogonal dizinlerin hazırlanmasında kullanılan yöntemler hakkında yeterli bilgi vermemekte ve istatistiksel literatürde gösteriliş biçiminden farklı şekilde hazırlanmaktadır (Kackar ve diğ., 1991). Taguchi' nin hazırladığı ortogonal dizin tablolarına pek çok kaynaktan ve hazır paket programlardan ulaşılabilir. Ancak standart tablolardan farklı deney şartlarına uygun tasarımlar için Ek-B' de OD'lerin oluşturulması ile ilgili üreteç örnekleri verilmiştir.

Tablo 3.3. OD ve tam faktöriyel deney sayıları karşılaştırması

Ortogonal Dizi	Faktör ve Seviye Sayısı	Taguchi Deneme Sayısı	Tam Faktöriyel Tasarım Deneme Sayısı
L ₄	3 Faktör ve 2 Seviyeli	4	8
L ₈	7 Faktör ve 2 Seviyeli	8	128
L ₉	4 Faktör ve 3 Seviyeli	9	81
L ₁₆	15 Faktör ve 2 Seviyeli	16	32,768
L ₂₇	13 Faktör ve 3 Seviyeli	27	1,594,323
L ₃₂	31 Faktör ve 2 Seviyeli	32	2.147.483.648

Tablo 3.3'te görüldüğü gibi Taguchi'nin kullanmayı tercih ettiği OD'ler deney sayılarını azaltmıştır. İki seviyeli 7 faktörün olduğu bir durumda OD kullanıldığında toplam 8 deney yapılırken tam faktöriyel deney tasarımında 128 adet deney yapılması gerekmektedir. Tamamı üç seviyeli 13 adet faktörün olduğu bir deney tasarımında ise Taguchi Yöntemi'nde sadece 27 deney yapılırken tam faktöriyel deney tasarımında yapılması gereken deney sayısı 1.594.323 gibi çok yüksek bir değerdir. Bu nedenle Taguchi Yöntemi ilk ortaya çıktığı yıllarda sadece OD'lerin kullanımından ibaret sanılmış ve metot sadece bu yönü ile ele alınmıştır.

3.3.4. Taguchi kalite kayıp fonksiyonu

Ürün / hizmet kalitesi, ilgili ürün veya hizmetin kalite özellikleri tespit edilip ölçülmeden iyileştirilemez ve geliştirilemez. Kaliteyi sağlamanın yanında sürekli hâle getirmek amacıyla kalite geliştirme programları hazırlanmalıdır. Bu programlarda ürün/hizmet kalite özelliklerinin ideal değerlerinin belirlenmesi gerekir. Her kalite karakteristiğinin değeri farklı birimler için farklı olabilir ve zamanla değişebilir. Kalite geliştirme programları ürünün kalite özelliklerinin ideal değerlerinden sapmasını azaltmak amacıyla hazırlanır. Bir ürünün performans özellikleri o ürünün müşteri istek ve ihtiyaçlarını karşılama derecesini belirleyen en önemli kalite unsurudur. Bir performans karakteristiğinin ideal değeri hedef değer

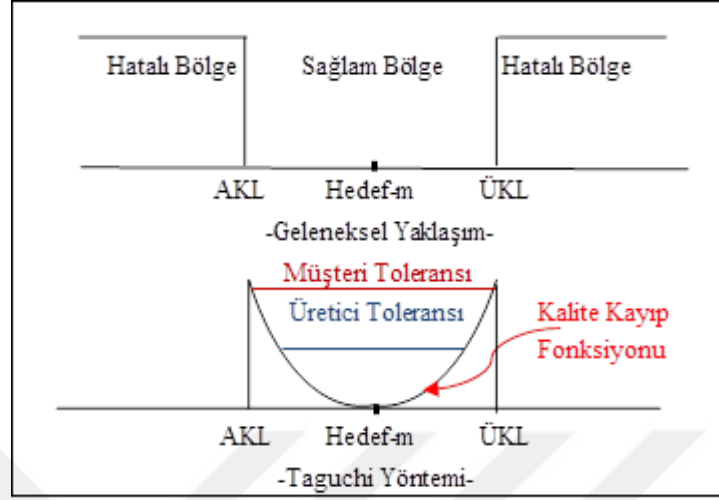
olarak adlandırılır. Yüksek kaliteli bir ürün, ürün ömrü boyunca ve tüm farklı çalışma koşullarında sürekli olarak hedef değerin yakınında performans göstermelidir. Performans karakteristiği sürekli bir ölçekte ölçüldüğünde kalitedeki en küçük değişiklikler algılanabildiği için performans değişimi en etkili şekilde değerlendirilebilir. Bu nedenle bir ürünün sürekli bir ölçekte ölçülebilen performans özelliklerini tanımlamak önemlidir (Kackar, 1989).

Sürekli performans özelliklerinin tüm hedef değerleri, nominal seviyeler ve nominal seviyelerle ilgili toleranslar açısından belirtilmelidir. Hedef değer, performansın ideal durumu tolerans aralığının orta noktası olmadığı için özellikle tanımlanmalıdır (Taguchi ve diğ., 2004).

Bir üründe ortaya çıkan performans farklılığından kaynaklanan müşteri kaybı genellikle performans karakteristiğinin hedef değerinden sapmasının karesi ile yaklaşık olarak orantılıdır. Ürünün hedef değeri ile ilgili performans karakteristiğindeki herhangi bir değişiklik, müşterisine farklı boyutlarda zarar verir. Müşteri açısından ortaya çıkan kayıp, sadece rahatsızlık duyulması ya da para kaybı olabileceği gibi daha tehlikeli bir boyuta ulaşip fiziksel zarara kadar müşteriyi etkileyebilir. Parametre tasarımı yapılırken müşteride oluşabilecek olası tüm kayıplara karşı ürün sağlamlaştırılmalıdır. Bu amaçla en uygun parametre tasarım ayarlarını tanımlamak için ölçüt belirlemek gerekir ki bu ölçüt, beklenen kayıptır. Beklenen kayıp ürünün herhangi bir müşterisinin, ürün performans değişimi nedeniyle ürün ömrü boyunca herhangi bir zaman zarfında muhtemel parasal kayıpların beklenen değeridir (Taguchi, 1993a). Kalite kaybı olarak ifade edebileceğimiz bu kayıp değeri performans değişiminin yani varyasyonun azaltılması gerektiğinin bir göstergesidir. Karmaşık ürün ya da sistemlerde varlığı kaçınılmaz olan farklı performans özelliklerinde ortaya çıkan varyasyonları karşılaştırmak için ortak bir değer sağlar.

Şekil 3.5’ de geleneksel yaklaşım ve Taguchi kalite kayıp fonksiyonu yaklaşımları grafiksel olarak gösterilmiştir (Baynal, 2003, s. 143). Geleneksel kalite yaklaşımında belirlenen tolerans sınırları içinde kalan tüm ürünler sağlam kabul edilir. Tolerans dışında kalan ürünler ise arızalı olarak kabul edilerek ya yeniden işlenerek tolerans sınırlarında tutulmalı veya hurda olarak satılmalıdır. Her iki durumda da ürün ve

süreç maliyetlerinde artış ve müşteri memnuniyetsizliği gibi pek çok sorun firmalara kayıp olarak dönecektir.



Şekil 3.5. Taguchi ve klasik kalite yaklaşım modelleri

Kalite kontrolde süreç yeterlilik indeksi, tolerans spesifikasyonu seçilen objektif karakteristiğin standart sapmasının altı katına bölümü ile tanımlanır ve değerinin 1'in üzerinde olması beklenir. Üst ya da alt tolerans limitleri arasındaki sağlam bölgede kalan ürün hedef değerden çok uzak olsa bile kabul görür ancak müşteri taleplerini karşılama yeteneği düşüktür. Üretici açısından kalitelidir ama müşteri açısından kalite kaybı olabilir. Taguchi kalite kayıp fonksiyonunda ise üretilen ürün müşteri isteklerini ve nominal özelliklerini, belirlenen hedef değerde karşılamalıdır. Hedef değerden sapma müşteriye ve topluma parasal kayıp olarak yansır (Unal ve Dean, 1991). Ürün tolerans sınırlarında olmasına rağmen hedef değerde olmadığı için müşteri ve toplum kayba uğrar. Hedef değerden uzaklaştıkça bu kayıp uzaklaşma miktarının karesi ile doğru orantılı olarak artacaktır. Yoğun rekabet ortamında ürünü hedeflenen değerde ve ilk seferde üretmek, müşteriye zamanında ulaştırmak, kıt kaynakları israf etmeden kullanmak firmalar için son derece önemlidir. Eğer ürün özelliği hedeften sapmışsa bu sapmayla birlikte artan oranlarda kalite kaybı ortaya çıkacaktır. Buna karşın kalite kayıp fonksiyonu yaklaşımı uygun parametre değerlerinin seçimiyle ürünün yanıt değerini mümkün olduğunca hedef değerine taşımayı önermektedir. Tolerans sınırlarını üretim teknolojilerinde yapılacak gelişmelerle daraltmak Taguchi parametre tasarımından çok daha maliyetli bir yaklaşım olacaktır (Hasgül, 2010, s. 90).

Taguchi kayıp fonksiyonunu karesel bir formülle ifade etmektedir (Taguchi, 1993b, s.23). Ürünün seçilen performans karakteristiğinin y , belirlenen hedef değeri ise m harfi ile temsil edebiliriz. $K(y)$ kalite seviyesinin bir göstergesi olarak kullanılan parasal kayıp olarak kabul edelim. Y , m hedefini karşıladığında $K(y)$ kalite kaybı Eşitlik (3.2) de görüldüğü gibi minimum yani sıfır olacaktır.

$$K(m)=0 \quad (3.2)$$

Bu noktada finansal kayıp en düşük olduğu için y ile ilgili olarak kayıp fonksiyonunun birinci türevi de sıfır olmalıdır. Bu nedenle Eşitlik (3.3) sağlanmalıdır.

$$K'(m)=0 \quad (3.3)$$

Eğer kayıp fonksiyonu $K(y)$ 'yi hedef değeri m etrafında bir Taylor serisi genişlemesi ile genişletir ve Eşitlik (3.4) ve Eşitlik (3.5) yazılabilir (Bakır ve Ekni, 1998):

$$K(m) + \frac{K'(m)}{1!}(y - m) + \frac{K''(m)}{2!}(y - m)^2 + \dots \quad (3.4)$$

$$K(y) = \frac{K''(m)}{2!}(y - m)^2 + \dots \quad (3.5)$$

Bu sonuç, $K(m)$ sabit terimi ve $K'(m)$ birinci türevi teriminin her ikisi de sıfır olduğu için elde edilmiştir. Buna ek olarak üçüncü derece ve daha yüksek seviye şartlarının ihmal edilebilir olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla kayıp fonksiyonu bir k sabiti ile çarpılarak karesel olarak Eşitlik (3.6) ile ifade edilebilir:

$$K(y) = k(y - m)^2 \quad (3.6)$$

Performans karakteristiği belirlenen hedef değerden saptıkça kalite kaybı artar. Sapmanın büyüklüğü tolerans spesifikasyonlarının dışındaysa bu ürün kusurlu kabul edilmelidir. Kusurlu üründen kaynaklanan maliyet A ; hedef değerden sapmaların karşılık geldiği değer Δ kabul edilirse k sabitinin değeri için Eşitlik (3.7) aşağıdaki şekilde belirlenebilir (Belavendram ve diğ., 2012):

$$K(y) = A = k\Delta^2 \Rightarrow k = \frac{A}{\Delta^2} \quad (3.7)$$

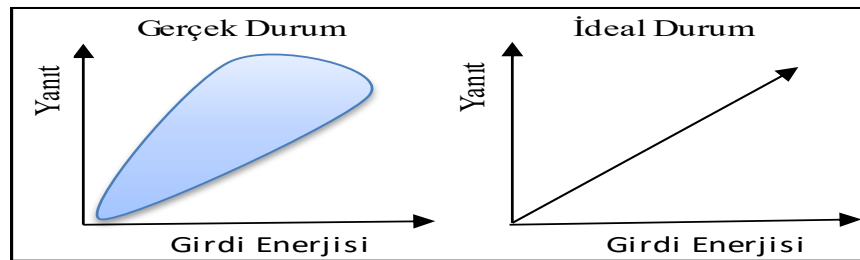
A: kusurlu ürünün maliyeti

Δ : tolerans

Bununla birlikte Eşitlik 3.6'daki Taguchi kalite kayıp fonksiyonu, ürünlerin varyansının değil, performans özelliklerinin hedef değerlerinden ortalama sapması olarak tanımlanmaktadır (Kackar, 1989). Bu nedenle yalnızca bir ürün yapıldığında bile ilgili kalite kaybı Eşitlik (3.6) ile hesaplanabilir. Kalite kaybı karesel sapmayı yaklaşık olarak kullanarak genellikle rastgele veya normal olarak dağılan olası tüm kontrol edilebilen ve gürültü koşullarını dikkate almaktadır (Kackar, 1989).

3.3.5. Sinyal / Gürültü (S/G) oranları

Daha önce enerji dönüşüm ilkesinde açıklandığı gibi S/G oranı terimi, girdi sinyalinin kontrol edilemeyen faktörler olan gürültüye oranını ifade etmektedir. Taguchi deney tasarımı 70' den fazla sinyal/gürültü oranı değişik mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır (Bakır ve Ekmi, 1998; Kackar R. N., 1986). Taguchi bu oranları kullanarak kontrol edilemeyen faktörler olan gürültü faktörleri için bir miktar ayar yaptıktan sonra girdinin büyüklüğünü yakalamaya çalışmaktadır. Şekil 3.6, bir sistemin girdi ve çıktı enerjisi açısından gerçek ve ideal durumlarını göstermektedir (Taguchi ve diğ., 2004, s.8). Sistemlerin belirli bir işlemi gerçekleştirmek ve gürültü faktörlerine bağlı olarak oluşan farklılıkları en aza indirerek istenen sonucu elde etmek üzere tasarlanmış bir dizi etkinlik veya işlevden oluştuğu söylenebilir. Her ürün ve sistem için farklı olan girdiler etkin ve tam kullanıldığı zaman hedeflenen çıktı değerleri en iyi şekilde elde edilmiş olacaktır. Örneğin; tel imalatı yapılan bir tesiste girdi olarak kullanılan filmaşın, işçilik, saf çinko ve kimyasal malzemeler kullanılarak hedeflenen değerlerde çelik tele kaplama miktarı, uygun tel çapı, hedef değerde mukavemet gibi müşteri taleplerini oluşturan çıktılarına dönüştürülmelidir.



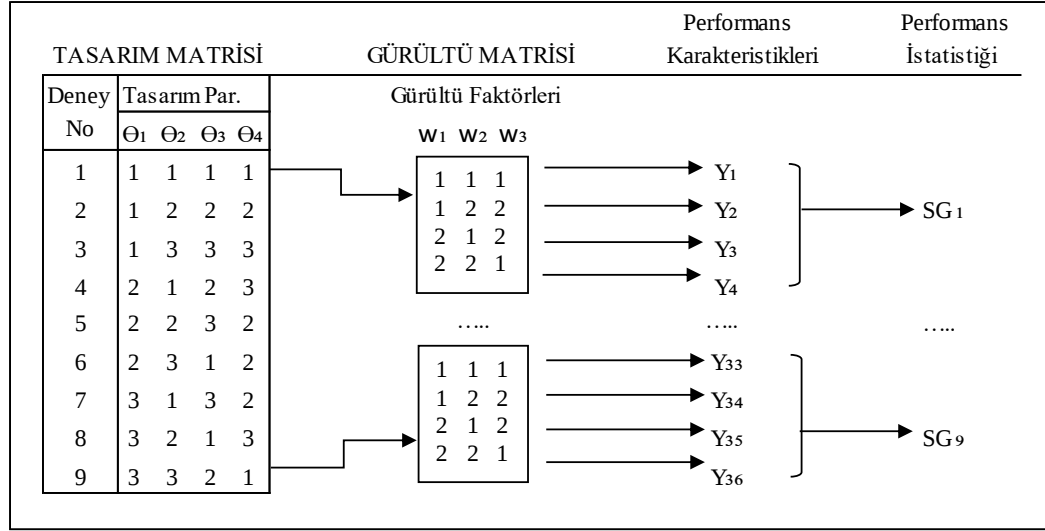
Şekil 3.6. Sistemlerin gerçek-ideal durumları (Taguchi ve diğ., 2004)

Mühendislik sistemlerinde girdi enerjisi, fizik kanunlarıyla istenen çıktıya dönüştürülmektedir. Bu sistemler müşteri isteklerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm mühendislik sistemleri girdi ve çıktı arasında olması gereken ideal bir ilişkiyle yönetilmekte olup bu ilişki ideal fonksiyon olarak adlandırılmaktadır. Mühendislik ve istatistiğin birleştirildiği sağlam mühendislik yaklaşımı da bu ilişkiyi kullanır ve sistemi ideal duruma yaklaştırmaya çalışır. Eğer girdi enerjisinin tamamı çıktıya dönüştürülürse sistemde enerji kaybı olmayacaktır. Ancak gerçek durum ideal durumdan farklı olduğu için genellikle kayıpların varlığı kaçınılmazdır. Kayıpların sebebi değişkenlik ve kontrol edilemeyen gürültü faktörleridir (Phadke, 1989).

Taguchi geliştirdiği metotta kalite ve istatistiği birlikte kullanmıştır. Kalite değerlendirme için kullandığı performans istatistiği, gürültü faktörlerinin performans karakteristiği üzerindeki etkisini tahmin etmek için kullanılır. Taguchi performans istatistiği olan S/G oranı, kayıp fonksiyonu temeline dayanır ve enerji dönüşümünün miktarını ölçtüğü gibi sistemin dayanıklılığı da ölçen desibel (dB) ile ifade edilmektedir. S/G oranı ne kadar yüksekse sistemin işlevi o kadar güçlüdür. S/G oranı sistem fonksiyonuna ayarlamalar yaptıktan sonra kalite kaybını tahmin etmek amacıyla kullanılır.

Taguchi üç çeşit S/G oranı kullanmaktadır. Taguchi'nin kaliteyi değerlendirmek amacıyla önerdiği hedef esaslı kalite felsefesi temelde nominal en iyi durumu etrafında geliştirilmiştir. Şekil 3.7 Taguchi'nin önerdiği parametre tasarım deney planının bir örneği görülmektedir (Kackar, 1989, s. 16). Etkin bir performans istatistiği, ürün hakkında daha önceden bilinen mühendislik verilerinden, kalite kayıp fonksiyonundan ve performans karakteristiğinin dağılımından yararlanılarak oluşturulmalıdır.

Performans ölçüsü seçilen tasarım parametresinin bir fonksiyonudur, bu şekilde performans ölçümünün mümkün olan mühendislik düzenlemeleri ile maksimum yapılması ve beklenen kaybın en aza indirilmesi temel amaçtır. Taguchi'ye göre kalite ancak bu şekilde sağlanmış olur (Taguchi ve diğ., 2004). Performans ölçüsü, aynı zamanda tasarım parametrelerinin farklı ayarlarını karşılaştırmak içinde ölçüt olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. Parametre tasarımı deney planı örneği (Kackar, 1989)

Verimli bir performans ölçütü, ürün hakkındaki mühendislik bilgisinden yararlanılarak ve kalite kayıp fonksiyonunu kullanarak ölçümü olabildiğince basitleştirir. Aslında beklenen kayıp bir performans ölçüsüdür ancak bazen mühendislik bilgilerinden faydalanılamadığı için olması gerekenden daha karmaşıktır. Taguchi bu karmaşıklığı kalite kayıp fonksiyonunu S/G oranına dönüştürerek basitleştirmiştir.

Performans istatistiği olarak adlandırılan η kalite karakteristiğinin yapısına, sürekli veya kesikli oluşuna ve hedef değerine göre farklı yapıda tanımlanan ve performans ölçüsü yerine kullanılan bir fonksiyondur (Kağınıcıoğlu 1998; Çelik 1993, s.59). Taguchi'nin güçlü tasarımıda performans ölçümü için önerdiği istatistiği olan S/G oranı ürün kalitesinin değerlendirilmesi anlamını taşımaktadır. Kalite ölçümünde kullanılan bu oran sayesinde kontrol edilemeyen faktörlerin performans üzerindeki etkileri de değerlendirilmektedir (Hasgöl 2010, s.123). Taguchi, parametre tasarımının mühendislik uygulamaları için 60'tan fazla farklı S/G oranını kalite kayıp fonksiyonu temelinde birleştirerek tanımladığını söylemiştir (Kackar 1985, Pignatiello 2017). Taguchi, S/G oranını performans ölçüsü olan kalite kayıp fonksiyonunun istatistiksel tahmini için performans istatistiği olarak kullanmıştır (Kackar, 1985).

Performans karakteristiği olan y sürekli bir değişken olduğunda kayıp fonksiyonu $K(y)$ genellikle daha küçük olanın daha iyi, daha büyük olanın daha iyi olup

olmadığına veya belirli bir hedef değerin (nominal) en iyi olduğuna bağlı olarak üç formdan birisini alır. Bu formlar Taguchi'nin kullandığı S/G oranlarıdır. Taguchi bazı özel durumlarda S/G oranlarının ayrıntılı olarak türetilmesi gerektiğini, diğer durumlar için aşağıdaki S/G oranlarının kullanılabileceğini belirtmiştir (Taguchi, 1993a).

3.3.5.1. Daha küçük daha iyi durumu

Bu durum genellikle ideal hedef değerin sıfır olduğu kusurlar gibi istenmeyen tüm özellikler için seçilen S/G oranı olarak ifade edilmektedir. Daha küçük daha iyi S/G oranında ideal hedef değer sonlu ve minimum olarak tanımlandığında (telefon bağlantısı yapmak için minimum süre, sudaki klor oranı, iletişim hatları bağlantı süresi gibi) o zaman ölçülen verilerle ideal değer arasındaki farkın mümkün olduğunca küçük olması beklenir (Taguchi, 1989; Taguchi ve Phadke, 1989). Kalite karakteristiğinin özelliği minimizasyon olup y performans karakteristiği negatif bir dağılıma sahiptir, hedef değer $m=0$ 'dır ve y, sıfırdan arttıkça $K(y)$ kalite kaybı artar. Bu durumda beklenen kayıp Eşitlik (3.8) ile gösterilmektedir.

$$K(m) = (y - 0)^2 \quad (3.8)$$

Taguchi beklenen kayıptan daha küçük daha iyi tür problemler için Eşitlik (3.9)'de verilen performans istatistiği-S/G oranı kullanılmaktadır (Taguchi ve diğ., 2004; Kackar, 1989).

$$SG = \eta = -10 \log MSE(\theta) = -10 \log \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \quad (3.9)$$

Performans ölçütü ne kadar büyükse ortalama karesel hata o kadar küçük olur. Verilen bir m için y'nin dağılımından $y_1, y_2, \dots, y_n$, yaklaşık bir rasgele örnektir. S/G oranı, η olarak da ifade edilebilmektedir. Bu oran karesel kayıp fonksiyonunu minimum yapacak olan kontrol faktör seviyelerini bulmak amacıyla kullanılır. $-10 \log$ dönüşümü ise S/G oranının maksimizasyonu için kullanılmaktadır.

3.3.5.2. Daha büyük daha iyi durumu

Y performans karakteristiği, negatif olmayan bir dağılıma sahiptir, hedef değeri sonsuzdur (malzeme mukavemeti, ürün ömrü) ve y, sıfırdan arttıkça $K(y)$ kayıp

fonksiyonunun değeri azalacaktır (Kackar, 1989). Bu durum, performans ölçütü olarak karşılıklı $1/y$ 'yi işlediğimizde daha küçük olanın daha iyi olduğu özel bir uygulama olup $1/y$ 'nin hedef değeri sıfırdır ve S/G oranı Eşitlik (3.10)'deki gibidir.

$$SG = \eta = -10 \log \text{MSE}(\theta) = -10 \log \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i} \right)^2 / n \right) \quad (3.10)$$

3.3.5.3. Nominal en iyi durumu

Bu durum, ne daha küçük ne de daha büyük bir değer yerine belirlenen bir hedef değer en çok arzu edildiğinde ortaya çıkmaktadır. Bakır kablo tellerde birim uzunluk başına sabit elektrik direnci, mekanik bağlantı parçaları içindeki çoğu parçanın ölçü olarak değerleri, kimyasalların veya karışımların oranları, üründe istenen kalınlık değerleri belirli bir hedef değere eşit olmalıdır (Kackar, 1989).

Eğer y performans karakteristiği her iki yönden hedef değerden saparsa $K(y)$ kalite kaybının değeri yükselecektir. Belirli bir hedef değere sahip olması istenilen bu tür durumlar için S/G oranı sistemin yapısına bağlı olarak seçilmektedir (Pignatiello, 2017). Nominal en iyi durumu DTY'nde de kullanılmaktadır. Bu tür durumlarda yanıtın ortalaması ve varyansı birbirinden bağımsız olarak değişiyorsa Taguchi bir veya daha fazla ayar / düzeltme faktörü kullanmayı tavsiye etmektedir (Baynal, 2003, s.147). Bu faktörler ortalamayı değiştiren ancak varyans üzerinde herhangi bir etkisi olmayan faktörlerdir. Nominal en iyi tip problemlerde ilk aşamada S/G oranını maksimum yapacak olan kontrol faktör ayarları belirlenir. İkinci aşamada ise yanıt hedef değere ayarlayacak olan uygun ayar faktörleri seçilir. Taguchi'nin nominal en iyi tip problemlerde S/G oranı Eşitlik (3.11) ile hesaplanmakta olup Eşitlik (3.12), ortalama ve varyans formülleridir (Taguchi ve Phadke, 1989; Kackar, 1989; Pignatiello, 2017).

$$SG = \eta = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (3.11)$$

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}, \quad s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1) \quad (3.12)$$

$\bar{y}$, yanıtın tahmin edilebilen kısmı olup örnek ortalaması; s^2 ise yanıtın tahmin edilemeyen kısmı olup OD'nin dış dizin tasarım noktaları üzerinden hesaplanan örnek varyansdır. S/G oranı ne kadar büyük olursa varyans o kadar küçük olur. Bu tip problemlerde önce ayarlanması çok daha zor olan varyans küçültmesi S/G oranı maksimum yapılarak sağlanır. Elde edilen kontrol faktör ayarlarının hangilerinin ortalamayı hangilerinin varyansı etkilediğinin Taguchi Yöntemi'nde ayırt edilememesi metodun eleştirilen yönlerinden birisidir (Chang, 2008). Ancak Taguchi uygulanması ve anlaşılması kolay bir performans istatistiği kullanarak sonuca ulaşmayı sağlamıştır. Sistemdeki varyans S/G oranı ile sağlandıktan sonra daha kolay bir uygulama olan ortalamanın hedef değere ayarlanması sağlanır.

3.3.5.4. Sıralı kategorik yanıt

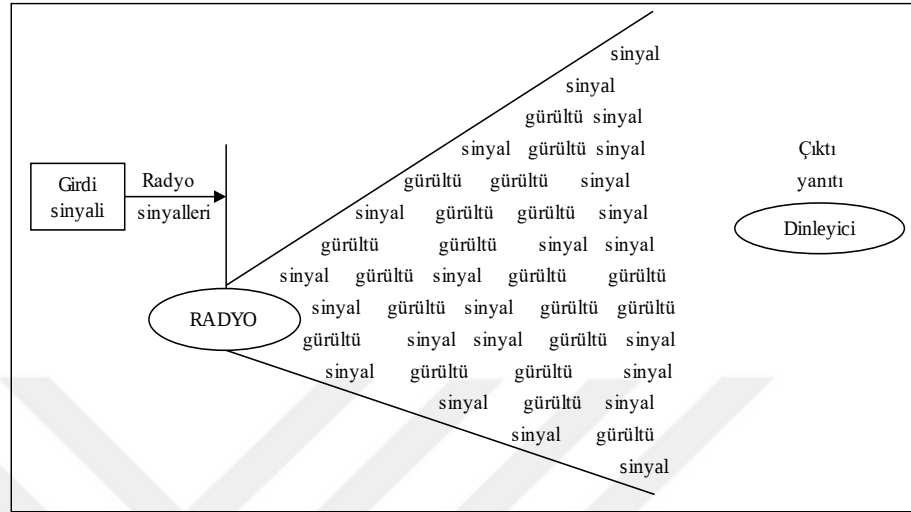
Bu tip problemlerde yanıt nicel bir değer yerine nitel değerler almaktadır. Bu tür problemlerin en iyilenmesi için yanıtlar genellikle yüzde ile gösterilmekte veya çok iyi, iyi, kabul edilebilir, kötü, çok kötü gibi kategorilere ayrılmaktadır (Hsieh ve Tong, 2001) . Taguchi, 1974 yılında klinik verilerle ki-kare testine alternatif olarak yaptığı birikim analizi çalışmasında bu tür veri analizleri için kullanılan en pratik yol olduğunu belirtmiştir (Taguchi ve diğ., 2004, s.23). Sıralı kategorik yanıtlarla ilgili yapılan çalışma sayısı oldukça azdır (Hamada ve Wu, 1990), (Nair, 1986). Bu tür problemlerde çok iyi olan kategori en çok istenen / hedef değer olarak kabul edilmektedir. Kümülatif kategoriler oluşturulduktan sonra Taguchi daha büyük daha iyi tip problem adımları uygulanarak problem çözümlenir (Kackar, 1989).

3.4. Taguchi Yöntemi'nin Dayandığı Temel Prensipler

Ürün / sürecin tasarlanması veya performansını artırmak için pek çok mühendislik uygulamasında başarılı bir şekilde uygulanan Taguchi Yöntemi hakkında ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır (Phadke, 1989; Park, 1996). Bu çalışmalar neticesinde metodların son derece yararlı ve uygun maliyetli oldukları kanıtlanmış olup dayandığı temel prensipleri beş temel grupta toplamak mümkündür (Taguchi, 1993b, s. 8).

1. Enerji dönüşüm ilkesi: Taguchi Yöntemi' nin diğer deney tasarım yöntemlerinden ayıran en önemli özelliği, girdi sinyalinden çıktı tepkisine kadar sistemdeki enerji dönüşümünü yöneten ve ideal fonksiyon olarak adlandırılan

uygun bir fonksiyon tanımlamaktır. Yöntemde girdi ve çıktı arasındaki ilişkinin analizini yaparken elektriksel kontrol teorisinde kullanılan istatistiksel performans ölçüsü kullanılmaktadır (Phadke, 1989).



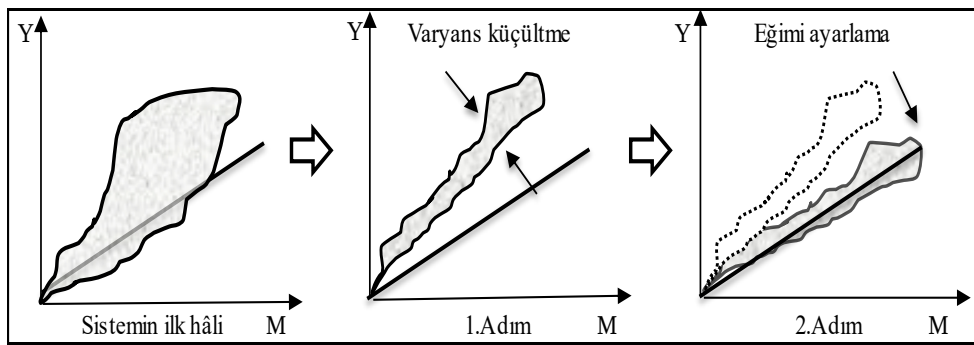
Şekil 3.8. Radyo frekansları için S/G oranı (Taguchi ve diğ., 2004)

Kontrol edilemeyen veya gürültü faktörlerinin etkisini en aza indirgeyerek enerji dönüşümünü maksimize etmek önemlidir. Taguchi, sistem performansını yani kaliteyi iyileştirmek için sistemin işlevselliğini S/G oranları aracılığıyla yapmaktadır. Şekil 3.8’de görülen radyo frekanslarında olduğu gibi S/G oranı ne kadar yüksekse enerji dönüşümü o kadar fazla ve sistemin verimliliği de o kadar yüksektir (Taguchi ve diğ. 2004).

2. Kontrol ve gürültü faktörleri arasındaki etkileşimlerin sömürülmesi: Yöntemin amacı kontrol edilebilen faktörler arasındaki etkileşimi ölçmek değil, kontrol edilemeyen ve gürültü faktörleri arasındaki etkileşimi görmektir (Taguchi ve diğ., 2005). Böylece kontrol edilemeyen ya da çeşitli nedenlerle kontrol etmenin tercih edilmediği gürültü faktörlerine karşı güçlü tasarım elde edilir. Taguchi’ye göre kalite ancak değişkenlik azaltıldığı zaman iyileştirilir (Taguchi, 1993a). Değişkenliği azaltmak için ürünün en iyi usul, teknoloji ve tekniklerle üretilmesi ve ürünler arasındaki değişkenliğin azaltılması gerekmektedir. Taguchi, değişkenliğin kaynağı olan faktörleri kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen (gürültü) faktörler olarak iki gruba ayırmıştır. Kontrol edilebilen faktörler, ürün üzerindeki etkisi kolaylıkla ayarlanabilen faktörlerdir (Taguchi ve diğ., 2005). Üretim metodu, kullanılan malzeme, makine vb. kontrol edilebilen faktör

gruplarını oluşturur. Gürültü faktörleri ise ısı, nem, işçilik, bozulma gibi ürün üzerindeki etkilerinin ayarlanmasının ya çok zor ya da maliyetli olan faktörlerdir. Bu durumda kontrol edilebilen faktörlerin en iyi birleşimi ile kontrol edilemeyen faktörlerin değişkenlik üzerindeki etkileri minimum yapılarak varyasyon azaltılabilir ve kalite yükseltilir.

3. OD kullanımı: OD'ler deney tasarımı yapılırken deneme için gereken çalıştırma sayısını en aza indirmek için kullanılmaktadır. Taguchi Yöntemi'nin yalnızca OD uygulamasına ve deney sonuçlarının analizine odaklandığı eleştirilen bir yönüdür; oysa OD'ler yöntemin sadece bir bölümünü oluşturmaktadır. Ayrıca OD kullanımı ile az sayıda deney yapılarak daha kısa sürede ve düşük maliyetlerle faktör etkilerinin tamamı sonuçlara yansıtılabilmektedir.
4. İki adımlı eniyileme: Deneyleri yaptıktan sonra en uygun tasarım için faktör seviye birleşimi iki adımlı eniyileme prosedürüyle belirlenir. İlk adım, değişkenliği en aza indirmektir. S/G oranları ne kadar yüksek ise değişkenlik o kadar düşük seviyelerdedir. Değişkenlik azaltıldıktan sonraki adımda hassasiyet adı verilen işlem ayarı ile faktör seviyeleri istenen seviyeye ayarlanabilir. Taguchi Yöntemi'nde statik türdeki nominal en iyi problemlerde ve dinamik problemlerde uygulanan iki adımlı eniyilemede Şekil 3.9'da görüldüğü gibi birinci adımda varyasyon azaltılırken ikinci adımda uygun ayarlama faktörleri ile ortalama (eğim) hedef değerlere ayarlanmaktadır (Bashiri ve diğ., 2016).



Şekil 3.9. Taguchi Yöntemi iki adımlı eniyileme (Bashiri ve diğ., 2016)

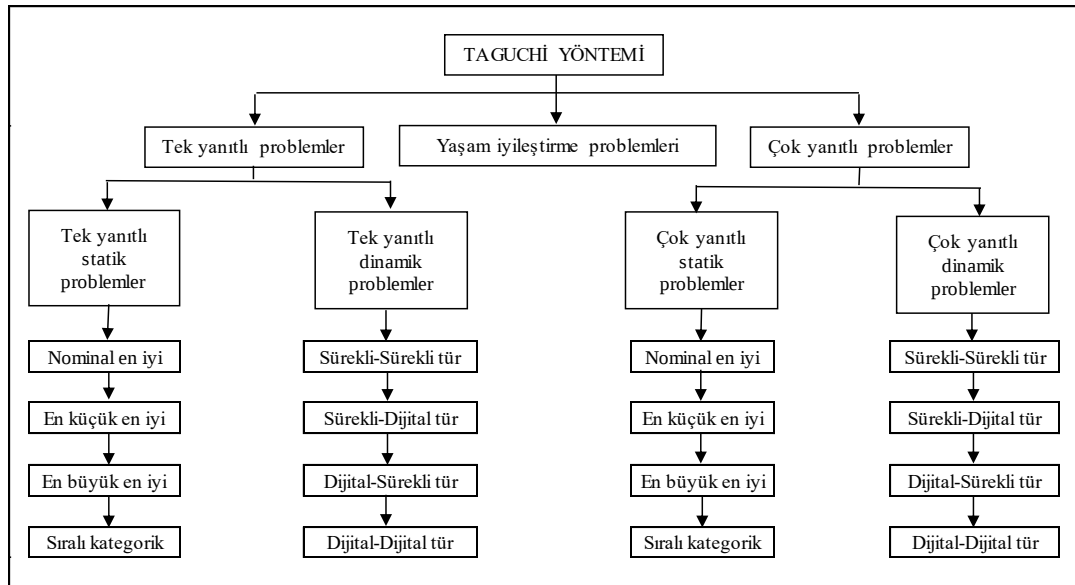
5. Kalite kayıp fonksiyonu ve çevrim içi kalite mühendisliği: Bu adım, tolerans tasarımı ve çevrim içi kalite mühendisliği ile ilgili olup kalitede sürekliliği sağlamak amaçlanmaktadır. Parametre tasarımı kullanarak en iyi faktör ayarları belirlendikten sonra tolerans ayarları, kalite kayıp fonksiyonu yardımıyla

belirlenir. Ürün / süreçlerin performansı belirlenen hedef değerlerden uzaklaştıkça sapmanın karesi ile doğru orantılı olarak ve topluma yansıyan bir kayıp oluşacaktır. Taguchi, güvenlik faktörü olarak adlandırılan tolerans sınırlarının toplumsal zarar yaklaşımı kullanılarak tasarlanması önermektedir (Taguchi, 1993a). Çevrim içi kalite mühendisliği, işlem performansını izlemek ve süreçteki değişiklikleri saptamak için kullanılır.



4. TASARIM PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Tasarım problemleri, sırasıyla sinyal faktörlerinin varlığına ve yokluğuna bağlı olarak dinamik ve statik problemler diye sınıflandırılmaktadır (Caleb Li, 2001). Başka bir önemli kategori daha vardır: Yaşam iyileştirme problemleri (Taguchi ve Phadke, 1989). Statik problemler tek yanıt ve çok yanıt olarak iki temel gruba ayrılır ve kalite karakteristiğinin özelliğine göre üç ayrı formda çözülür. Dinamik problemler ise tek yanıt ve çok yanıt dinamik problemler olarak gruplandıktan sonra sinyal faktörünün ve yanıt değişkenlerinin niteliğine bağlı olarak dört ayrı formda çözülür (Taguchi ve Phadke, 1989). Seçilen kalite karakteristiğinde girdi sinyali ve çıktı yanıtı sürekli veya dijital bir özellik gösteriyorsa her iki durumda tek bir ilişki fonksiyonu tanımlanmaktadır. Girdi ve çıktı yanıtından biri farklı bir özellik taşıyan problemler iki ayrı ilişki fonksiyonunun kullanıldığı dinamik problemler sınıfına dâhil edilir. Şekil 4.1’de verilen tasarım problemlerinin sınıflandırılması tüm problem gruplarını kapsamamasına rağmen bu sınıflar farklı endüstrilerde karşılaşılan mühendislik problemlerinin büyük çoğunluğunu içine almaktadır.



Şekil 4.1. Taguchi güçlü tasarım metodları

İstatistiksel literatürde parametre tasarımı ile ilgili çalışmaların çoğunluğu statik uygulamalara odaklanmıştır. Dinamik problemler ile ilgili çalışmaların sayısı ise oldukça azdır (Box, 1988; Nair, 1986). Özellikle çok yanıtli dinamik problemlerle ilgili belirlenmiş bir prosedür olmadığı için DTY, diğer çok yanıtli en iyileme çalışmaları için geliştirilen bilimsel yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır.

4.1. Tek Yanıtli Problemler

Ürün ya da sistem tasarımı yapılırken problemlerin belirlenmesi ve hedef değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Tasarımların hazırlanması ve geliştirilmesinde tek bir kalite karakteristiği üzerinde çalışılan problemler tek yanıtli problemler olarak adlandırılır (Leon ve diğ., 1989). Bu tür problemlerde tek bir yanıt için çelişkili durumlar söz konusu olmadığı için çözümlemek ve en uygun sonuca ulaşmak birden fazla yanıtli olduğu çok yanıtli problemlere göre daha kolaydır. Tek yanıtli problemler çıktı yanıtli etkileyen girdi sinyal faktörünün varlığına ve yokluğuna bağlı olarak tek yanıtli statik problemler ve tek yanıtli dinamik problemler olarak iki grupta ayrılmaktadır.

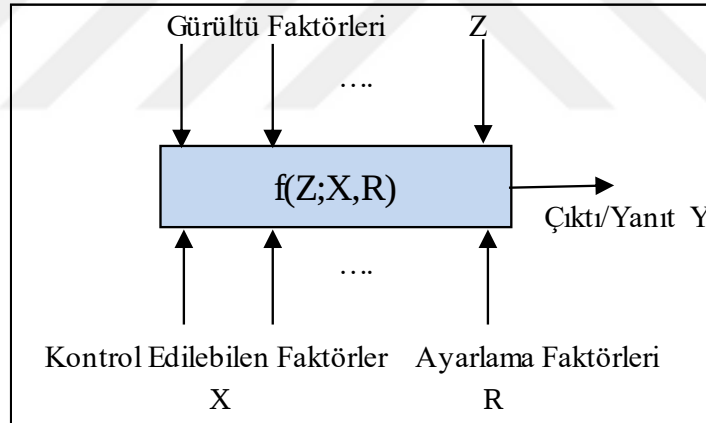
4.1.1. Tek yanıtli statik problemler

Taguchi' nin statik olarak tabir ettiği bu tür problemlerde sistemde girdi sinyal faktörleri mevcut değildir (Bashiri ve diğ., 2016). Yanıtli istenen değerlerine veya yanıtli sürekliliğine bağlı olan statik problemlerde yapılan uygulamaların ana amacı, sürecin direkt belirlenen tek bir hedefe veya istenilen hedef değere mümkün olan en yakın değere birden fazla kontrol edilebilen faktörün eniyilenmesiyle ulaşılmaya çalışılmasıdır (Leon ve diğ., 1989). Eniyileme, hedeflenen çıktı değerini sağlayacak en iyi kontrol edilebilen faktör seviyelerinin belirlenmesini içermektedir. Statik sistemlerde uygulama çalışmaları yapılırken çıktı yanıtli etkileyen herhangi bir girdi sinyalinin varlığı dikkate alınmaz. Ayrıca sistemde gürültü faktörleri mevcuttur ancak bunlar deneyler ve analiz aşamasında sisteme dâhil edilmemektedir (Bashiri ve diğ., 2016).

Kackar ve Shoemaker'ın (1989)'da yaptığı çalışma statik karakteristik uygulamalarının ilklerindendir. Silikon katmanlarının üzerine ilave silikon tabakası ekleyerek daha önceden belirlenmiş tabaka kalınlığının hedef değeri 14,5

mikrometreye ulaşmak için bir dizi kontrol edilebilen faktörün en iyi seviyelerini belirlemek amacıyla Taguchi'nin statik problemler için önerdiği metodu uygulamışlardır. Bu statik parametre tasarım uygulaması ile Kackar ve Shoemaker maliyette düşüş, kalitede ise sağlam bir yapı elde etmişlerdir (Kackar ve Shoemaker, 1989). Taguchi ve bazı araştırmacıların statik karakteristik dediği bu tip uygulamalara Wu ve Miller “Basit Yanıt Sistemi” (Simple Response System) adını vermiştir (Miller ve Wu, 1996).

Statik sistemler Şekil 4.2'deki P-diyagramı ile gösterilebilir. Gürültü; süreç ya da üründe mevcuttur fakat çıktı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmadığı kabul edilmektedir (Bashiri ve diğ., 2016). Sistemde gürültü faktörlerinin varlığına rağmen çıktı varyasyonlarını minimize etmek Taguchi deneylerinin öncelikli amacıdır (Taguchi ve diğ., 2004). Ülkemizde yayınlanan çalışmaların tamamı Taguchi'nin statik kalite karakteristikleri için geliştirdiği güçlü parametre tasarım uygulamalarıdır.



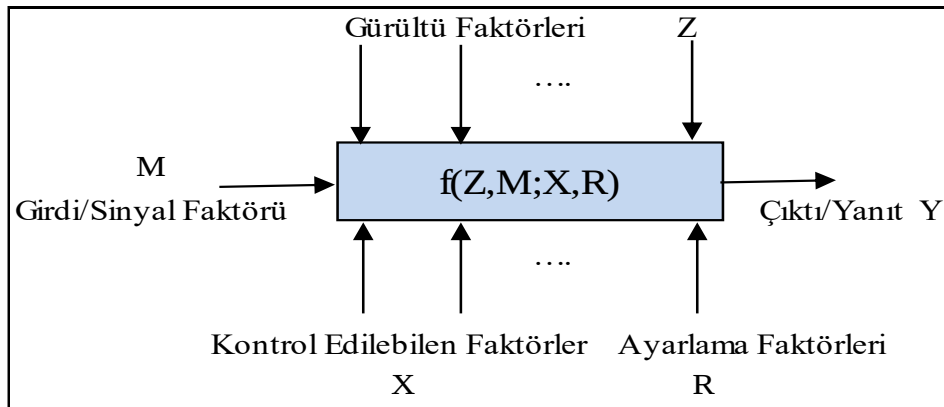
Şekil 4.2. Taguchi statik problemler için P-diyagramı

Tek yanıtlı statik problemlerde yanıt olarak sadece bir kalite karakteristiği söz konusudur. Sistem tasarlanırken yanıtı etkileyen faktörler ve seviyeleri belirlendikten sonra uygun OD seçilerek deneyler, tekrar sayısı belirlendikten ve rassallık sağlandıktan sonra fiziksel ya da benzetim deneyleri olarak yapılarak farklı kontrol faktör ayarlarına göre yanıt değerleri ölçümlenir (Taguchi ve diğ., 2004). Analiz aşamasında Taguchi'nin önerdiği S/G oranlarından kalite karakteristiğinin yapısına uygun olan formülasyon ile istatistiki analizler gerçekleştirilir. Kullanılan performans istatistiğinin yapısına bağlı olarak nominal en iyi, en küçük en iyi, en büyük en iyi ve

sıralı kategorik olmak üzere dört farklı statik tek yanıtlı problem çözümlemesi yapılabilir (Taguchi ve Phadke, 1989). En büyük S/G oranı değerini veren faktör / seviye birleşimi fiziki olarak yapılan doğrulama deneylerinden sonra kaydedilir (Belavendram, 2012). Sürecin çevrim içi kalite kontrol metotları ile takip edilmesi ve geri-ileri besleme çalışmaları güçlü tasarım ile elde edilen güçlü tasarım şartlarının sürekliliği açısından önemlidir.

4.1.2. Tek yanıtlı dinamik problemler

Taguchi'nin güçlü parametre tasarımının uygulandığı ikinci tip "dinamik problemler" ya da Wu'nun ifadesiyle "sinyal-yanıt sistemleri"dir (Miller ve Wu, 1996b). Dinamik problem uygulamaları sistem performansının bir sinyal faktörü olan M ve gözlenen yanıt Y arasındaki ilişki tarafından belirlendiği durumlarda kullanılmaktadır (Chatsirirungruang, 2010). Dinamik sistemlerde sistem bir enerji dönüştürücü olarak tasarlanır ve eniyilenmesi gereken ürün doğrudan yanıtı etkileyen bir sinyal girdisine sahipse eniyileme, girdi sinyali / çıktı oranı ile kurulmak istenen ilişkiye en yakın olacak şekilde faktör ayarları belirlenerek tasarlanır (Huang ve diğ., 1998). Dinamik problemler sistemde sinyal faktörlerinin varlığı ile karakterizedir (Taguchi ve Phadke, 1989). Statik sistemler, sistemin arzulan çıktıyı sabit bir hedef değere sahip olanlar olarak tanımlanırken dinamik sistemler, hedef değeri sistem kullanıcısı veya operatör tarafından belirlenen girdi sinyaline bağlı olan sistemlerdir (Tsui, 1999; Jeyapaul ve diğ., 2005).



Şekil 4.3. Dinamik problemler P-diyagramı (Taguchi ve Phadke, 1989)

Bu tür uygulamalarda yanıtın sinyal faktöründeki değişikliklerin bir sonucu olarak farklı değerler aldığı varsayılmaktadır. Örneğin, su içindeki kalsiyum miktarını

belirleme probleminde farklı kalsiyum oranları farklı özelliklerde su elde edilmesini sağlayacağı için yanıt olarak tek bir hedef değerden bahsedilemez (Miller ve Wu, 1996b). Otomobillerdeki gaz pedalı, ısıtma cihazlarındaki ayar düğmeleri, büyütme ya da küçültmeli fotokopi makineleri ve farklı kalıp tipleri dinamik problemlere verilebilecek diğer örneklerdir. Dinamik problemler yeterli ve detaylı bir şekilde açıklandığında mühendislik uygulamalarında yaygın bir kullanım alanına sahip olabilecektir (Miller ve Wu, 1996a). Dinamik sistemlerin P-diyagramı Şekil 4.3'teki görülmektedir (Taguchi ve Phadke, 1989).

Taguchi deneylerinin temel amacı süreçte kontrol edilmesi son derece zor, maliyetli hatta imkânsız olan gürültü faktörleri mevcut olmasına rağmen çıktıdaki varyasyonları en aza indirmektir. Dinamik problemlerde çıktının önceden belirlenmiş bir girdi sinyalini takip ettiği pek çok örnek verilebilir.

Dinamik sistemlerde ideal sinyal-yanıt ilişkisinin doğrusallık ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı sağlamlık olmak üzere iki temel amacı sağlaması beklenmektedir (Hsieh ve diğ., 2005). Böyle durumlarda genellikle “girdi” ve “çıkı” arasında doğrusal bir ilişki arzu edilir ancak ideal sinyal-yanıt ilişkisini tanımlamak her zaman mümkün olmayabilir. Doğrusal ilişkinin orijinal metriklerde lineer olmadığı durumlarda sinyal faktörünün uygun transferi ile sistem performansının ölçümünde dinamik girdi ve çıkı arasındaki doğrusal ilişki ayarlama faktörleri kullanılarak adım adım düzeltilebilir (Miller ve Wu, 1996b).

Dinamik sistemlerde sinyal ve yanıt arasındaki ilişki lineer, lineer olmayan ya da zayıf olarak tanımlanmaktadır (Miller ve Wu, 1996a). Farklı gürültü faktör seviyelerine göre gözlemlenen sinyal-yanıt değerleri arasındaki ilişki eğrilerle ifade edilmektedir. Taguchi'nin önerdiği güçlü tasarım, ideal sinyal-yanıt ilişkisini tanımlayacak bir performans ölçümü geliştirmekten çok sistemin performansını doğrudan ölçecek bir performans ölçüsü tercih edilmelidir diyen araştırmacılar olaya bütün olarak bakılması gerektiğini iddia etmektedir (Miller ve Wu, 1996b).

Miller ve Wu, bu durumun sebebi olarak ideal bir sinyal-yanıt ilişkisi tanımlamanın her zaman mümkün olmamasını göstermektedir. Eğer sinyal-yanıt ilişkisi lineer değilse sinyalde yapılacak ayarlamalarla ilişki lineer hâle getirilebilir. Oysa Taguchi önerdiği iki adımlı yaklaşımla öncelikle gürültü faktörlerinin varlığında kontrol

edilebilen faktörlerin en iyi ayarlarını bularak en önemli problem olan varyasyonu azaltmayı birinci adımda sağlamayı önermektedir. İkinci adımda ise doğrusallığı sağlayacak ayar faktörleri ile girdi ve çıktı arasındaki ideal ilişki sağlanabilir. Taguchi ortalama hedef değere ayarlamasının değişkenliği azaltmaktan daha kolay olduğunu belirtmektedir (Taguchi ve diğ., 2004).

Wu ve Miller, Taguchi dinamik sistem yaklaşımının terminolojisini eleştirerek sinyal-yanıt sistemleri olarak adlandırmıştır. Sinyal-yanıt sistemlerini iki ayrı kategoriye ayırmıştır: Çoklu hedef uygulamaları ve ölçüm sistemleri. Wu ve Hamada (2001)'de bu gruba üçüncü bir kategori daha eklemiştir: Kontrol sistemleri (Bashiri ve diğ., 2016; Miller ve Wu, 1996a).

Çoklu hedef uygulamaları (Multiple Target Applications): Bu gruba örnek olarak Yano'nun torna tezgâhında işlenen parçalar ile ilgili yaptığı çalışma verilebilir (Miller ve Wu, 1996b). Tornada işlenen parçalarla ilgili olarak yüzey pürüzlülüğü yanıt değişkeni olarak kabul edilmiştir. Farklı besleme hızları farklı pürüzlülük oranlarına sebep olduğu için besleme hızı sinyal girdisi olarak seçilmiştir. Besleme hızının ayarlanması ile yüzey pürüzlülüğü güvenli bir şekilde kontrol edilebildiği için ikisi arasındaki ilişki doğrusaldır. Bunun yanında deneyde kesme kenar açısı, ön kaçış açısı, kesme tipi gibi kontrol edilebilen faktörlerin de bu ilişkiye etki edebileceği düşünülerek deney tasarlanmış ve yapılmıştır.

Ölçüm sistemleri (Measurement systems): Bir ölçüm sistemi, belirli bir birim ya da örneğin belirli bir miktarı için tahminî bir değer elde etmek amacıyla kullanılan işlem olarak tanımlanmaktadır. Örnekleme işlemi, örnek hazırlama, ölçümleme ve aynı zamanda gerçek ölçüm işlemini içerebilir (Miller ve Wu, 1996b). Doğru kabul edilen miktar girdi sinyali M olarak düşünülür ve sistem bunu gerçek bir ölçüm değeri olan Y 'ye dönüştürür. Girdi sinyali olan M 'ye göre hassas bir şekilde tahmin edilen Y ; M ve Y arasındaki ilişkinin özelliklerine göre belirlenmektedir (Miller ve Wu, 1996a).

Sinyal faktörünün ve yanıt değişkeninin yapısına bağlı olarak yaygın karşılaşılan dört dinamik problem türü olduğu bilinmektedir (Taguchi ve Phadke, 1989). Tek yanıtli dinamik sistemler, statik sistemlerden farklı olarak girdi sinyali ve çıktı yanıtının ayrı ayrı özelliklerine göre dört gruba ayrılmaktadır (Wu ve Yeh, 2005; Taguchi ve Phadke, 1989; Caleb Li, 2001).

- 1- Sürekli-sürekli
- 2- Sürekli-dijital
- 3- Dijital-sürekli
- 4- Dijital-dijital

4.1.2.1. Sürekli-sürekli [continuous-continuous (C-C tipi)]

Bu tip problemlerde hem sinyal hem de yanıt değişkenleri sürekli özellik taşımaktadır. C-C tipi dinamik sistemlerde kalite karakteristiği olan Y genellikle sinyal faktörü olan M'nin fonksiyonu olarak tanımlanır. Analog voltmetre veya sıcaklık kontrolörü bu tip problemlere örnek verilebilir. Sinyal ve yanıt arasında istenilen ilişki doğrusaldır ve Eşitlik (4.1) ile ifade edilmektedir (Taguchi ve Phadke, 1980);

$$y(z) = \mu(z, R) + \beta(z, R)M + e(x, M; z, R) \quad (4.1)$$

Burada e, y ve M arasındaki ilişkinin istenmeyen kısmı olup doğrusal olmama durumunu ifade ederken μ ve β parametreleri tahmin edilebilir yanıtı göstermekte olup doğrulama deneyi ve regresyon analizi ile belirlenebilir. C-C tip problemler için S/G oranı Eşitlik (4.2) ile hesaplanmaktadır (Taguchi ve Phadke, 1989; Bashiri ve diğ., 2016; Leon ve diğ., 1989):

$$SG = \eta = 10 \log_{10} \frac{\beta^2}{\sigma^2} \quad (4.2)$$

σ^2 : y'nin tahmin edilemeyen ve istenmeyen kısmı olan hata varyansıdır.

β^2 : y'nin M aralığı dışında tahmin edilebilen ve istenen kısmın varyansıdır.

M'nin tahminî hata varyansı σ^2/β^2 dir. η ise tahminî hata varyansının karşılıklı logaritmasıdır.

C-C durumunun tasarım eniyileme problemi, x-gürültü faktörlerinin varlığında η 'yi maksimum yapmaktır. R, ölçekleme faktörleri tüm problemlerde mevcut gürültü koşullarında girdi sinyal değerlerinin hedef çıktı değerlerine ayarlanması için gerekmektedir (Taguchi ve Phadke, 1989). Bu durum β eğiminin hedef değerini belirleyecektir. Herhangi bir z değeri için istenilen β değerini elde etmek amacıyla R kolayca ayarlanabilir. R ayarlama faktörünün η üzerinde herhangi bir etkisi

olmadığından deney sırasında z 'nin her bir değeri için R ayarlama faktörünün en iyi seviyesini belirlenmesi gerekmemektedir. Sadece bir veya nadiren birden fazla ayarlama faktörü deney sonrasındaki analiz sırasında da saptanabilir. R ayar faktörü belirlenirken η (S/G oranı) üzerinde etkisi olmayan ancak β , hassasiyet üzerinde yüksek etkiye sahip olan bir faktörün belirlenmesi yeterlidir. Bu durum, Taguchi S/G oranının tasarım iyileştirmenin bir ölçüsü olarak kullanılmasının üstünlüğüdür (Leon ve diğ., 1989).

C-C tip problemlerde Y -yanıtı ve M -sinyalinin her ikisi de pozitif ya da negatif değerler alabilir. M 'nin değeri 0 olduğunda kalite karakteristiği olan Y 'nin değeri de 0 olacağı için ideal fonksiyon $Y=M$ olarak tanımlanacaktır. Y ve M arasındaki ilişkinin eğimi R faktörü kullanılarak ayarlanmaktadır. Kontrol faktör ayarlarından etkilenen Y çıktısı, sinyal değerleri $M_1, M_2, \dots, M_m$ ve her bir sinyal değeri için kullanılan gürültü koşulları $X_1, X_2, \dots, X_n$ ve Y_{ij} de q 'da kontrol faktör ayarları için gözlemler olsun, $z = (z_1, z_2, \dots, z_q)^T$ (sinyal M_i ve gürültü koşulları x_j olduğu zaman). Ayarlama yapılmadan önce performans ölçüsü olan ortalama kalite kaybı Eşitlik (4.3) ile hesaplanır (Taguchi ve Phadke, 1989).

$$KK = Q(z) = \frac{K}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} - M_i)^2 \quad (4.3)$$

K : kalite önem katsayısı olup sabittir.

Ortalama kalite kaybı iki kısma ayrılabilir: Birinci kısım doğrusallıktan sapmadan kaynaklanır, ikinci kısım ise eğimden kaynaklanır ki bu kısım 1'e eşit değildir. Eğimi ayarlamak için ikinci kısımdaki kalite kaybını elimine etmek gerekmektedir. Verilen kontrol edilebilen faktör ayarlarına uygun ayarlamayı elde etmek için Y_{ij} ve M_i arasındaki doğrusal ilişkinin en uygun eğimi ilk olarak tahmin edilmelidir. Sinyal faktörü M_i ve kalite karakteristiği Y arasındaki ilişki Eşitlik (4.4) ile ifade edilmektedir (Pal ve Gauri, 2017).

$$y_{ij} = \beta M_i + e_{ij} \quad (4.4)$$

β eğimi, e_{ij} ise hata terimini temsil etmektedir. β eğimi en küçük kareler metodu ile Eşitlik (4.5) ile tahmin edilir (Wu ve Yeh, 2005):

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} M_i}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_i^2} \quad (4.5)$$

Ayarlama yapıldıktan sonra ise ortalama kalite kaybı Eşitlik (4.6)' yla hesaplanır.

$$KK = Q(Z) = K \frac{\sigma_e^2}{\beta^2} \quad (4.6)$$

σ_e^2 , hata varyansını ifade etmektedir. Hata varyansı için Eşitlik (4.7) kullanılmaktadır (Wu ve Yeh, 2005).

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{mn-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \beta M_i)^2 \quad (4.7)$$

Taguchi, sürekli-sürekli tip dinamik kalite karakteristikleri için performans ölçütü kalite kaybına bağlı olarak S/G oranı Eşitlik (4.8)'de formüle edilmiştir (Taguchi, 1993a).

$$SG = \eta = -\log Q(Z) = 10 \log \frac{\beta^2}{\sigma_e^2} \quad (4.8)$$

Taguchi'nin S/G formülünde ortalama kalite kaybı $Q(Z)$ 'nin minimizasyonu S/G oranının maksimizasyonu ile aynı anlamdadır.

Bu nedenle Taguchi sürekli-sürekli tip dinamik kalite karakteristiklerinin eniyilenmesi için iki adımlı bir prosedür uygulamaktadır. Bu prosedür statik kalite karakteristiklerinin eniyilenmesinde kullanılan nominal en iyi yaklaşımına benzerlik göstermektedir (Taguchi ve Phadke, 1989). Birinci adımda değişkenliği azaltmak için performans istatistiği olarak kullanılan S/G oranının en büyük değerini alan faktör ve seviyelerinin birleşimi tespit edilmelidir. İkinci adım, statik sistemlerde ortalama olarak bilinen eğim değerinin daha önceden belirlenmiş olan hedeflere, uygun bir ölçekleme faktörü ile ayarlanmasının sağlanmasıdır. Eğim üzerinde büyük

bir etkiye sahip olan herhangi bir kontrol faktörünün S/G oranı üzerinde ölçeklendirme faktörü olarak herhangi bir etkiye sahip olamayacağı hatırlanmalıdır (Wu ve Yeh, 2005).

4.1.2.2. Sürekli-dijital [continuous-digital (C-D tipi)]

Sürekli-dijital tip dinamik problemlerde girdi sürekli iken çıktı kalite karakteristiği ayrıktır. Örneğin, sıcaklık kontrolöründe sıcaklık ayarı olan girdi sürekli iken ısı birim çıktısı “ON” ya da “OFF” değerlerini alarak dijital yani ayrık bir durum gösterir (Taguchi ve Phadke, 1989).

Böyle problemler iki ayrı bölüme ayrılarak çözülür. Biri “ON” fonksiyonu için sinyal faktörü (M), diğeri “OFF” fonksiyonu için ayrı bir sinyal faktörü (M') olmak üzere iki ayrı sinyal faktörü seçilerek iki ayrı fonksiyon şeklinde ele alınmalıdır. Bu iki grubun her biri ya sürekli-sürekli tip ya da nominal en iyi tip problemler gibi çözülür. M için S/G oranını hesaplarken M' gürültü faktörü olarak kabul edilir; M' için S/G oranını hesaplarken ise M gürültü faktörü olarak ele alınır (Taguchi ve Phadke, 1989). Sürekli-sürekli tip problemlerde kullanılan performans istatistiği Eşitlik (4.8) bu tür problemlerde de kullanılmaktadır.

4.1.2.3. Dijital-sürekli [digital-continuous (D-C tipi)]

Dijitali analoga çevirme ile benzerlik gösteren, 0 ve 1'in karşılık geldiği sürekli değerlere dönüştürülmesi problemleri dijital-sürekli tür olarak adlandırılmaktadır. Sürekli-dijital tip problemlerde olduğu gibi iki ayrı fonksiyon olarak ele alınır: Biri “0” için diğeri “1” için olacak şekilde iki ayrı fonksiyon oluşturulduktan sonra sürekli-sürekli tip ya da nominal en iyi tip problemler gibi çözülür (Taguchi ve Phadke, 1989). Bilinen dijitali analoga dönüştüren konverterler bu tip problemlere örnek olarak verilebilir.

4.1.2.4. Dijital-dijital [digital-digital (D-D tipi)]

Dinamik kalite özelliklerine sahip birkaç sistem çalışması yapılmıştır ancak bu çalışmalarda sürekli-sürekli tip problemlere odaklanmıştır (Caleb Li, 2001). Dinamik problemlerde nadir olarak çalışılan dijital-dijital tip problem çalışmalarından biri Caleb Li'nin (2001)'de yaptığı çalışmadır. Çalışmada dijital-dijital dinamik kalite karakteristiği için en uygun eşik değeri seçilerek en uygun çalışma koşullarının

oluşturulması amacıyla üç ayrı model önerilmiştir. Elde edilen en uygun eşik değeri, Taguchi Yöntemi'nin eşik değeri ile karşılaştırıldığında dağılımların standart sapması veya iki giriş sinyalinin hata maliyetlerinin farklı olduğu durumlarda optimal eşik değeri Taguchi eşik değerinden daha iyi sonuç vermiştir. İki dağılımın standart sapması ve iki sinyalin hata maliyeti eşit olduğunda bulunan eşik değeri Taguchi tarafından sağlanan eşik değeri ile aynı sonucu vermiştir (Caleb Li, 2001).

Bilgisayar işletim sistemleri hem sinyal faktörü hem de kalite karakteristiğinin dijital olduğu sistemleridir. Dijital-dijital tip bir problemde ideal işlev girdi sinyalinin 0 iletildiğinde çıktı yanıtının 0 olarak alınması ve 1 iletildiğinde 1 olarak alınması gerektirir. Bununla birlikte iletim mekanizması gürültüye karşı sağlam değilse 0 olarak 1 iletmek veya 1 olarak 0 iletmek mümkündür.

Her iki olayın olasılığı en aza indirilmelidir (Taguchi ve Phadke, 1989). Bu nedenle gürültüye duyarlılığı en aza indirmek için uygun bir ideal fonksiyon türetilmesi önemlidir. Kontrol faktörlerinin ve gürültü koşullarının belirli ayarları altında 0 ve 1'in kalite özelliklerini ileten iki girdi sinyali kullanılır. Tablo 4.1'de 0 ve 1'lerin algılama frekans değerleri görülmektedir (Taguchi ve Phadke, 1989).

Tablo 4.1. Dijital sistemler girdi ve çıktı değerleri (Taguchi ve Phadke, 1989)

		Çıktı (Yanıt-Y)		
		0	1	Toplam
Girdi (sinyal-M)	0	$n(1-p)$	$n(p)$	n
	1	$n(q)$	$n(1-q)$	n
	Toplam	$n(1-p+q)$	$n(1+p-q)$	$2n$

p: 0'ın yanlışlıkla 1 olarak sınıflandırılma olasılığı

q: 1'in yanlışlıkla 0 olarak sınıflandırılma olasılığı

0 ve 1'lerin doğru tespit edilmesi yanıtın tahmin edilebilen kısmını, 0 ve 1'lerin yanlış olarak sınıflandırılması ise yanıtın / kalite karakteristiğinin öngörülemeyen yani istenmeyen kısmını oluşturmaktadır. Varyans analizi yapılarak tahmin edilebilen kısım (S_g) Eşitlik (4.9)'la ve tahmin edilemeyen kısım (S_e) Eşitlik (4.10)'la; kareler toplamı (S_T) ise Eşitlik (4.11) formülasyonu ile hesaplanmaktadır (Taguchi ve Phadke, 1984).

$$S_g = \frac{n(1-p-q)^2}{2} \quad (4.9)$$

$$S_e = np(1-p) + nq(1-q) \quad (4.10)$$

$$S_T = S_g + S_e = \frac{n(1+p-q)(1-p+q)}{2} \quad (4.11)$$

Bu eşitliklerden yararlanılarak tahmin edilebilen varyanslar (V_e) Eşitlik (4.12), tahmin edilemeyen varyanslar (V_g) Eşitlik (4.13), S/G oranı Eşitlik (4.14) ile hesaplanmaktadır (Taguchi ve Phadke, 1989).

$$V_e = \frac{1}{2n-2} S_e \quad (4.12)$$

$$V_g = \frac{1}{n} (S_g - V_e) \quad (4.13)$$

Tüm sistem için S/G oranı Eşitlik (4.12) ve Eşitlik (4.13) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$SG = \eta = 10 \log_{10} \frac{V_g}{V_e} = 10 \log_{10} \frac{(1-p-q)^2}{p(1-p) + q(1-q)} \quad (4.14)$$

Varyans ayrıştırma yaklaşımı olarak da adlandırılan S/G oranı hesaplamalarının avantajı, bir nedensel sistemin Taguchi'nin çoklu bileşenlerinin durumuna göre genelleştirmenin daha kolay olmasıdır (Taguchi, 1987; Taguchi ve Phadke, 1989).

Dijital haberleşme sistemlerinde ayarlama faktörü ile yapılan düzenleme Taguchi dinamik sistemlerin ikinci adımı olan β eğiminin ayarlanmasıdır. 0'ların ve 1'lerin gönderilmesindeki hataların eşit olmayan iletişim sistemlerinin verim sorununu çözmek için $p=q$ eşitliği sağlanmalıdır. Ayarlama yapılarak kolaylıkla eşiğin değiştirilmesi gerçekleştirilebilir (Taguchi ve Phadke, 1989; Caleb li, 2001).

4.1.3. Yaşam iyileştirme problemleri

Yaşam iyileştirme problemlerinin amacı maksimum yaşam ya da istenilen yaşam dağılımını sağlayan kontrol faktör seviyelerini seçmektir. Her kontrol faktörünün yaşam olasılık eğrisi üzerindeki etkisini tahmin etmek için çok sayıda kontrol faktörü ile eş zamanlı olarak çalışılır (Taguchi ve Phadke, 1989). Birikim analizine çok benzeyen Taguchi ve Wu tarafından çeşitli örneklerle açıklanan bu tip problemler, yaşam olasılık eğrilerini tahmin etmek ve kontrol faktörlerinin en uygun seviyelerini

belirlemek için kullanılmaktadır. Yaşam iyileştirmeleri ile ilgili çalışmalar Nair, Hamada, Wu ve Phadke tarafından yapılmıştır (Nair, 1986; Phadke, 1989; Hamada ve Wu, 1990). Phadke çalışmasında Sony televizyonlarının Japonya’da ve ABD’de müşterilerin istediği özelliklerde olduğunu ancak ABD’de üretilen ürünlerin maliyetinin Japonya’da üretilenlerden dört kat fazla olduğunu tespit etmiştir (Phadke, 1989). Müşteriye kaliteli ürünü ulaştırırken kalite maliyetlerini en aza indirmek için doğru kalite kontrolü uygulanmalıdır. Üretimde dar da olsa tolerans limitlerini ayarlayarak kalıcı bir düzelme sağlanamaz. Bu nedenle mevcut sistemlerin müşteri haklarını koruyacak şekilde ve üreticinin pazarda sürekliliğini sağlamak amacıyla Taguchi Yöntemi esasına dayanan yaşam iyileştirme çalışmaları, parametre tasarımı aşamasında yapılmalı ve en iyi faktör / seviye birleşimleri belirlenmelidir (Phadke, 1989).

4.2. Çok Yanıtlı Problemler

Çok yanıtlı problemler aynı sistem içinde birden fazla çıktı kalite karakteristiğinin aynı anda eniyilenmesidir. Amaç, tüm çıktıları veya diğer bir ifadeyle yanıtları eniyileyecek olan tasarım değişken değerlerinin bulunmasıdır. Ancak yanıtlar arasındaki çelişki ve korelasyon varlığı nedeniyle bunu sağlamak oldukça zor hatta bazı durumlarda imkânsızdır (Chang, 2008).

Çok yanıtlı problemlerde karşılaşılan en büyük zorluk, farklı yanıtlar için optimum parametre ayarlarının çoğunlukla çelişmesi ve yanıtın ağırlık değerinin genellikle mühendislerin öznel yargılarına bağlı olması nedeniyle nihai optimum parametre ayarının daha zor belirlenmesidir (Hsieh ve diğ., 2005). Sonuçlar bir yanıt için iyi olurken diğer yanıtlar için en iyi seviyede olmayabilir ya da aynı faktörün farklı seviyeleri farklı yanıtlar için en iyi çözüm olabilmektedir. Bu durum çelişkili sonuçlar oluşturduğu için karar verici bütün yanıtlar için ortak bir uzlaşma kararı almak durumundadır.

Birçok durumda, yanıtlar birbirleri ile çelişkili hedeflere sahiptir. Bu nedenle bir yanıtın hedef değerine ulaştırılması diğer bir yanıt üzerinde olumsuz etki oluşturabilmektedir. Bu yanıtların bazılarının en yüksek seviyede bir kısmının en düşük seviyede tutulması, bazılarının kabul edilebilir değerler veya hedef değerini alması istenmektedir. Oysa en iyileme çalışmalarında sistemi oluşturan tüm

yanıtların hep birlikte ele alınması gerekmektedir. Bu durumda, en iyileme oldukça karmaşık bir hâl almakta ve bu tür problemlere Çok Yanıtlı En İyileme (Multi-response Optimizations) problemleri denmektedir (Hasgöl, 2010; s. 133). Çok yanıtlı problemlerin en iyilenmesi için geliştirilen çok sayıda metot vardır (Jayaram ve İbrahim, 1999). Üretim süreçlerinin çoğu, birden fazla kalite ölçütü ile çıktı oluşturmaktadır (Arvidson ve Gremyr, 2008).

Çok yanıtlı problemlerin çözümü için geliştirilen yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır (Jeyapaul ve diğ., 2005).

- Mühendislik kararı: Taguchi Yöntemi'nde çoklu yanıt problemini optimize etmek için kullanılmıştır (Phadke, 1989). Sadece deneyimli bir mühendis tarafından kullanılabilen ve tamamen tecrübeye dayanarak yapılan karar verme sürecinde, farklı yanıtlar için en uygun faktör-seviye ayarları tespit edilmektedir.
- Ağırlık atama: Çoklu yanıtlarda her bir yanıtın S/G oranına ağırlık atanarak yapılan çalışmalardır.
- Regresyon analizi: Birinci ve ikinci dereceden çoklu regresyon modellerini kullanarak kontrol edilebilir faktörler için geçici en uygun ayarların belirlendiği yaklaşımlardır.
- Temel bileşen analizi: Yanıtlar arasındaki korelasyonun dikkate alındığı ÇÖKV tekniklerinden olup en uygun koşulları belirlemek için kullanılabilecek bir çoklu yanıt performans endeksi ile en uygun faktör seviyeleri tüm yanıtlar için belirlenmektedir.
- Veri zarflama yöntemi temelli yaklaşım: Çoklu girdilerin ve çıktıların, birbiriyle çelişen karar verme ölçütlerinin varlığında her bir yanıtın göreceli önemini belirlemek için doğrusal programlama tabanlı bir teknik olarak geliştirilmiştir.
- ÇÖKV teknikleri: Sürekli ve ayrık özellik taşıyan kalite karakteristikleri için TOPSİS ve VİKOR ile bütünleşik Taguchi Yöntemi' nin kullanıldığı yaklaşımlardır.
- Bulanık mantık: Çoklu yanıtlar arasındaki karmaşık ilişkilerin insan kavramlarının belirsizliğini kullanarak geliştirilen bulanık mantık temelli yaklaşımlardır. Farklı amaçlarla kullanıldığı gibi işlem parametreleri üzerinde yapılan ayarlamalarla çok yanıtlı problem süreçlerini optimize etmek için de kullanılmaktadır.

- Gri ilişki analizi: S/G oranlarının hesaplanmasında gri sistem teorisine dayanan gri ilişki analizinin çoklu yanıtlar arasındaki karmaşık ilişkilerin çözümü için kullanıldığı çalışmalardır. Deneysel veriler, gri ilişkisel üretim aşamasında sıfır ile bir aralığında normalleştirildikten sonra istenen ve gerçek deneysel veriler arasındaki bağlantıyı kurmak için kullanılan gri ilişki katsayıları normalleştirilmiş deneysel verilerden hesaplanır. Gri ilişkisel derece, her bir işlem yanıtına karşılık gelen gri ilişki katsayı ortalanarak hesaplanmalıdır.
- Sinir ağırları: Taguchi Yöntemi ile hesaplanan S/G oranlarının en büyük değerini veren faktör ayarları ve yanıtlar arasındaki fonksiyonel ilişkiyi haritalamak için bir geri yayılım sinir modeli kullanılarak yapılan çalışmalardır.
- Hedef programlama: Çoklu yanıtlar için yapılan bu çalışmalarda hesaplama süreci karmaşık olduğu yaklaşımlardır.
- Arzu edilebilirlik fonksiyonu: Karar vericinin istediği yanıt ağırlıklarının değerlerini ölçen fonksiyonlarla yapılan çalışmalardır. Yaklaşım, matematiksel karmaşıklığı nedeniyle eleştirilmiştir.
- MRSN (çok yanıtı sinyal / gürültü oranı): Taguchi Yöntemi'nde her bir yanıtın kalite kaybı göz önüne alındığında, çoklu yanıt problemi için parametre tasarım aşamasında en uygun faktör seviyelerini belirlemek amacıyla çoklu yanıt sinyal-gürültü oranı kullanılarak yapılan çalışmalardır.

Taguchi'nin önerdiği güçlü tasarım yöntemleri çok yanıtı statik problemler ve çok yanıtı dinamik problemler olarak iki gruba ayrılmaktadır.

4.2.1. Çok yanıtı statik problemler

Tek yanıtı statik problemlerde olduğu gibi çok yanıtı statik problemlerde de çıktı yanıtını doğrudan etkileyen bir girdi sinyal faktörü sistemde mevcut değildir (Phadke ve diğ., 1989). Son yıllarda Taguchi çok yanıtı statik problemler ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. İlk çalışma, Phadke'nin devre üretim aşamasında silikon parçaların kalınlık ve yüzey kusurlarını incelemesi problemidir. Çok yanıtı bu problemde mühendislik bilgisine dayanarak en iyi faktör seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır (Phadke, 1989). Subjektif değerlendirmeler nedeniyle çelişkili sonuçlara ulaşılmış ve faktör seviyelerinin en uygun seviyeleri ile ilgili belirsizlik oluşmuştur (Jeyapaul, 2005). Ayrıca çalışma ancak tecrübeli bir mühendis tarafından uygulanabilecek kadar karmaşıktır. Taguchi'nin önerdiği çok yanıtı problemler için

göreceli ve basit metot şu temel düşünceleri içermektedir (Antony, 2001; Baynal, 2003, s.211):

- Çok yanıt durumlarında nitelik ve kayıp fonksiyonları her bir yanıt için farklı olduğundan yanıtların kayıp değerlerinin doğrudan karşılaştırılması ve toplanması mümkün olmamaktadır. Toplamalı model yanıtlar için ayrı ayrı uygulanabilir ama tüm yanıtları birleştirecek bir model mevcut değildir.
- Her bir yanıt için ölçü birimleri farklı olduğundan her bir yanıtın her biriminin neden olduğu kayıp da farklı olacaktır.
- Yanıtlara verilen önem derecesi birbirinden farklı olabilir. Karar vericiler yanıtların ağırlıklarını farklı değerlerle ve yöntemlerle belirleyebilir.
- Yanıtlardan bir veya birkaçı nominal en iyi özelliği gösterdiği zaman tüm yanıtların ortalaması üzerinde etkili ancak S/G oranını etkilemeyen ayarlama faktörlerini bulmak oldukça zordur. Bu ayarlama faktörü, ortalamayı hedef değere ayarlamak için kullanıldığında, diğer yanıtlarda da anlamlı ve olumlu yönde bir değişim meydana getirdiğinde doğrudur.

4.2.2. Çok yanıtlı statik problemlerin eniyileme stratejisi

Baynal, (2003)' te statik problemler için yaptığı çalışmada ÇYS/G (Çok Yanıtlı Sinya Gürültü) oranını belirlemek için Taguchi sinyal / gürültü oranlarını kullanarak tüm yanıtların kalite kayıplarını hesapladığı etkin ve uygulaması kolay bir metot önermiştir. Geleneksel Taguchi uygulamasını çok yanıtlı statik problemler için ve ÇYS/G tabanlı dört aşamalı bir prosedür geliştirmiştir (Baynal, 2003, s. 216; Baynal ve Gencel, 2015). İlk aşamada kalite kayıpları hesaplanırken ikinci aşamada ÇYS/G oranları belirlenmektedir. Üçüncü aşamada faktörlerin en iyi seviyeleri belirlendikten sonra doğrulama deneyleri yapılarak deney sonuçlarının doğruluğu ispatlanmaktadır. Bu aşamaları uygulamak hem kolay hem de matematiksel hesap yoğunluğu az olduğu için herkes tarafından kolayca anlaşılabilir (Baynal, 2003). Çok yanıtlı problemin türü statik ise kalite karakteristikleri en küçük iyi (EKİ), en büyük iyi (EBİ); dinamik ve statik problemler için nominal en iyi (Nİ) olarak sınıflandırılmaktadır. Taguchi, kalite kayıp fonksiyonunun karesel ortalamasına dayanan S/G oranını hedef problemler için Eşitlik (4.15), Eşitlik (4.16), Eşitlik (4.17) ve Eşitlik (4.18) ile tanımlamıştır (Wu, 2015):

$$SG = -10 \log(K(y)) = -10 \log\left(K \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) E\dot{I}(\text{Statik}) \quad (4.15)$$

$$SG = -10 \log(K(y)) = -10 \log\left(K \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) E\dot{I}(\text{Statik}) \quad (4.16)$$

$$SG = -10 \log(K(y)) = -10 \log\left(K m_0^2 \left(\frac{s^2}{\bar{y}^2}\right)\right) N\dot{I}(\text{Statik}) \quad (4.17)$$

$$SG = -10 \log(K(y)) = -10 \log\left(K \frac{\beta_0^2 \sigma_e^2}{\beta^2}\right) N\dot{I}(\text{Dinamik}) \quad (4.18)$$

K : kalite önemlilik katsayısı

y : kalite karakteristiği

m_0 : statik $N\dot{I}$ karakteristiği için hedef değer

$\bar{y}$: örnek ortalaması

s^2 : örnek varyansı

β_0 : dinamik $N\dot{I}$ kalite karakteristiği için ideal fonksiyon eğimi

B : dinamik $N\dot{I}$ kalite karakteristiği için regresyon tahmini eğim

σ_e^2 : dinamik $N\dot{I}$ kalite karakteristiği için hata varyansı

Çok yanıtli problemlerin ilk aşamasında her bir yanıtın hedef değeri belirlenmelidir. İkinci aşamada Taguchi performans ölçütü olan kalite kayıp değerleri tek tek yanıtlar için hesaplanmalıdır (Phadke ve diğ., 1989). Varyasyonun azaltılması için tüm yanıtların kalite kayıp değerlerinin aynı birimlere sahip olması karşılaştırmanın doğruluğu için birinci derecede öneme sahip olduğundan her bir kalite kaybının ölçüsü normalleştirilmelidir (Baynal, 2003). Pek çok normalizasyon metodu vardır ancak Taguchi, normalleştirmeyi her denemedeki kalite kaybını o denemedeki en büyük kalite kaybına bölerek gerçekleştirmektedir. Normalleştirilen en küçük değer 0, en büyük değer ise ancak 1 olabilir. 1'den küçük değer alan yanıtlar daha düşük kalite kaybı anlamına gelmektedir (Baynal, 2003; Gencel, 2007).

Normalleştirilen kalite kayıpları yanıtlar için hesaplandıktan sonra her denemedeki normalleştirilen toplam kalite kaybı hesaplanmalıdır. Bunun için çok yanıtli tüm problemlerde olduğu gibi yanıtların etki oranlarının belirlendiği ağırlıklar verilmelidir (Tong ve diğ., 1997). Ağırlıklar verilirken çok ölçütlü karar verme

tekniklerinden yararlanılması subjektifliği en aza indirgemeyi sağlamaktadır. Toplam kalite kaybı hesaplandıktan sonra ÇYS/G oranı toplam normalize edilmiş kalite kayıp (TNKK) değerlerine bağlı olarak Eşitlik (4.19) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{ÇYSG}_j = -10 \log_{10}(\text{TNKK}_j), (j=1,2,\dots,n \text{ olup deneme sayısıdır.}) \quad (4.19)$$

Üçüncü aşamada en iyi faktör seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tek yanıtli statik sistemlerde olduğu gibi çok yanıtli statik sistemlerde de EKİ ve EBİ tür kalite karakteristiklerinde kalite kaybı doğrudan en küçüklenebilir. Ancak belirli bir hedef değerin olduğu Nİ durumlarında iki aşamalı eniyileme prosedürü uygulanmalıdır. Birinci aşamada S/G oranı en büyüklenmeli; ikinci aşamada ise uygun bir ya da birkaç ayarlama faktörü ile ortalama, hedef değere ayarlanmalıdır (Taguchi ve Phadke, 1989). Çok yanıtli statik problemler için en iyi faktör-seviye birleşimini belirleme adımları aşağıda sıralanmıştır (Baynal, 2003, s.219):

1. Adım: Faktör etkilerinin hesaplanması
 - Hesaplanan ÇYS/G oranı değerleri üzerinden faktör etkileri ve ana etkileri çizelgelenir.
2. Adım: En iyi kontrol faktörlerinin ve seviyelerinin belirlenmesi
 - ÇYS/G oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olan kontrol faktörleri belirlenir.
 - Her bir kontrol faktörü için ÇYS/G oranı üzerinde en büyük değere sahip olan en iyi faktör seviyesi tespit edilir.
3. Adım: Ayarlama faktörlerinin belirlenmesi. Yanıtlar arasında Nİ tip kalite karakteristiği varsa uygun ayarlama faktörlerini tanımlamak gerekmektedir. Bu durumda dört ayrı durum söz konusudur (Tong ve diğ., 1997):
 - EKİ ve Nİ karakteristiklerinin en iyilenmesi durumu
 - EBİ ve Nİ karakteristiklerin en iyilenmesi durumu
 - EBİ, EKİ ve Nİ karakteristiklerinin en iyilenmesi durumu
 - Tüm yanıtların Nİ olduğu kalite karakteristiklerinin en iyilenmesi durumu

Nİ karakteristikler için ÇYS/G oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmayan ancak ortalama üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olan herhangi bir faktör, ayarlama faktörü olarak seçilebilir. Ayrıca ayarlama faktörü ortalamaı hedef değere getirmek için kullanıldığında kalite karakteristiklerinin iyileştirildiği yön, EKİ ve EBİ durumlarının hedef değerlerini de eş zamanlı olarak karşılamalıdır. Bu şartları sağlayan faktör ya

da faktörler, ilk üç durum için ayarlama faktörü olarak seçilebilir. Tüm yanıtların Nİ olduğu durum için ÇYS/G oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmayan ancak aday olarak seçilen faktörün kalite karakteristiği için ortalama yanıt üzerinde etkili olan ancak diğer yanıtların ortalamalarını etkilemeyen herhangi bir faktör, ayarlama faktörü olarak seçilebilir (Leon ve diğ., 1989).

Çok yanıtlı problemlerde ayarlama faktörlerini belirlemek tek yanıtlılara göre daha karmaşıktır. Ayarlama faktörlerinin belirlenmesi için bazı ödünleşimler yapılabilir. Phadke, uygun şekilde değiştirilebilen bir ayarlama faktörünün bulunmasından çok ortalamayla hedef değere tam olarak getiren ayarlama faktör seviyesini belirlemenin çok daha yüksek önceliğe sahip olduğunu belirtmektedir (Phadke, 1989). Taguchi tek ya da çok yanıtlı tüm tip problemlerde doğrulama deneylerinin yapılması çalışmanın en son aşamasıdır. Doğrulama deneyi, benzetim ya da fiziksel hangi tür deney yapılırsa yapılsın, mutlaka fiziksel olarak gerçekleştirilmelidir (Taguchi ve diğ., 2004). Burada amaç, güçlü tasarım ile elde edilen en iyi faktör seviyelerinin sistemde gerçekten bir iyileştirme sağlayıp sağlamadığını kanıtlamaktır. Önerilen en iyi durum, süreç için benimsenebilir ve on-line kalite kontrol metotları ile süreç takip edilerek iyileştirmenin sürekliliği sağlanır. Taguchi'nin çok yanıtlı statik problemler için önerdiği yaklaşım, sürekli ve kesikli verilere aynı anda uygulanabilmektedir (Baynal, 2003, s.221). Farklı sektörlerde artan uygulama sayısı ile yöntemin geçerliliği ispatlanmıştır. Amerikan Tedarikçiler Derneği'nin 2008 yılında yayınladığı Taguchi Yöntemi kullanan firmalar listesinde Ford'dan Toyota'ya; NASA'dan U.S. Army'e kadar farklı sektörlerden 100 civarında firma görülmektedir (Hasgül, 2014).

4.2.3. Çok yanıtlı dinamik problemler

Dinamik sistemlerde kalite anlayışı, sinyal ve yanıt arasındaki ideal ilişkiyi temel alır ve kalite kaybına, ideal ilişkiden sapmalar neden olmaktadır. Örneğin, bir otomobil direksiyon sistemi söz konusu olduğunda sinyal, direksiyon simidi açısyken yanıt, aracın hareket yönü veya tekerlek dönüş açısı olabilir (Jeyapaul ve diğ., 2005). Hem sinyal hem de yanıt, sistem tasarımcısı tarafından konuyla ilgili çalışanların görüşü alınarak belirlenmelidir. İlk olarak bir sistemin ideal fonksiyonu tanımlanır, daha sonra bu ideal fonksiyondan sapmaları en aza indiren “optimal” tasarımı aramak için OD'ler kullanılarak yapılan deneylerle önemli kalite iyileştirmeleri elde edilebilir.

Otomobillerin manevra kabiliyeti ve kontrol sistemlerinin performansı gibi olası çok çeşitli dinamik sistem uygulamaları mevcuttur. Statik sistemlerde olduğu gibi dinamik sistemler de iki temel gruba ayrılır (Taguchi, 1987; Wu ve Yeh, 2005). Bu sınıflandırmalar girdi sinyali ve çıktı yanıtının durumuna göre değişkenlik gösterir.

4.2.3.1. Sürekli-sürekli [continuous-continuous (C-C tipi)]

Dinamik C-C kalite özelliklerine sahip bir ürün ya da süreçte girdi sinyali ve çıktı yanıtının her ikisi de sürekli özellik göstermektedir. Kontrol edilebilen faktör ayarlarından etkilenen Y_i yanıtının değerleri, $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ olsun. Sinyal değerleri $M_1, M_2, \dots, M_m$ ve her bir sinyal değeri için $X_1, X_2, \dots, X_n$ gürültü koşullarını temsil etmektedir. Y_{ijk} , sinyalin M_i , gürültü koşulunun X_k olduğu durumda q , kontrol faktör ayarları için $Z = (z_1, z_2, \dots, z_q)^T$ kalite karakteristiği Y_i 'nin gözlenen değeridir. Ayarlamadan sonra toplam ortalama kalite kaybı sırasıyla Eşitlik (4.20), Eşitlik (4.21) ve Eşitlik (4.22) ile hesaplanmaktadır (Taguchi, 1993; Wu ve Yeh, 2005).

$$Q_a(z) = \sum_{i=1}^p \frac{K_i}{\beta_i^2} \frac{1}{mn} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n (y_{ikl} - \beta_i M_k)^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{i < j} \frac{K_{ij}}{\beta_i \beta_j} \frac{1}{mn} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n (y_{ikl} - \beta_i M_k)(y_{jkl} - \beta_j M_k) \quad (4.20)$$

$$Q_a(z) = \sum_{i=1}^p \frac{K_i}{\beta_i^2} \frac{1}{mn} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n e_{ikl}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{i < j} \frac{K_{ij}}{\beta_i \beta_j} \frac{1}{mn} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n e_{ikl} e_{jkl} \quad (4.21)$$

$$Q_a(z) = \sum_{i=1}^p K_i \frac{\sigma_{ie}^2}{\beta_i^2} + \sum_{i=1}^p \sum_{i < j} \frac{K_{ij}}{\beta_i \beta_j} (\sigma_{Y_i Y_j} - \sigma_{Y_i Y_j}) \quad (4.22)$$

K_i : Y_i 'nin önemlilik katsayısı

K_{ij} : Y_i ve Y_j 'nin korelasyon önemlilik katsayısı

$\sigma_{Y_i Y_j}$: Y_i ve Y_j 'nin gözlenen değerlerinin kovaryansı

$\sigma_{Y_i Y_j}$: Y_i ve Y_j 'nin tahmin edilen kısmının kovaryansı

$$Y_i^* = \beta_i M_k \quad (4.23)$$

K_{ij} , belirli bir aralık ile sınırlı olup Eşitlik (4.24) bu aralık değerlerinin alt ve üst sınırlarını göstermektedir.

$$|K_{ij}| \leq \left| \frac{\beta_i \beta_j}{\sigma_{ij} \sigma_{ij}} \right|_{\text{Min}} K_i \frac{\sigma_{ie}^2}{\beta_i^2} K_j \frac{\sigma_{je}^2}{\beta_j^2} \quad (4.24)$$

Parametre eniyileme koşullarının amacı z' yi Eşitlik (4.25) ile hesaplamaktır (Taguchi, 1987; Wu ve Yeh, 2005). Ω , kontrol faktörü z' nin deneysel bölgesidir.

$$\text{Min}_{z \in \Omega} : \text{Min} \sum_{i=1}^p K_i \frac{\sigma_{ie}^2}{\beta_i^2} + \sum_{i=1}^p \sum_{i < j} \frac{K_{ij}}{\beta_i \beta_j} (\sigma_{Y_i Y_j} - \sigma_{Y_i^* Y_j^*}) \quad (4.25)$$

4.2.3.2. Dijital-dijital [digital-digital (D-D tipi)]

Çoklu dinamik D-D kalite karakteristikleri için toplam ortalama kalite kaybı Eşitlik (4.26) ve Eşitlik (4.27) ile hesaplanmaktadır (Taguchi, 1987; Wu ve Yeh, 2005).

$$Q_a(Z) = \sum_{i=1}^p K_i \frac{p_i'(1-p_i')}{(1-2p_i')^2} + \sum_{i=1}^p \sum_{i < j} \frac{K_{ij}}{(1-2p_i')(1-2p_j')} (\sigma_{Y_i Y_j} - \sigma_{Y_i^* Y_j^*}) \quad (4.26)$$

$$(\sigma_{Y_i Y_j} - \sigma_{Y_i^* Y_j^*}) = (p_i' p_j' \sqrt{(1-p_i')(1-p_j')} + (1-p_i')(1-p_j') \sqrt{p_i' p_j'}) \quad (4.27)$$

Girdi sinyali ya da çıktı yanıtı sürekli ya da dijital olarak farklılık gösterdiğinde her biri için ayrı fonksiyonlar tanımlanarak C-C ve D-D modelleri uygulanır (Taguchi, 1987; Taguchi ve Phadke, 1989).

4.2.4. Çok yanıtli dinamik problemlerin eniyileme stratejisi

Herhangi bir alandaki problemin çözümü ya da ürün / süreç geliştirilmesi için sistematik bir yaklaşımın olması bilimsel çalışmalarda kolaylık sağlamaktadır. Uygulanması önerilen yöntem ile ilgili gerekli tüm adımları kapsayan bir yaklaşım son derece faydalıdır.

Dinamik çok yanıtli problemler ile ilgili araştırma sayısının yetersizliği dikkat çekici boyutlardadır (Paul ve Gauri, 2017; Chang, 2008). Taguchi'nin dinamik sistemler için önerdiği tek yanıtli optimizasyon prosedürü çok yanıtli dinamik sistemler için geliştirilmeye ve üzerinde çalışma yapılmasına ihtiyaç duymaktadır. Taguchi dinamik sistemlerde temel strateji, statik sistemlerdeki nominal en iyi tip kalite karakteristikleri için önerilen iki adımlı prosedür olup ilk adımda S/G oranının maksimize edilmesi ve ikinci adımda ayarlama faktörleri kullanılarak ortalamanın hedef değere ayarlanmasıdır (Tsui, 1999).

Tablo 4.2. Çok yanıtlı ve tekrarlı dinamik sistemler veri seti (Paul ve Gauri, 2017)

Deney no	KONTROL FAKTÖRLERİ				Gürültü faktör ayarları	YANITLAR						
						Y ₁			...	Y _p		
	X ₁	X ₂	...	X _q		M ₁	...	M ₂	...	M ₁	...	M ₂
1					Z ₁	y ₁₁₁₁	...	y _{1s11}	...	y _{p111}	...	y _{ps11}
						...		...		...		...
						y _{111r}		y _{1s1r}		y _{p11r}		y _{ps1r}
					...	...	...	...	...	...	...	...
					...	...	...	...	...	...	...	...
					Z _n	y _{11n1}	...	y _{1sn1}	...	y _{p1n1}	...	y _{psn1}
						...		...		...		...
						y _{11nr}		y _{1snr}		y _{p1nr}		y _{psnr}
					...	...	...	...	...	...	...	...
					...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
t	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Bu ayarlama yapılırken S/G oranı üzerinde etkisi olmayan ancak ortalamayı etkileyen bir ya da birkaç faktör ayarlama faktörü olarak seçilmelidir. Ancak çok yanıtlı dinamik sistemlerde Taguchi Yöntemi geliştirilmeye ve yeni önerilere açıktır (Miller ve Wu, 1996b). Statik sistemlerde olduğu gibi faktörlerin ve seviyelerin belirlenmesi, deneylerin OD'ler kullanılarak yapılması ve analiz aşamasında performans karakteristiği olarak kalite kayıp fonksiyonu, performans istatistiği olarak S/G oranının kullanılması dinamik sistemlerde de Taguchi Yöntemi'nin temel adımlarındandır. Ancak yapılan çalışmalarda çok yanıtlı problem eniyileme metotlarından arzu edilebilirlik fonksiyonu, Yapay Sinir Ağları, ÇÖKV teknikleri gibi yöntemler de yanıtların optimizasyonunda kullanılmıştır (Arvidson ve Gremyr, 2008). Tüm faktörlerin dâhil edildiği veri formatı dinamik çok yanıtlılar için Tablo 4.2'de görülmektedir (Pal ve Gauri, 2017).

Y eniyilenmek istenen yanıtları, X değerleri yanıtlar üzerinde etkisi olan kontrol edilebilecek iki ya da üç seviyeli faktörleri, M yanıt üzerinde doğrudan etkisi olan sinyal değerlerini, Z ise gürültü faktörlerini ifade etmektedir. Deneylerin sayısı t ile deneme tekrar sayısı ise r ile gösterilmiştir. İç OD ve dış OD koşullarının her bir deneme için detaylandırılmış DÇYTY'nin tekrarlı veri bilgileri formatında elde edilecek veri sayısı $(t \times n \times p \times s)$ adettir.

Miller, Wu, Lesperance gibi bilim insanları Taguchi dinamik sistemlerle ilgili çalışmalarında metodun potansiyel problemlerine alternatif yaklaşımlar getirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda Taguchi temel prensiplerine bağlı kalınarak farklı model yaklaşımları geliştirilmiştir (Miller ve Wu, 1996b; Lesperance ve Park, 2003).

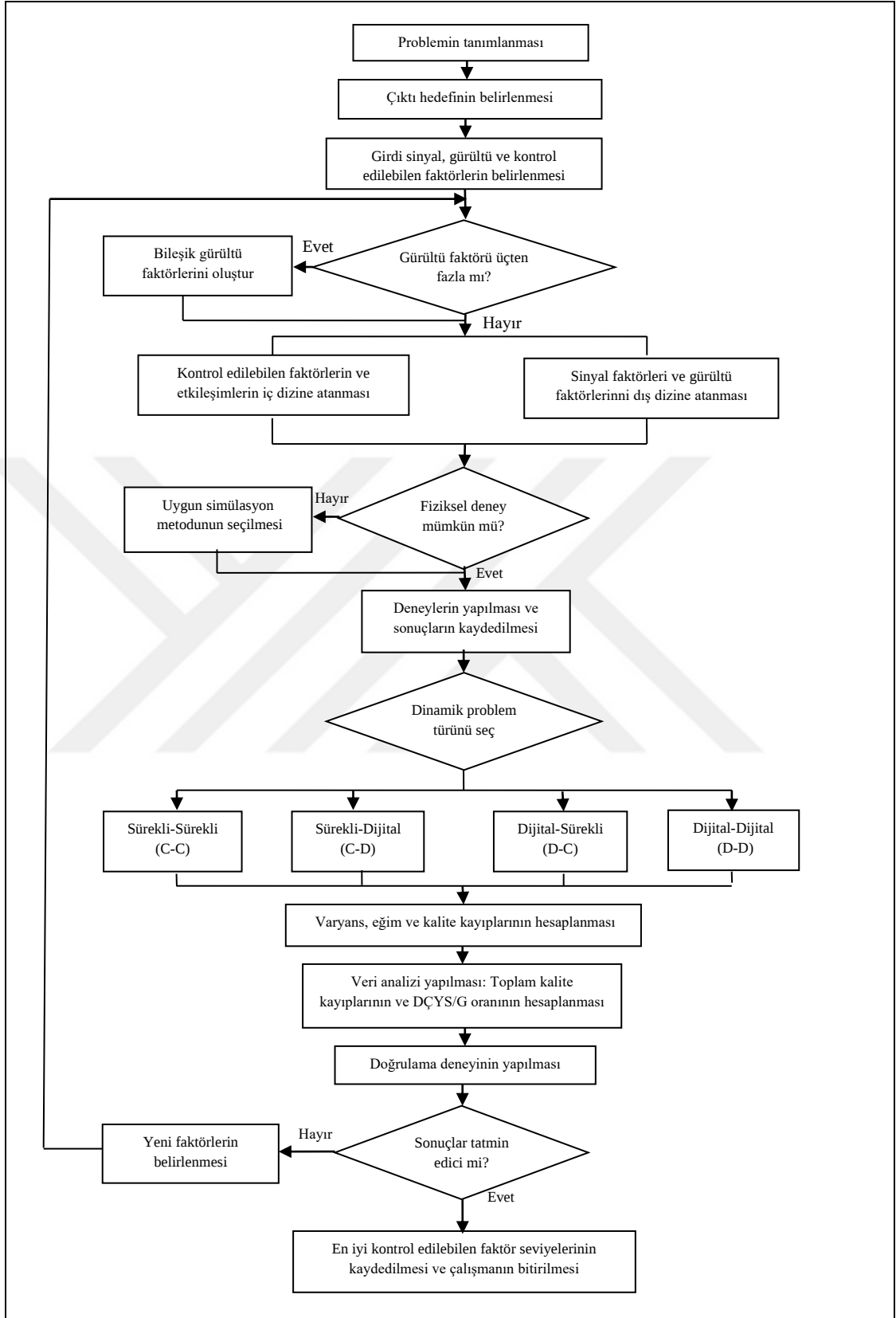
Taguchi dinamik sistemlerinde DS/G oranı $10\log_{10}(\beta^2/\sigma_\beta^2)$ olup β , ideal ilişkinin eğimi; σ_β^2 ise eğim etrafındaki değişkenliği temsil eden kontrol edilebilen faktörlerin bir fonksiyonudur (Wu ve diğ., 2005). Önerilen yeni yaklaşımlarda ise eğim ve varyans kontrol faktörlerinin fonksiyonu olarak ayrı ayrı modellenirse “Performans Ölçüm Modeli” olarak adlandırılmaktadır. Performans ölçümünde kullanılan varyans ve eğim değerleri sadece kontrol faktörlerinin değil aynı zamanda gürültü faktörlerinin de bir fonksiyonu olarak modellenirse “Yanıt Fonksiyon Modeli” olarak isimlendirilmektedir. En son olarak eğer yanıt; sinyal, gürültü ve kontrol edilebilen faktörlerinin tamamının dâhil edildiği bir fonksiyon olarak modellenirse “Yanıt Modeli” olarak adlandırılmıştır (Miller ve Wu 1996a; Miller ve Wu, 1996b).

Temelde, Taguchi Yöntemi S/G oranı ve β -eğim değerleri üzerinde yapılan değişikliklerle yapılan yeni çalışmalar yönetime katkı sağlamıştır. Önerilen metod çok yanıtli dinamik sistemlerin eniyilenmesinde DTY temelinde eğim ve varyansı birlikte ele alan ve kalite kayıp katsayıları ile çok yanıtli problemleri tek bir yanıtla dönüştürerek dinamik çok yanıtli sinyal gürültü (DÇYS/G) oranını maksimum yapmayı sağlayan bir model yaklaşımıdır. Böylece matematiksel karmaşıklığın olmadığı ancak mühendislik bilgisi ve istatistiğin kullanıldığı anlaşılması ve uygulaması son derece kolay bir prosedür önerilmiştir. Özellikle deney tasarımı öncesi yapılan faktör belirleme aşamalarında tecrübeli bir çalışma ekibi prosedürün başarısı açısından önemlidir. Dinamik çok yanıtli Taguchi sistemleri için uygulanacak çalışmanın adımlarını içeren en iyileme prosedürü Şekil 4.5’te görülmektedir. Uygulama adımları problem belirleme aşamasından itibaren aşağıda açıklanmıştır.

1. Adım: Problemin tanımlanmasıdır. Çalışma yapılacak alan, üretimi devam eden bir ürün ya da tesis ise her kesimden personelin katılımının sağlandığı anketler, kalite kontrol çemberleri, müşteri geri dönüşleri, beyin fırtınası çalışmaları, piyasa

araştırmaları gibi metotlarla ve uzman bir çalışma ekibinin katılımıyla sistem analiz edilir. Doğru tanımlaması yapıldıktan sonra diğeri adımlara geçilir.

2. Adım: Hedefin ya da hedeflerin belirlenmesidir. Özellikle çok yanıtlı sistemlerin eniyilenmesinde her bir yanıtın farklı hedefleri söz konusudur. Bu hedefler genellikle birbiriyle çelişir. Bu nedenle tüm çalışmalarda olduğu gibi çok yanıtlı problemlerde karar verici ekiple etkileşim içinde çalışılması ve toplam katılımın sağlanması son derece önemlidir.
3. Adım: Gürültü faktörleri kontrol edilmesi çok masraflı ya da zaman alıcı veya imkânsız olan faktörlerdir. Her ürün / sistemin gürültü faktörleri her bir yanıt için birbirinden farklıdır. Kontrol edilmesi zor olan büyük miktarlardaki hammadde ve malzeme girdileri gürültü faktörleri arasındadır. Ayrıca işçi, nem, iklim, bozulma gibi unsurlarda gürültü faktörleri olarak kabul edilmektedir. Tüm faktörlerin belirlenmesinde uzman çalışma ekibinin görüşlerinin alınması ve sebep-sonuç diyagramı gibi metotlarla farklı görüşlerin birleştirilmesi doğru sonuçlara ulaşmak için önemli bir adımdır. Gürültü ve sinyal faktörlerindeki artış OD deneme sayısını, buna bağlı olarak deney maliyetlerini artırır. Bu nedenle gürültü faktör sayısı ikiden fazla ise işlem yükünün azaltılması için gürültü faktörlerinin iki ya da üç seviyede toplanarak bileşik gürültü faktörlerinin oluşturulması deney sayısının azaltılmasına yardımcı olacaktır (Wu ve Yeh, 2005). Kontrol edilebilen faktörler ile yanıt değişkenleri arasında ilişki olması yapılacak deneylerden elde edilecek sonuçların değişkenliği açıklamada yeterli olması açısından önemlidir. Faktör seçimleri uzman bir ekiple yapıldığında bu problem ortadan kaldırılır. Ancak istatistiki birtakım analizler ile yanıtlar ve faktörler arasındaki ilişki tanımlanabilir. Faktör sayısı ne kadar çok olursa sonuçların güvenilirliği o kadar yüksek olacaktır. Faktör sayısının yanında faktör etkileşimleri de deneylere başlamadan önce belirlenmelidir. Ancak Taguchi çok belirgin ve önemli etkileşimler dışındaki faktör etkileşimlerini deney tasarımına dâhil edilmesini önermemektedir (Taguchi ve diğ., 2004). Etkileşimlerin belirlenmesinde eğer tasarım aşamasında yapılan bir çalışma ise prototip ürün üzerinde yapılacak olan ön deneyler kullanılabilir. Maliyetin azaltılması açısında yapılan prototip ürünün çok detaylı olmayan ve ucuz malzemelerle üretilmesi önerilmektedir (Taguchi ve Phadke, 1989).



Şekil 4.4. Dinamik problemler için Taguchi eniyileme prosedürü

Faktör seviyelendirmede Taguchi nitel faktörler için iki seviye, nicel faktörler için ise üç seviye önermektedir. Taguchi Yöntemi'nin en önemli adımı faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi adımıdır, denilebilir. Bu nedenle çalışma ekibinin işin uzmanı olması ve bu adımın dikkatli bir şekilde uygulanması tüm çalışmanın başarılı olması için son derece önemlidir.

4. Adım: Deney tasarımının yapılmasıdır. Taguchi dinamik sistemlerde OD'leri kullanmaktadır (Canıyılmaz ve Kutay, 2003). Böylece faktöriyel deney tasarımına göre çok daha az deney yapılarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır (Bakır ve Eknî, 1998) Sinyal ve gürültü faktörleri dış OD'e, kontrol edilebilen faktörler ve varsa etkileşimler ise iç OD'e atanır. Eğer deney maliyeti yüksek ya da deneyin fiziksel olarak yapılması mümkün değilse benzetim deneylerinin yapılması önerilmektedir (Tsai ve diğ. 2009; Taguchi ve diğ., 2004). Özellikle dinamik sistemlerde ürün tasarımı yapılırken benzetim deneylerinin yapılması deney sayısının azaltılması açısından tavsiye edilmektedir (Wu ve diğ., 2005).
5. Adım: Deneyler çalışma ekibinin gözetiminde yapılır ve sonuçlar kaydedilir.
6. Adım: Uygun dinamik problem türüne göre kalite kayıplarının, S/G oranlarının ve hassasiyetin (β) hesaplanması adımıdır. Girdi sinyalinin ve çıktı yanıtının sürekli veya dijital olmasına bağlı olarak dört farklı dinamik problem türüne göre analiz çalışmalarına başlanır. Çok yanıtlı problemlerde her bir yanıtın hangi dinamik problem türüne ait olduğu tespit edilerek ayrı ayrı analiz çalışmaları yapılır ve performans karakteristiği olan kalite kayıpları hesaplanır. Taguchi, çok yanıtlı dinamik problemlerde kalite kaybını Eşitlik (4.29); hata varyansını Eşitlik (4.30) ve eğim Eşitlik (4.31) ile formüle edilmiştir.

$$K_{ij} = k_j \frac{\sigma_e^2}{\beta_i^2} \quad (4.29)$$

K_{ij} : i. deneme J. yanıt kalite kayıp değeri

k_j : J. yanıt kalite önemlilik katsayısı

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{mn-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ijk} - \beta_{ij} M_j)^2, \text{ hata varyansı} \quad (4.30)$$

$$\beta_i = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} M_j}{\sum_{j=1}^n M_j^2}, \text{ eğim (hassasiyet)} \quad (4.31)$$

Kalite kayıpları her bir yanıt için tüm denemelerde hesaplandıktan sonra yanıtların farklı birimlerden arındırılması amacıyla normalizasyon işlemi yapılmalıdır (İç ve Yıldırım, 2012; Baynal ve diğ., 2019). Önerilen çalışmada işlem kolaylığı açısından lineer normalizasyon Eşitlik (4.32) kullanılarak yapılmıştır.

$$NK_{ij} = \frac{K_{ij}}{K_j} \quad (4.32)$$

NK_{ij} : i. deneme J. yanıt normalize edilmiş kayıp değeri

K_j : J. yanıtın tüm denemelerdeki en büyük kayıp değeri

Normalizasyon işlemi yapılan kalite kayıp değerleri çok yanıtli problem modundan tek yanıtli kalite kaybına dönüştürülür. Bunun için her bir yanıt için çok ölçütlü karar verme tekniklerinde uygulanan ağırlıklandırma işlemi Eşitlik (4.33) kullanılarak gerçekleştirilir. Ağırlıkların belirlenmesinde subjektifliğin ortadan kaldırılması amacıyla Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process-ANP) metotları kullanılabilir (Baynal ve Gencel, 2015) .

$$TKK_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_j NK_{ij} \quad (4.33)$$

TKK_i : i. deneme toplam kalite kayıp değeri

w_j : J. yanıtın ağırlık değeri olup $\sum w_j = 1$ 'dir.

7. Adım: En iyi kontrol faktörleri ve seviyelerinin belirlenmesi amacıyla kalite kayıp değerlerine bağlı olarak dinamik çok yanıtli sinyal gürültü (DÇYS/G) oranlarının hesaplanması gerekmektedir. DÇYS/G oranı kalite kayıplarına bağlı olarak Eşitlik (4.34) ile hesaplanır:

$$D\check{C}YSG_i = -10\log_{10}(TKK_i) \quad (4.34)$$

$D\check{C}YSG_i$: i. deneme dinamik çok yanıtı S/G oranı değeri

$D\check{C}YS/G$ oranını en büyükleyen kontrol faktörleri ve seviyeleri güçlü tasarımı belirlemektedir. Ancak bulunan sonucun doğruluğunun fiziksel deneylerle kanıtlanması gerekmektedir. Çok yanıtı dinamik problemlerde her bir yanıt için ayrı ayrı hesaplanan eğim değerleri $D\check{C}YS/G$ oranına göre yapılan doğrulama deney sonuçlarına göre değerlendirilir.

8. Adım: Optimal faktör ayar setinin kullanılarak doğrulama deneylerinin yapılmasıdır. Taguchi, doğrulama deneylerinin mutlaka fiziksel deneyler olması gerektiğini belirtmektedir. Yapılacak deneyler en az üç tekrar olarak ve rastgele yapılmalıdır. Elde edilen sonuçlar dinamik sistem veri analizi ile analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılır. Doğrulama deneyleri; mevcut üretim koşulları, Dinamik Taguchi analiz sonuçları ve çok yanıtı problem optimizasyonunda kullanılan başka metotlarla elde edilen sonuçlara göre yapılarak ürün / süreçteki iyileşme oranları karşılaştırılır.
9. Adım: Sonuçlar tatmin edici düzeyde değilse başa dönüp faktörler ve seviyeleri yeniden belirlenmeli ve tüm çlışmalar incelenmelidir. Sonuçların değerlendirilmesiyle beklenen iyileşme sağlanmadıysa bu durumda faktörler ve faktör etkileşimlerinin olup olmadığının yeniden gözden geçirilmesi, sistemin analiz edilerek çalışmanın tekrarlanması gerekecektir.
10. Adım: Sonuçlar tatmin edici düzeyde ise sonuçların değerlendirilmesi ve en uygun faktör ayarlarıyla yapılan güçlü parametre tasarım çalışmalarının on-line kalite kontrol metotları ile takip edilmesi gerekir. Taguchi güçlü tasarımı, parametre tasarımı ile başlar ve on-line kalite kontrol metotları ile süreklilik kazanır.

4.3. Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri

Çok ölçütlü karar verme, vektör maksimizasyonu problemleri olarak ilk defa (1951)'de Kuhn ve Tucker tarafından tanıtılmıştır (Öztürk N., 2017). ÇÖKV' yi oluşturan kavramlarla ilgili ilk konferans (1972)'de Colombia'da yapılmıştır (Figueira ve diğ., 2005). Aslında yöneylem araştırmasının bir alt kolu olarak kabul

edilen tekniklerde birden fazla alternatif ve ölçütten oluşan problemlere farklı çözüm yolları önerilmektedir (Öztürk N., 2017).

ÇÖKV, aralarında çelişki problemi olan birden fazla alternatif arasından belirli ölçütlere göre seçim ve sıralama yapmayı sağlayan matematiksel hesaplama adımlarından oluşan çok yanıtli problem çözme teknikleridir. Karar verme teorisi, uzun yıllar, giderek artan sayıda ve farklı alanlarda karar vermede yardımcı olmuştur. Karar verme süreci sadece teknik ve ekonomi gibi somut alanlarda değil aynı zamanda sosyal, politik ve çevresel faktörleri de kapsamaktadır (İnan, 2008). ÇÖKV tekniklerinde kullanılan başlıca temel terimler aşağıdaki gibi açıklanmaktadır (Öztürk N., 2017; Dolan, 2010):

Alternatif, karar verme süreci ile değerlendirilen bir eylem tarzı olup seçenek olarak da kullanılabilir. Kriter (ölçüt), bir alternatifin performansının değerlendirildiği özellikler olup nitelik olarak da adlandırılmaktadır. Ağırlık, ölçütlerin göreceli önemi olup alternatifleri karşılaştırmada kullanılır. Karar matrisi, alternatiflerin ölçütlere göre performansının gösterildiği tablodur. Ölçek ise nitel ya da nicel özellik taşıyan, skor olarak da adlandırılan, alternatiflerin performansının ölçülmesine ilişkin kullanılan metriktir.

ÇÖKV tekniklerinde ilk olarak problemin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Elde edilecek sonuçların doğruluğu problemin tüm sınırları ile tanımlanmasına bağlıdır. Diğer önemli adım, karşılaştırmalarda kullanılacak olan ölçütlerin belirlenmesidir. Seçilecek ölçütlerin alternatiflerin önemli özelliklerini taşıması gerekmektedir. Problemin yapısına ve karar vericilerin taleplerine uygun ÇÖKV tekniğinin seçilmesi diğer önemli adımlardandır. Ölçüt ağırlıklarının belirlenmesi ve karar matrisinin oluşturulmasından sonra seçilen tekniğe uygun prosedür ile problem çözümlenerek sonuçlar değerlendirilir (Öztürk N., 2017).

Çok ölçütlü karar verme teknikleri, alternatifler arasından aynı anda, birden fazla sayıda ve birbiriyle çelişen kısıtlama ölçütlerine bağlı olarak en iyi uzlaşık tercihin sıralanmasına ve/veya seçilmesine imkân sağlayan karar verme araçlardır. Amaçların birbiriyle çelişmediği bazı problemlerde her bir problem için en iyi çözüm bulunabilir. Ancak gerçek hayatta neredeyse tüm problemlerde bias (çelişki) problemi vardır. Bu durumda karar vericilerin amacı en iyi alternatifi bulmak,

sıralamak ya da amaçları doğrultusunda sınıflamaktır (Baynal ve diğ., 2019). Problemlerin yapısına ve karar vericilerin tercihlerinin çözüm sürecine dâhil edilme durumuna göre farklı karar verme teknikleri geliştirilmiştir.

VİKOR Metodu, farklı ölçütlere göre oluşturulan alternatifler arasından hem sıralama hem de seçim yapmayı sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir ÇÖKV tekniğidir. Çalışma yaptığımız karar problemi çok yanıtli özellik taşımaktadır. Alternatiflerimiz iç OD'de kullandığımız kontrol edilebilen faktörlere bağlı deneylerimizdir. Ölçütlerimiz ise dış OD'e atadığımız farklı sinyal seviyelerindeki gürültü şartlarıdır. Karar verici ekip, alternatiflerin sıralanmasını ve içinden uygun gördüklerini seçmek istemektedir. DÇYTY ile elde edilen sonuçların karşılaştırmasının yapılması amacıyla deney sonuçları problem yapısına uygun olması nedeniyle VİKOR Metodu ile çözümlenmiş ve elde edilen farklı faktör-seviye birleşimleri doğrulama deneyleriyle analiz edilmiştir.

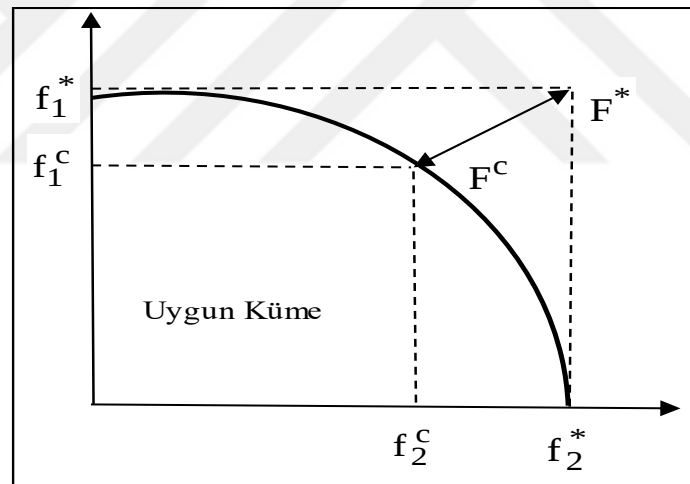
4.3.1. VİKOR Metodu

VİKOR Metodu (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje- Çok Ölçütlü Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm), birbiriyle çelişen ölçütlerin olduğu alternatifler arasından sıralama ve seçim yapmak amacıyla geliştirilmiş bir ÇÖKV tekniğidir (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2009). Metot; uzlaşık bir sıralama listesi oluşturularak sıralamalar arasından seçim yapılarak uzlaşık çözüme karar verir ve verilen farklı ağırlık değerleriyle uzlaşık çözümün tercih ettiği karar için ağırlıklandırılmış karar aralıklarını oluşturur (Opricovic ve Tzeng, 2007). Temelinde ideal yani en uygun çözüme yakınlık ölçümü vardır. Uzlaşık tabiri, çelişen ölçütlerin olduğu problemlerde karar vericilerin ortak kabulü ile anlaşmaya varılması demektir. Aslında uzlaşık çözüm ideale en yakın ve karar vericiler tarafından kabul edilmiş en uygun çözümdür. VİKOR Metodu'nda belirli alternatiflerin farklı ölçütlere göre değerlendirilmesi oluşturulan karar matrisi üzerinde yapılan bir dizi işlem neticelerine göre gerçekleştirilmektedir. Uzlaşık sıralamanın temelini, toplama fonksiyonu olarak kullanılan L_p ölçütü oluşturmaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2007). $a_1, a_2, \dots, a_j$; j adet alternatif olarak tanımlandığında j . alternatifin i ölçüte göre değerlendirilme sonucu f_{ij} olarak ifade edilmektedir. VİKOR Metodu ölçütü Eşitlik (4.35)'teki gibi kullanılmaktadır (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2009).

$$L_{p,j} = \left(\sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i)]^p \right)^{1/p}, 1 \leq p \leq \infty, j = 1, 2, \dots, J \quad (4.35)$$

n: ölçüt sayısı

Metotta $L_{1,j}$, S_j ve $L_{\infty,j}$ ise R_j 'ye karşılık gelen sıralama ölçütlerini belirlemede kullanılmakta olan değerler olup $\text{Min}_j S_j$ ' den en büyük grup faydası elde edilirken $\text{Min}_j R_j$ 'den ise çoğunluğa karşıt görüştekilerin en küçük kişisel pişmanlığına ulaşılmaktadır (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2009; Opricovic ve Tzeng, 2004; İç ve Yıldırım, 2012) . Uzlaşık çözüm anlaşmanın karşılıklı kabul edilmesi anlamına gelip F_c , ideal çözüm olan F^* 'a en yakın olan ve karar vericiler tarafından kabul gören çözümdür. Uzlaşık ve İdeal çözümler Şekil 4.5'te görülmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2004).



Şekil 4.5. VİKOR Metodu uzlaşık ve ideal çözümler

Vikor Metodu ile Taguchi Yöntemi birlikte kullanılarak yapılan çok yanıtlı problem çalışmalarında S/G oranları hesaplandıktan sonra opricovic tarafından (2004)' te önerilen adımlar uygulanmıştır (Biswas ve diğ., 2009; Tong ve diğ., 2007). ÇÖKV metotlarıyla bütünleşik TY yaklaşımlarının uygulanması kolaydır ancak elde edilen en uygun çözüm, tüm yanıtların farklı sinyal seviyelerinde ilgili yanıtların hedef değerlerine yakın olduğunu garanti etmeyebilir (Chang, 2008). Ayrıca ölçüt ağırlıklarının öznel olması çalışmalara getirilen diğer bir eleştiridir (Chang, 2008). Bu çalışmada önerilen Dinamik VİKOR Metodu, deney tasarımı ile elde edilen

sonuçları S/G oranı dönüşümünü yapmadan kullanarak yanıtların hedef değerlerine olan yakınlığını doğrudan ölçmektedir. Ayrıca ölçüt ağırlıklarının AHP ile belirlenmesi öznelliği büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır.

	KY ₁	KY ₂	KY ₃	...	KY _n
A ₁	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	...	y _{1n}
A ₂	y ₂₁	y ₂₂	y ₂₃	...	y _{2n}
A ₃	y ₃₁	y ₃₂	y ₃₃	...	y _{3n}
A ₄	y ₄₁	y ₄₂	y ₄₃	...	y _{4n}
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
A _m	y _{m1}	y _{m2}	y _{m3}	...	y _{mn}

Şekil 4.6. Dinamik VİKOR karar matrisi

Alternatifler ve ölçütlerden oluşan dinamik VİKOR karar matrisi Şekil 4.6’da görülmektedir. Burada A_i, i. alternatif olup kontrol edilebilen faktör ayarlarına göre yapılan deney numarasıdır, i=1,2,3,...,m; KY_j, j. ölçüt olup gürültü faktör ayarlarına göre belirlenmiş olan dış dizin deney koşullarıdır, j=1,2,3,...,n; y_{ij} ise i. kontrol edilebilen faktör seviyelerine göre oluşturulan deney şartlarında ve j. gürültü koşullarında yapılan deneylerden elde edilen yanıt değerleri yani alternatiflerin performans değerleridir. VİKOR Metodu’nun uygulama adımları aşağıda verilmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2007; Baynal ve diğ., 2019):

1. Adım: En iyi ve en kötü ölçüt değerlerinin belirlenmesi adımıdır. Karar matrisi oluşturulduktan sonra ölçütlerin fayda özelliği mi yoksa maliyet özelliği mi taşıdığı belirlenmelidir. Sistem analisti ve karar verici ekip ölçüt özelliklerini tespit etmelidir. Bu özelliklere göre her bir ölçüt için en iyi (A*) ve en kötü (A⁻) değerler belirlenir. En iyi ve en kötü değerlerin belirlenmesinde ölçütün özelliği göz önünde bulundurularak iki farklı eşitlikle hesaplama yapılmaktadır. Eğer j. ölçüt fayda özelliğine sahip ise Eşitlik (4.36) ve Eşitlik (4.37) kullanılır.

$$f_j^* = \max y_{ij} \quad (4.36)$$

$$f_j = \min y_{ij} \quad (i=1,...,m) (j=1,...,n) \quad (4.37)$$

y_{ij} : i. alternatifin j. ölçüt değeri

Eğer j. ölçüt maliyet özelliğine sahipse Eşitlik (4.38) ve Eşitlik (4.39) kullanılır.

$$f_j^* = \min y_{ij} \quad (4.38)$$

$$f_j = \max y_{ij} \quad (4.39)$$

2. Adım: Karar matrisinin birimlerden arındırılması amacıyla lineer normalizasyon işlemi yapılır. Elde edilen yeni matris normalize edilmiş karar matrisi ($m \times n$) boyutunda olup 'N' ile gösterilmektedir. Normalizasyon değerleri Eşitlik (4.40) ile hesaplanmaktadır:

$$n_{ij} = \frac{f_j^* - y_{ij}}{f_j^* - f_j} \quad (4.40)$$

n_{ij} : normalize edilmiş i. alternatif j. ölçüt değeri

3. Adım: Normalize edilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması adımıdır. ÇÖKV tekniklerinde karar vericinin alternatifleri değerlendirmede kullanacağı ölçüt ağırlıkları, diğer bir ifadeyle göreceli önem dereceleri belirlenmelidir. Bu ağırlık alternatifin ölçüt skorunu değerlendirmede ne kadar etkili olacağını belirleyen ölçüdür (Baynal ve diğ., 2017). Subjektifliğin ortadan kaldırılması amacıyla AHP gibi diğer karar verme metotları kullanılabilir. Eşitlik (4.41)' de w_j ölçütlerin ağırlıklarını göstermek üzere normalize edilmiş karar matrisinde ölçütler kendi ağırlık değerleriyle çarpılarak yeni ağırlıklandırılmış karar matrisi olan 'A' matrisi elde edilir.

$$a_{ij} = w_j n_{ij} \quad (4.41)$$

a_{ij} : Ağırlıklandırılmış i. alternatif j. ölçüt değeri, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

4. Adım: VİKOR Metodu'nun temel anlayışı olan fayda ve pişmanlık ölçütlerinin hesaplanması adımı olup her bir alternatifin seçilmesi ile elde edilen maksimum fayda olan S_i ve vazgeçilmesi durumunda minimum pişmanlık değeri olan R_i

değerlerinin ölçülmesidir. Her iki ölçüm uzlaşık çözümün temelini oluşturmaktadır. Eşitlik (4.42) ile S_i değerleri, Eşitlik (4.43) ile R_i değerleri hesaplanmaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (4.42)$$

$$R_i = \max_j a_{ij} \quad (4.43)$$

5. Adım: VİKOR indeks değerlerinin (Q_i) hesaplanması adımıdır. Bir önceki adımda hesaplanan S_i ve R_i değerlerine bağlı olarak VİKOR'un önerdiği v , VİKOR parametresine bağlı olarak Q_i değerleri Eşitlik (4.44) ve Eşitlik (4.45) ile hesaplanır (Gauri ve Pal, 2010; Opricovic ve Tzeng, 2007).

$$Q_i = \frac{v(S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-v)(R_i - R^*)}{R^- - R^*} \quad (4.44)$$

$$S^* = \min_i S_i, S^- = \max_i S_i; R^* = \min_i R_i, R^- = \max_i R_i \quad (4.45)$$

Genellikle v VİKOR parametre değeri 0,5 olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır (Baynal ve diğ., 2019). Ancak diğer seviyelerdeki alternatif değerlerin etkilerini görmek amacıyla farklı seviyelerde VİKOR değeri hesaplamalara dâhil edilebilir. Q_i , VİKOR indeks değerlerinin hesaplanmasında kullanılan v , maksimum grup faydasını sağlayan strateji ağırlığını; $(1-v)$ ise karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir (Biswas ve diğ., 2009). Farklı v değerlerine göre üst yönetimin ya da oluşturulan kalite grubunun karar verme koşulları ve alternatifleri farklı öncelik sıralaması ile elde edilmektedir. Hangi vikor parametre değerleri için uzlaşma, hangileri için veto durumunun ortaya çıkacağı karar vericilere Eşitlik (4.46)' da verilen şartlarda seçenek olarak sunulmaktadır (Chatterjee ve diğ., 2010; Biswas ve diğ., 2009; Tong ve diğ., 2007; İç ve Yıldırım, 2012):

$$\text{Uzlaşma (çoğunluk oyu): } v > 0,5; \text{ Konsensus: } v = 0,5; \text{ Veto: } v < 0,5 \quad (4.46)$$

6. Adım: Alternatiflerin sıralanması ve koşulların denetlenmesi adımıdır. S_i , R_i ve Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatifler arasında üç farklı sıralama listesi elde edilir. VİKOR Metodunda diğer ÇÖKV tekniklerinden farklı olarak alternatiflerin sıralanmasında en düşük değer en iyi faktör seviyelerini sağlamaktadır (İç ve Yıldırım, 2012). Yapılan sıralamanın doğruluğunu test etmek amacıyla en küçük Q değerine sahip olan alternatifin aşağıdaki koşulları sağlayıp sağlamadığına bakılır. İlk koşul kabul edilebilir avantaj olup birinci ve ikinci sıradaki alternatiflerin aldığı VİKOR indeks değerlerinin karşılaştırılması için Eşitlik (4.47) şartı sağlanmalıdır.

$$Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ ; \quad (4.47)$$

A^1 : Birinci Q_i

A^2 : İkinci Q_i

$$DQ = 1/(m - 1) \quad (4.48)$$

m : alternatif sayısı

İkinci koşul kabul edilebilir istikrar olup Q_i değerlerinden A^1 alternatifi S ve/veya R değerlerine göre de 1. sırada ise en iyi alternatiftir. Bu şartlarda uzlaşık çözüm karar verme sürecinde istikrarlıdır. Ancak eğer ilk koşul sağlanmıyorsa A^1 ve A^2 alternatiflerinin ikisi de uzlaşık çözüm olarak kabul edilir. İkinci koşul sağlanmıyorsa alternatiflerin tamamı uzlaşık en iyi çözüm olarak kabul edilir ve ortak çözüm kümesine alınarak üst sınır değerine sahip olan alternatif en iyi olarak seçilebilir. VİKOR Metodu karar verici ekibin etkileşimli katılımı olmadan başlar ama nihai kararın onaylanması ve sorumluluğu karar verici ekibe aittir (Baynal ve diğ., 2019).

5. UYGULAMA

Dinamik sistemler için Taguchi Yöntemi'nin çok yanıtli problemler için yapılan uygulama çalışması sektörde ve ülkemizde ilk olma özelliğini taşımaktadır. Farklı ve çok sayıda girdi faktörüne sahip olan galvanizleme hattında üretici firmanın eniyilenmesini istediği tek bir çıktı yanıtına kurucu firmanın kendi faaliyet alanındaki tüm çalışmalarda güçlü tasarıma ulaşmak için seçtiği üç yanıtın eklenmesiyle çalışma çok yanıtli dinamik problemlere uygun hâle gelmiştir. Uygulama iki ayrı firmanın ortak katılımıyla gerçekleştirildiğinden her iki firmanın faaliyetleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

5.1. Galvanizleme Hattı Kurucu Firma Bilgileri

CSM Metalurji demir çelik endüstrisinde süreç ve imalat mühendisliği konularında 30 yılı aşkın bir tecrübenin ürünü olarak 2002 yılında kurulmuş, İstanbul merkezli uluslararası bir firmadır. Çelik tel ve mamullerini üretmek isteyen müşterileri için yüksek verimlilikte çalışan tesislerin projelendirilmesi, ilgili makinelerin imalatı, montajı ve tesis devreye alınmadan önce üretilecek olan ürünlerin pazarlanmasına kadar gerçekleşecek olan tüm aşamalarda hizmet vermektedir. Tel çekme makineleri, galvanizleme hatları, patentleme işlemleri ve fosfat kaplama hatları firmanın çalıştığı alanlardan sadece birkaçıdır.

Proses tasarım aşamasında Ar-Ge ve inovasyon çalışmaları için firma güçlü bir teknik ekiple çalışmaktadır. Firmanın vizyonu; tel üretim tesislerinin anahtar teslim yapımı ve projelendirilmesinde ve üretim sonrası danışmanlık hizmetlerinde bölgesinin ve dünyanın en iyi mühendislik firmaları arasındaki yerini almaktır. Misyonu ise hızla gelişen bilgi ve teknoloji çağında değişen müşteri taleplerini karşılamak, yeni metotlar, yeni sistemler ve sorunlara hızlı çözümler üreten, güvenilir, ülkesine, bölgesine ve tüm insanlığa karşı sosyal ve çevresel tüm sorumluluklarını yerine getiren kaliteli bir firma olmaktır. Firmada çoğunluğu teknik personel olmak üzere 36 daimî personel mevcuttur. Özellikle galvanizli tel hattı imalatında personel sayısı iki kat artmaktadır.

Firma yurt içi müşterilerinden B tel firmasına 32 kanallı düşük karbonlu çelik teller için tavlama ve galvanizleme hattı kurmuştur. Firmaya kurulum sonrası danışmanlık hizmeti de vermektedir. Ancak üretilen galvanizli tellerde işçilik nedeniyle yurt dışına gönderilen numune kangallarda sipariş iptalleri olmaya başlamıştır. Bu sorunun asıl kaynağının tespit edilmesi ve tasarım parametrelerinde ideal seviyelerin bilimsel içerikli bir çalışma ile firmaya bildirilmesi amacıyla A firması teknik ekibi ile yapılan ön çalışma neticesinde bu galvaniz hattına DTY'nin uygulanmasına karar verilmiştir.

5.2. Galvanizli Çelik Tel Üretici Firma Bilgileri

Kurumsallaşmış şirketler topluluğu olan BMS Tel firmasının temelleri 1968 yılında Türkiye'nin ilk demir çelik fabrikasının kurulduğu Karabük'te atılmış ve yıllar içinde İskenderun, Ankara, İstanbul ve İzmir'de kurulan şirketlerle yurt geneline yayılmıştır. B Tel tescili altında B Grup bünyesinde İzmit'te faaliyette olan “galvanizli tel ve tel mamulleri” fabrikasıdır. B Tel, kalite güvence, sosyal ve çevresel sorumluluklarının da bilincinde olarak gerekli çalışmaları yapan ve dünyanın saygın denetim kuruluşları tarafından onaylanmış ISO 9001 – ISO 14001 ve ISO 18001 belgelerini almış, kalite odaklı çalışan firmalardandır. Firma, 2015 yılı sonunda muhtelif yurt içi ve yurt dışı müşterileri tarafından “A Grubu Tedarikçi” belgesi ile ödüllendirilmiştir. Firmanın galvanizli ürün satışı %86,7 oranı ile oldukça yüksektir. Ayrıca firma uluslararası piyasada çalışan ve piyasadaki satış payını sürekli yükselten bir konumdadır. Bu nedenle ürettiği ürünler ile firma dünya piyasasında kabul gören, sürekli kaliteyi prensip edinen ve inovasyona önem veren bir anlayışı benimsemiştir. Toplam kalite anlayışı, tek seferde mükemmel ürün üretimi ve rekabet ortamında kalıcılık için sürekli geliştirme anlayışı ile çalışanlarını bilinçlendiren firmanın yurt içi pazar satışı %40, yurt dışı pazar satışı ise %60 ile oldukça yüksek bir orandadır.

5.2.1. Üretici firma faaliyet alanı

Firma, en kısa ifade ile çelik tellerin fiziksel olarak değiştirilmesi ve teller üzerine kaplama uygulanması faaliyeti yapmaktadır. Çelik tellerin çekme, ezme ve ısıl işleminden geçirilmesi sonucu tel mukavemeti, kırılgenlik, metal yorgunluğu, uzama, kesit daralması gibi mekanik özellikleri ve yassılaştırma, oval kesite dönüştürme gibi

fiziki özellikleri değiştirilirken uygulanmakta olan kaplamalarla da tellerin yüzeysel özellikleri geliştirilir; korozyona karşı direnci artırılır ve istenen durumlarda estetik bir görünüm sağlanır.

5.2.2. Üretici firma ürün gamı

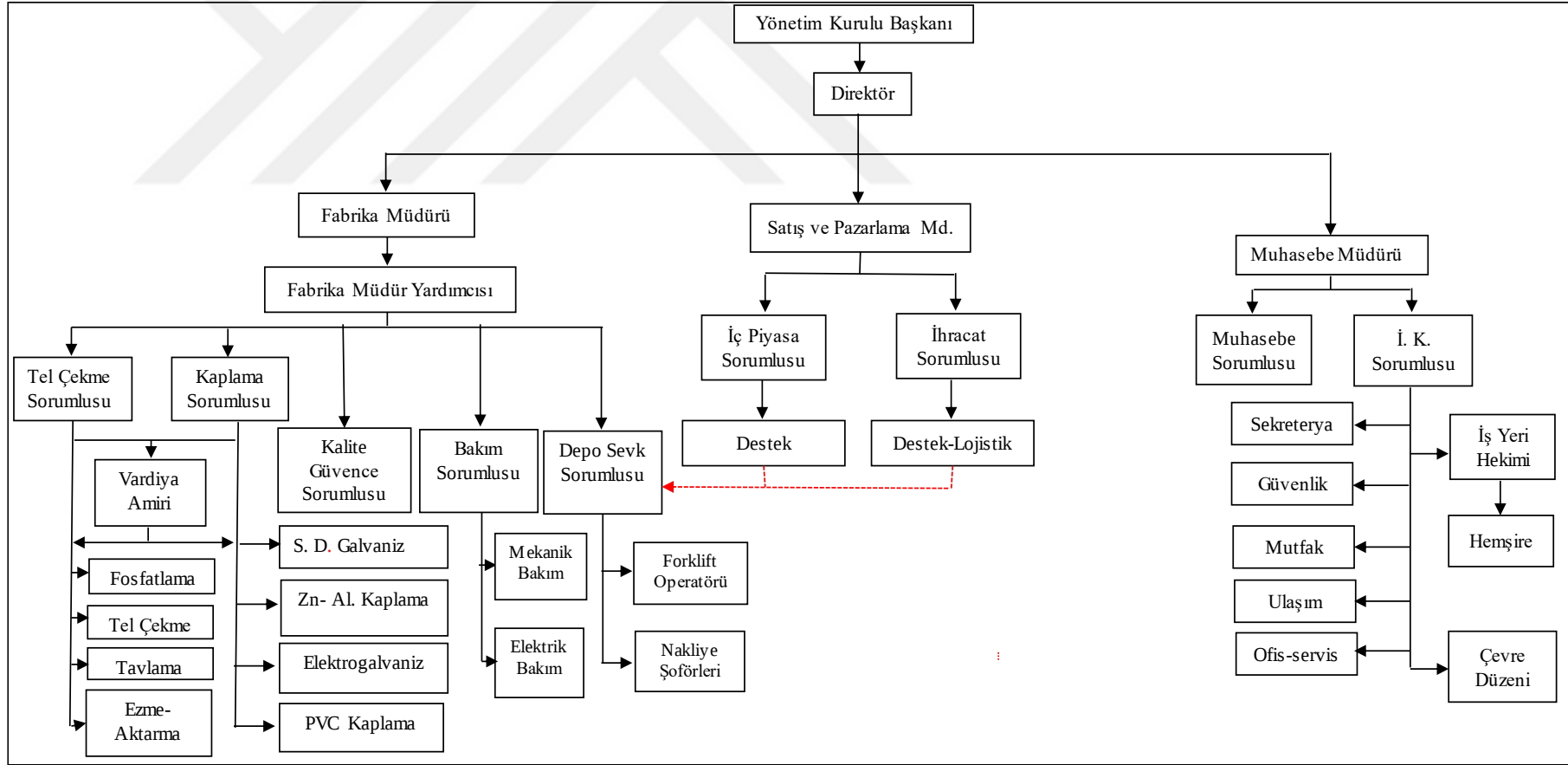
B Tel'in mevcut ürün gamı sıcak daldırma galvanizli tellerden, tavlı tellerden, soğuk çekilmiş tellerden ve doğrultulup istenen boylara kesilmiş çubuk tellerden oluşmaktadır. Firma 2017 yılında yatırımı sonrası mevcut ürünlerde üretim kapasitesi artışına ilave olarak Zinc-Alu kaplı teller, elektrog galvanizli ve laklı teller, PVC kaplı telleri ürün gamına katmıştır. Firmanın yıllık üretim miktarları Tablo 5.1'de görülmektedir. Sıcak daldırma galvanizli teller üretimin %65' ini oluşturmaktadır.

Tablo 5.1. Firmanın yıllık üretim miktarları

ÜRÜNLER	YILLIK ORTALAMA ton/yıl
Sıcak Daldırma Galvanizli Tel	32.916
ZincAlu Kaplı Tel	3.000
Elektrog galvanizli Tel	3.480
PVC Kaplı Tel	1.680
Tavlı Tel	6.000
Çubuk Tel	2.040
Soğuk Çekilmiş Tel	900
TOPLAM	50.016

5.2.3. Üretici firma pazar payı

Yurt dışına yapılan satışlar incelendiğinde ihracat yapılan 18 ülke içerisinde Avrupa'nın ülke bazında 11 ülke ile tonaj bazında 13.000 ton ile uzak ara başı çektiği görülmektedir. Firma yeni yaptığı galvanizli çelik tel hattı yatırımları ile son üç yılda Kuzey Amerika'da ABD ve Kanada, Güney Amerika'da Brezilya, Afrika'da Nijerya, Gana ve Kenya, Orta Doğu'da Birleşik Arap Emirlikleri ve Avrupa'da Norveç, Finlandiya, İsveç ve İtalya pazarlarına da girmiştir. Firma yaptığı yeni yatırımlar ile son üç yılda pazar payını artırmıştır. Firmanın İngiltere pazarına yaptığı ihracat oranı oldukça yüksektir. Numune ürünlerin kabul görmemesi firma için oldukça önemli bir kayıp olduğundan firma bu çalışmanın neticesine önem vermektedir. Galvanizli çelik tel ürünlerinin imalatının ve pazarlamasının yapıldığı B firmasının organizasyon şeması Şekil 5.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1. Üretici firma organizasyon şeması

5.3. Metallerde Korozyon ve Yüzey Kaplama

Metal yüzeyler dış ortamda var olan bazı etkiler nedeniyle zaman içinde özelliklerini kaybederek yıpranmaktadır. Metal biliminin korozyon olarak adlandırdığı bu durumun etkilerini azaltmak ve dayanım sürelerini artırmak amacıyla yüzey işleme ve koruma çalışmaları yapılmaktadır. Korozyona karşı yapılan bu çalışmaların en önemlisi ve en çok kullanılanı metal yüzeylerin daha dayanıklı malzemelerle kaplanmasıdır.

5.3.1. Metallerde korozyon

Çeşitli etkenlerle metallerin kimyasal ve/veya elektrokimyasal reaksiyona girerek dış tabakalarında hasar oluşmasına korozyon ya da halk arasındaki tabiri ile paslanma adı verilir. Oluşan hücreye korozyon hücresi (galvanik hücre) adı verilir Çelik tel galvanizleme hattında kullanılan ham maddenin yüzeyinde oluşan korozyonun ortaya çıkma durumlarının bazıları şunlardır (Yaluk, 2009, s.18):

- Yüzeydeki oluşan nem daldırıldığı elektrot veya yüzey kompozisyonunun düzensizliğinden dolayı çelik yüzey alanı elektrik potansiyel farklılığına maruz kalarak zamanla metalde korozyona neden olur.
- Matelik Hücre içindeki elektrik potansiyel farklılığı sonucunda negatif yüklü elektron anottan katoda doğru ilerler ve anot bölgesindeki demir atomları pozitif yüklü demir iyonlarına dönüşür.
- Elektrolit içinde anotta pozitif yüklenmiş demir iyonları negatif yüklü hidroksil iyonunu çeker ve reaksiyona girer, reaksiyon sonucunda demir oksit veya pas oluşmasına neden olur.
- Bir çelik parçasının üzerinde anot ve katot bölgeleri tamamen makroskobik boyuttadır. Yüzey büyütüldüğünde çelik tabanında elektriksel bağlantıda anot ve katodun bir mozaiği görülebilir. Korozyon anot bölgesinde oluşur.
- Uygun korozyon şartları altında her saniye milyarlarca reaksiyon tamamlanır ve hemen bunun sonucunda metal yüzeyinin üzerinde bir pas tabakası görülür. Korozyon uzun sürelerde ve tüm metal malzemeyi kaplayana kadar devam eder.
- Galvanizleme işleminde çinko ve çelik etkileştiğinde elektriksel potansiyel farklılığı sonucu elektriksel bir hücre ortaya çıkar. Çinko çelikten daha fazla

elektrokimyasal aktifliğe sahip olduğu için korozyon başladığında kendini feda ederek paslanmayı durdurmaktadır.

- Metaller için kaçınılmaz olan korozyonun önlenmesi için korozyon hücrelerini oluşturan elemanlardan en az birinin devreden çıkarılması gerekir. Bu sebeple malzemenin seçimi, kullanılan kaplama yöntemi, kaplama tasarımı, katodik ve anodik koruma ve çevresel faktörlerin kontrolü gibi unsurlar önem kazanmaktadır (Baycık ve diğ., 2003). Bu amaçla farklı metal yüzeyleri farklı metot ve malzemelerle kaplanmaktadır.

5.3.2. Yüzey kaplama

Yılda üretilen demirin %20'sinin paslanma nedeniyle devre dışı kaldığı düşünülürse, yüzeyi koruma amaçlı alınacak önlemlerin ne kadar önemli olduğu anlaşılabilir. Çalışma konusu ile ilgili olan ve metal korozyonunu engellemek için kullanılan farklı yöntemlerden biri de yüzey kaplamadır. Yüzey kaplama işlemi yapılırken metalik özelliklerden dolayı farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında metal kaplama yöntemi olarak kullanılan çinko kaplama, galvanizleme olarak da adlandırılır. Galvanizleme, demir ve çelik gibi metal malzemelerin üzerinin ince bir çinko tabakasıyla kaplanması işlemidir. Buradaki temel amaç metal yüzeyi korozyona karşı korumaktır. Galvanizleme genellikle sıcak daldırma, elektroliz veya metal püskürtme yöntemleri ile yapılmaktadır (Baycık ve diğ., 2003).

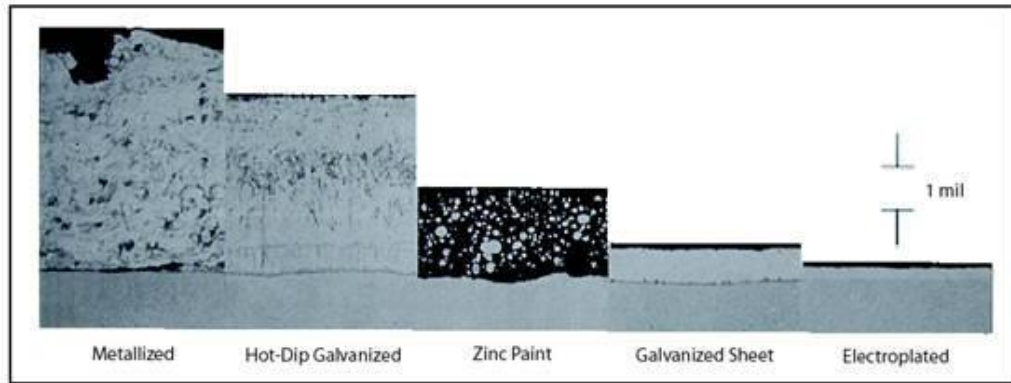
5.4. Galvanizleme

Galvanizleme, korozyona karşı daha dayanıklı hale getirmek için metal yüzeylerin uygun malzemelerle kaplanması işlemlerinden olup en çok ve en verimli olarak sıcak daldırma yöntemi ile yapılan yüzey koruma işlemidir. Çelik yüzeyin saf çinko ile kaplanmasında sudan kaynaklanan korozyona karşı geliştirilen çoğunlukla sınır koruma (barrier koruma) ve galvaniz koruma gibi iki yöntem kullanılır. Galvanizle korumada, nemli ortamda çinko çelikten daha aktif veya anodiktir ve çinko alt tabakadaki çeliği korumak için kendini feda eder (Marder A.R., 2000). Çelik malzeme uygun yöntem ile kaplanarak korozyona karşı dayanımı artırılır. Kaplanacak malzemenin cinsi ve kullanım amaçlarına göre geliştirilen kaplama yöntemleri ve bu yöntemlerle elde edilecek kaplama kalınlıkları Tablo 5.2'de verilmiştir (Yaluk, 2009, s.24).

Tablo 5.2. Çinko yüzey kaplama yöntemleri ve kalınlıkları (Yaluk, 2009)

Uygulanacak Yöntem	İşlem Türü	Kaplama Kalınlığı (μm)
Sıcak daldırma galvanizleme	Sıcak daldırma	35,6-99,1
Sürekli sac galvanizleme	Sıcak daldırma	101,6
Elektro galvanizleme	Elektroliz	7,11
Çinko kaplama	Elektroliz	5,1-25,4
Mekanik kaplama	Dövme	5,08-109,2
Metal kaplama	Sıcak çinko püskürtme	83,8-210,8
Çinko boyama	Fırça	15,2-127

Yüzeyin hangi yöntemle kaplanacağını belirlemede korozif ortamın doğru tespit edilmesi son derece önemlidir. Kaplanan malzemenin kalitesi ve kalınlığı dayanıklılık açısından dikkat edilmesi gereken unsurlardandır. Çinko kaplama ile korunacak metal malzeme ömrünün uzunluğu kaplama kalınlığı ile doğru orantılıdır. Çinko yüzey kaplama çeşitlerine göre elde edilecek olan kaplama kalınlıkları ise Şekil 5.2’de görülmektedir (Yaluk, 2009, s.25).



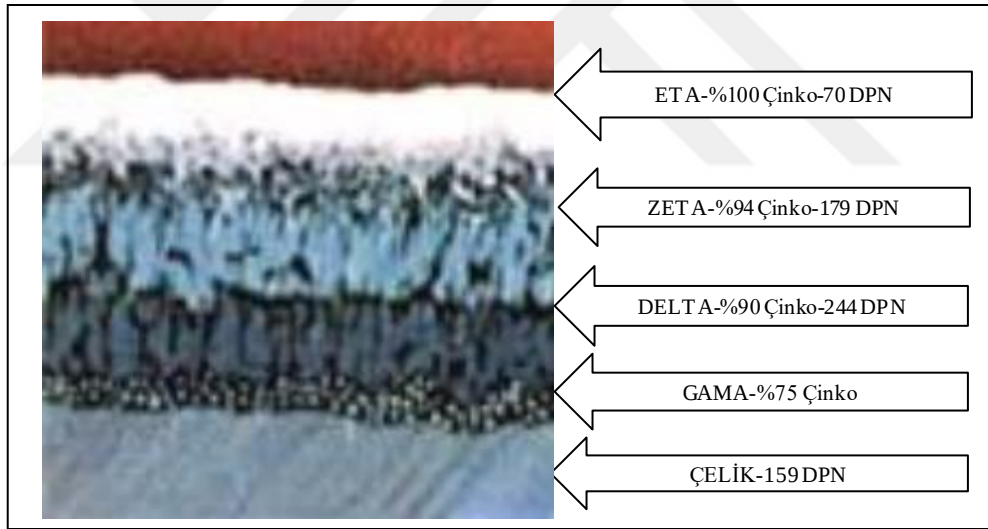
Şekil 5.2. Çinko yüzey kaplama çeşitleri ve kaplama kalınlıkları (Yaluk, 2009)

5.4.1. Sıcak daldırma galvanizleme

İlk olarak Fransız kimyacı Melouin, 1741 yılında demir parçalarını sıvı çinko içine batırarak kaplama çalışmalarına başlamıştır. 1787 yılında Watson Bishop, demir parçalarını önce yüzey temizlemeden geçirip sonra amonyak çözeltisine ve en son sıvı çinko içine daldırarak kaplamıştır. 1854 yılında Fransız bilim insanları Boucher ve Muller günümüzde kullanılan çelik tel galvanizleme işlemini bulmuşlardır. Tavlama, yüzey temizleme ve galvaniz kaplama işlem sırası 1860 yılında İngiliz George Bedson tarafından geliştirilmiştir. Yapılan geliştirme çalışmaları ile kaplama kalitesini artırmak amacıyla 1890 yılında fazla çinkonun pad ile sıyrılması sürekli galvanizleme hatlarına ilave edilmiştir (Baycık ve diğ., 2003). Sıcak daldırma

galvanizleme; toplu sıcak daldırma galvanizleme ve sürekli sıcak daldırma galvanizleme olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Toplu sıcak daldırma galvanizleme işleminde çelik parçası galvanizlenmeye daldırılmadan önce temizlenir, asitten geçirilir ve fluxlama işlemine tabi tutulur (Marder A.R., 2000). Sürekli sıcak daldırma galvanizleme ise ince sac veya tel gibi şerit malzemelerin belirli bir işlem sırasına göre kurulmuş galvanizleme hattından geçirilerek yüzey kaplama işleminin yapılmasıdır. Toplu sıcak daldırma yöntemi ile sürekli sıcak daldırma yöntemi arasındaki tek fark galvanizlenecek malzemenin türüdür. Galvanizleme ile kaplama, diğer bilinen korozyondan koruma yöntemlerinden daha kolay uygulanabilen bir işlemdir. Galvanizleme işlemi tamamlandıktan sonra yüzeydeki demir ve çinko alaşımı metalürjik olarak incelendiğinde Şekil 5.3'teki gibi malzeme yüzeyinde dört tabakanın oluştuğu görülmektedir (Yaluk, 2009, s.37).



Şekil 5.3. Galvanizli çelik tel yüzeyinde oluşan katmanlar (Yaluk, 2009)

Oluşan alaşım tabakasının sertliği demir ve çinkoya göre daha fazladır. Bu sertlik yeni elde edilen ürünü korozyona karşı daha dayanıklı hâle getirmektedir. Alaşımın oluşma hızı oldukça yüksektir. Çelik telin galvanizleme hattından geçiş hızı ve çinko ocağına dalma süresi arttıkça alaşım tabakasının kalınlığı artmaktadır. Kaplama kalınlığı normlara uygun ve müşterinin talep ettiği ölçülerde olmalıdır. Ancak alaşım kalınlığı fazlaştıkça kaplamada kırılma ve dökülme ihtimali yükselmektedir. Bu nedenle A firması müşteri taleplerinin tolerans sınırlarını da müşteriye iletmektedir.

Galvanizleme ile çinko kaplama yapılan tellerde üç yönlü koruma sağlanmaktadır. Bunların ilki, yüzeyde oluşan oksit tabakası olup tel ile dış ortam arasında bariyer görevi görerek korozyona karşı koruma sağlanır. İkincisi, çinko çeliğe göre daha aktif bir malzeme olduğu için malzeme dış ortamla temas ettiğinde çinko kendini feda ederek çelik teli korozyona karşı korumaktadır. Üçüncüsü ise kendisinden daha aktif bir metal ile kaplanan çelik tel olup kaplamanın herhangi bir nedenle açılması durumunda çinko, çinkohidroksite dönüşerek bölgeyi yeniden kapatmaktadır ve böylece telin dayanım süresini uzamaktadır.

5.4.2. Elektrogalvanizleme

Demir ve çeliğin paslanmaya karşı korunmasında kullanılan diğer bir yöntem malzemenin elektrogalvanizleme yöntemi ile kaplanmasıdır. Elektrogalvanizleme kimyasal alaşımlarla çinko, anottan koparmış olduğu eriyiği katot üzerindeki malzemeye yapıştırarak galvanizlenen malzemeye kısmen de olsa sertlik kazandıran, iyonize yolla yapılan bir kimyasal kaplama yöntemidir. Sıcak daldırma ile yapılan galvanizlemeden daha ekonomik bir yöntem olan elektrogalvanizlemenin bazı dezavantajları olduğundan daha az tercih edilmektedir.

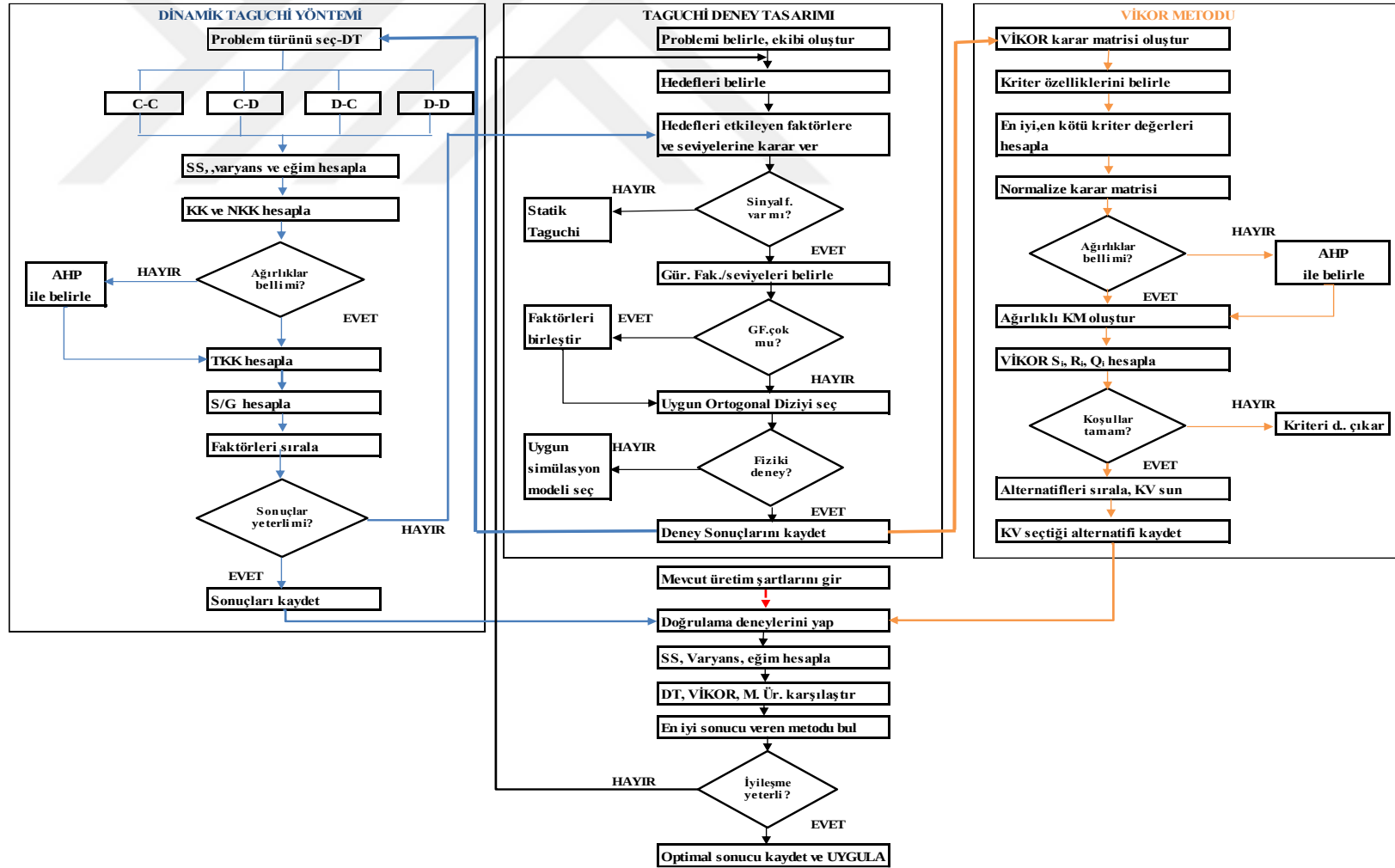
5.5. Galvanizli Tel Hattına DÇYTY ve VİKOR Metodu Uygulaması

Sıcak daldırma galvanizli tel kurucu firması olan A firması, B Tel firmasına 2012 yılında 1. galvanizleme hattını, 2017 yılında 2. galvanizleme hattını kurmuş; 3. hat için ise ön fizibilite çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Kurucu firma, hat devreye alındıktan sonraki 2 yıllık süre boyunca firmaya servis hizmeti sunmaktadır. Bu süre içinde 1. hatta üretilen yüksek karbonlu galvanizli çelik tel numunesi İngiltere tarafından reddedilmiştir. İki firmanın teknik ekipleri sorunun sebebi ile ilgili olarak bir çalışma yapmıştır. Kurucu firma, ürünün son kontroldeki tecrübesiz işçi hatası ve kalite kontrol grubunun bu durumu tespit etmeden sevkiyat yapması neticesinde kabul görmediğini beyan etmiştir. Kurucu firma bilimsel olarak bu sorunu çözmek istemiştir. Deney tasarımı, DTY ve çok ölçütlü karar verme teknikleri ile ilgili olarak önce A ve B firmalarının üst düzey yöneticilerine genel bir sunum yapılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar örnek olarak gösterilmiş ve dinamik özellik gösteren mevcut sorunun uygulama olarak ele alınmasına üst yönetim tarafından onay verilmiştir. DÇYTY ile belirlenen robust parametre tasarım şartlarının geçerliliğinin

ispatlanması açısından ÇÖKV tekniklerinden VİKOR Metodu ile bütünleşik bir çalışma yapılması uygun görülmüştür. Firmada yapılan çalışma prosedürü Şekil 5.4'te görülmektedir. Çalışmalara A kurucu firmasının teknik ekibi, B ürün üretici firmasının kalite personeli ve galvanizleme hattının üç işçisi olmak üzere toplam 27 personel katılmıştır. Katılımcılardan teknik ekip ve kalite kontrol personeline 4 gün toplam 20 saat, kullanılacak teknikler, araçlar ve yöntem ile ilgili seminer verilmiştir. Ayrıca çalışma alanına göre ilgili personel hem görsel hem de yazılı olarak bilgilendirilmiştir. Kalite kontrol ekibinin deney tasarımı aşamasında dikkat edilmesi gereken noktalar yapılan bir ön denemeye gösterilmiştir. Faktör seviyelerinin ayarlanmasında ve doğru bir şekilde uygulanmasında kurucu firmadan iki mühendis görevlendirilmiştir. Tüm görevlilere yapacakları işlerin detaylı listeleri hazırlanarak dağıtılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında Taguchi deney tasarımına uygun olarak problemin belirlenmesi ve firma hedeflerinin tespit edilmesi gerçekleştirilmiştir. Taguchi Yöntem'lerinde en önemli adım olarak kabul edilen kontrol edilebilen, kontrol edilemeyen, sinyal ve ihtiyaç duyuluyorsa kullanılan ayarlama faktörlerinin tespit edilmesi için Bölüm 2'de detaylı bir şekilde açıklanan kalite geliştirme teknikleri kullanılmıştır. Deney tasarımı ile elde edilen veriler DTY ve VİKOR Metodu ile en iyi faktör seviye birleşiminin belirlenmesi amacıyla kaydedilmiştir.

İkinci bölümde Dinamik Taguchi Yöntemi ile deney sonuçları analiz edilmiştir. DTY uygulamasında girdi sinyali ve çıktı yanıtının özelliklerine göre sürekli-sürekli kalite karakteristikleri için Bölüm 4'te önerilen Çok Yanıtlı Dinamik Problem modeli kullanılarak en iyi faktörler ve seviyeleri belirlenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise çok ölçütlü karar verme tekniklerinden VİKOR Metodu deney tasarımı ile elde edilen veri setine uygulanmıştır. VİKOR Metodu ideal çözüme en yakın çözümü veren ve uzlaşma temelli bir yaklaşım olduğu için karar verici kalite ekibi tarafından ikinci bir faktör-seviye birleşimi belirlenmiştir. Çalışmanın başlangıcında mevcut üretimde kullanılan faktörler ve seviyeleri değerlendirmelerde kullanılmak amacıyla üçüncü bir faktör-seviye birleşimi olarak kaydedilmiştir. Elde edilen üç farklı faktör-seviye birleşimi ile yapılan doğrulama deneylerinin sonuçları önerilen DÇYTY ile analiz edilerek sonuçlar tek tek tüm yanıtlar için ve ÇYS/G oranları ile karşılaştırılmıştır.

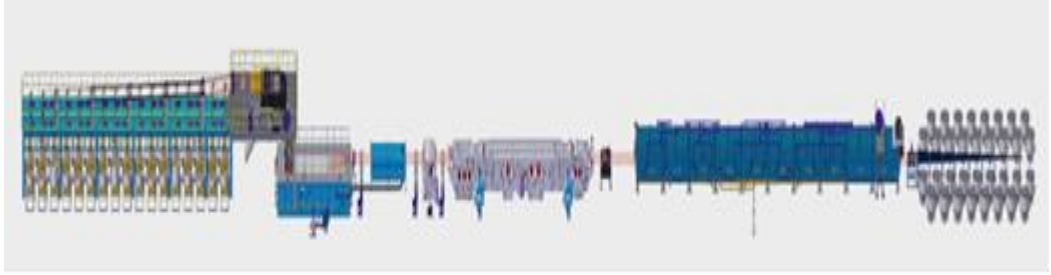


Şekil 5.4. Galvanizli tel hattı DÇYTY-VİKOR uygulama prosedürü

Tüm bu çalışmalar yapılırken özellikle mavi yakalı ekipte kalite anlayışının önemi üzerinde durulmuş ve en alt kademe dahi olsa her çalışanın firma için önemli ve fikirlerinin dikkate değer olduğu inancı yerleştirilmiştir.

5.5.1. Uygulama probleminin tespiti

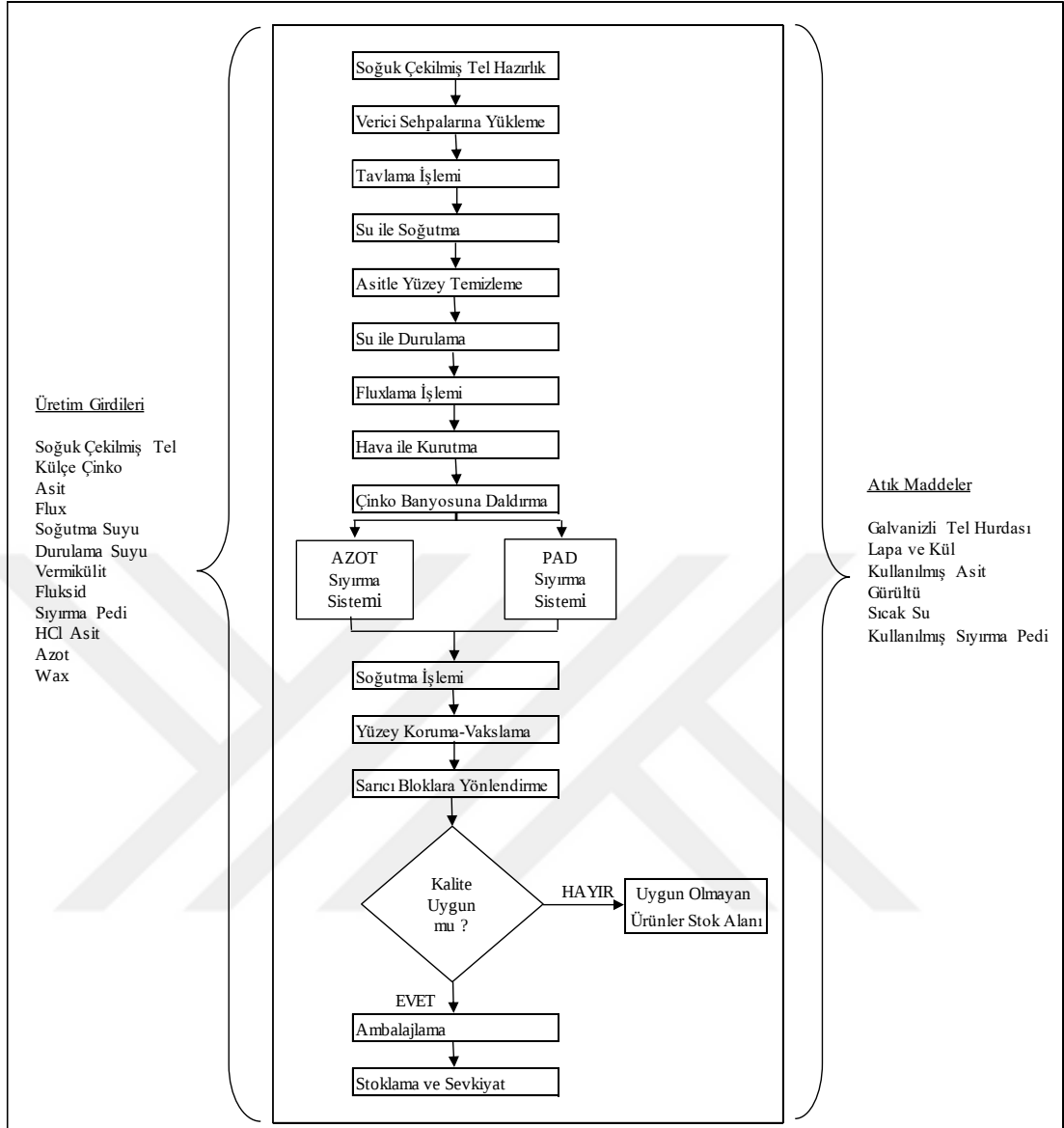
B firmasının gelecek 5 yıllık planında yer alan 3. sıcak daldırma galvanizleme hattının hedef müşterisi İngiltere pazarıdır. İlgili firmaya gönderilen numunede yüzey pürüzlülüğü, görünüm ve kaplama kalınlığı ile ilgili sorunlar nedeniyle firma numuneyi reddetmiş ve sipariş Çin'deki başka bir firmaya verilmiştir. Bu nedenle uygulamanın 1 numaralı sıcak daldırma galvanizleme hattında yapılmasına yönetim ve kurucu firma tarafından karar verilmiştir. Galvanizleme hattı 32 kanallı olup 0,8 mm ile 7,00 mm arasında galvanizli tel üretimi yapılabilmektedir. Hatta hem ticari hem de yüksek kaplama ürünler saatte 3800 kg kapasite ile üretilebilmektedir. Şekil 5.5'te hat fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.5. Galvanizleme tel hattı

Ürünün ham maddesi olan filmaşın sıcak haddelenerek üretilen, genellikle yuvarlak veya yarı yuvarlak, kare, dikdörtgen ve altıgen kesitinde soğuk çekme için kullanılan kangal halindeki yarı mamul metal çubuklardır. Firma filmaşını yurt içinden üç ayrı demir çelik tesisinden satın almakta olup ham madde temininde problem yaşanmamaktadır. Galvanizli tel iş akış şeması Şekil 5.6'da görülmektedir.

İlk üretim aşamasında soğuk çekilmiş tel, çekme makinelerinden geçirilerek istenen tel kalınlığına uygun boyuta getirilmektedir. Tel çekme aşaması galvanizleme hattının hemen yanında ayrı bir bölümde gerçekleştirilmektedir. Çekme işleminde telin girdi mukavemeti, tel çapı ve uygun normlarda tel kullanılması için gerekli olan ön kalite kontrol çalışmaları yapılmaktadır.



Şekil 5.6. Galvanizli tel iş akış şeması

Galvanizleme hattının ilk aşaması olan verici sehpalarına yükleme işleminde çinko kaplanacak çekilmiş malzeme, tel besleme (verici) kısmına müşteri talepleri dikkate alınarak Şekil 5.7’de görüldüğü gibi yüklenir. Tel yükleme sırasında malzemenin üretildiği ham madde, tel çapı ve malzeme yüzey kontrolü yapılır. Döner tablalar ve dresaj makaraları sağlam, frenleme mümkün olduğunca homojen olmalı ve teller hareketli makara grupları ve miller üzerinde çizilmeden taşınmalıdır.

Hattın ikinci aşamasında çelik tel yönlendirme makaraları ile bozulmuş taneciklerin tamamının yeni çekirdeklenen ve büyüyen tanelere dönüşmesini sağlayan bir tavlama işlemi olan rekristalizasyon için tav fırınına gönderilmektedir.

Malzeme yüzey kalitesini etkilediğinden tüm yönlendirme makaraları her vardiya kontrol edilir. Çinko kaplanacak malzemelerde istenen çekme mukavemetinin elde edilmesi için tavlama işlemi oldukça önemli bir aşamadır. Bu yüzden malzeme uygun sıcaklıktaki Şekil 5.8’de görüldüğü gibi tav fırınlarından geçirilmektedir.



Şekil 5.7. Verici sehpalara tel yükleme

Tav fırınından çıkan malzemeler, asit ile yüzey temizleme işleminden önce soğutma sularından geçirilir. Böylece tel yüzeyi soğutularak asit tankının yüksek ısılarla ulaşması engellenmiş olur.



Şekil 5.8. Tavlama işlemi

Asit ile yüzey temizleme işlemi kaplama kalitesi ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli bir adımdır. Şekil 5.9’ da görüldüğü gibi çelik tel, üzerindeki kir, pas, çapak gibi fazla malzemeleri almak için kabuksuzlaştırma işlemi olarak adlandırılan aşamadan geçirilir. Bu aşamada malzeme yüzeyinde kalan oksit ya da karbonat, hidroklorik asitten oluşan bir banyoda giderilir. Asit banyosundan çıkan malzemeler su ile durulama işleminden geçirilerek asit banyosundan sonraki flux banyosunun asitlenmesi önlenmiş olur. Tüm soğutucu ve yıkamadaki su püskürtücü deliklerin

akar durumda olması, farklı kanallardaki tellerin tümünün aynı şekilde temizlenmesi ve yıkanması nihai ürünlerde kalite ve ölçüm farklılığının olmaması ve işlemlerin birbirini etkilememesi açısından önem arz etmektedir. Flux banyosundan geçirilen teller, çinko banyosuna girene kadar yüzeyi özel bir film tabakası ile kaplanarak paslanmalara karşı korunmuş olur. Galvanizlemede parça yüzeyi asitle temizlendikten sonra parçaya sulu bir çözeltiyle yapılan fluxlama işleminden sonra tel hava ile kurutulur. Parçaların ön fluxlama ve kurulamadan hemen sonra galvanizlenmesi oksitlenmenin önlenmesi açısından şarttır. Ergimiş çinko galvanizleme banyosunun sıcaklığı genellikle 445-455 °C aralığında tutulur ve daldırma zamanı parçanın kalınlığına bağlı olarak 3-6 dk aralığında değişir (Marder A.R., 2000).



Şekil 5.9. Asit ile yüzey temizleme

Çinko içinde merdane (sinker) daldırılmış olmalıdır. Tel, sinker'in altından geçirilerek çinko banyosunda belirli bir dalma boyunda tutulmaktadır. Telin dalma boyu, tel çapı ve kaplama kalınlık miktarını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Çinko ocağına daldırılan teller sinker adı verilen özel bir taştan geçirilip ocaktan çıkarılırken sıyırma işlemleri uygulanmaktadır. Şekil 5.10'da çinko banyosuna daldırma ve sıyırma sistemleri görülmektedir. Azotlu sıyırma sistemi ve dik pad sıyırma sistemi olmak üzere iki farklı sistem kullanılmaktadır. Azotlu sıyırma sisteminde azot gazı basıncı ile bilgisayar kontrolü altında kaplama miktarı ayarlanarak kaplama kalınlığı talep edilen değerlerine en yakın seviyede tutulmaktadır. Azot sıyırma sistemlerinde kurulum maliyeti pad sıyırma sistemlerinden çok daha yüksektir. Ancak azot sıyırma sisteminde tel çapı kalınlığı sürekli kontrol hâlinde olduğundan çinko kaplama kalınlığı dar aralıklarda işlenerek hassas ayarlamalar yapılabilir.



Şekil 5.10. Çinko ocağı ve sıyırma sistemleri

Tel yüzeyinde çinko kaplanmamış kısım, çapak, yanık vb. kusurlar olmamalıdır. kopan uçlar kaynak yapılmalı ve kaynak yeri düzgün bir şekilde taşlanmalıdır. Dik pad sıyırma sisteminde önemli olan sıyırma işleminde kullanılan padlerdir. Sıyırma sırasında çapak vs. yüzey bozulması padlerin kalitesine bağlıdır. Olası bozulmada pad yüzeyi değiştirilir veya tamamen pad yenilenir.

Sıyırma işleminden sonra malzemenin parlak olması için yüzeydeki çinko tabakasının hemen soğutulması gerekir. Soğutma işleminden hemen sonra galvanizlenmiş yüzeyin korunması amacıyla vakslama işlemi yapılır. Şekil 5.11’de vakslama ve sarıcılara yükleme işlemleri görülmektedir. Kalite onayı alan malzemeler uygun şekilde işaretlenerek depoya alınır. Malzeme yüzeylerinin matlaşmaması için yüzeyler kapatılarak depolama yapılır.



Şekil 5.11. Vakslama ve sarıcılara yükleme işlemleri

Ürünün yeniden işlenmesi kimyasal özelliklerinden dolayı mümkün değildir. Bu nedenle tolerans sınırları dışında üretilen ürünler ikinci kalite olarak satılmaktadır. Girdi ham madde maliyeti döviz bazında ve yapılan üretim işlemleri gerek kaplama gerekse ara girdi malzemeleri de yüksek maliyetli olduğu için firma ikinci kalite

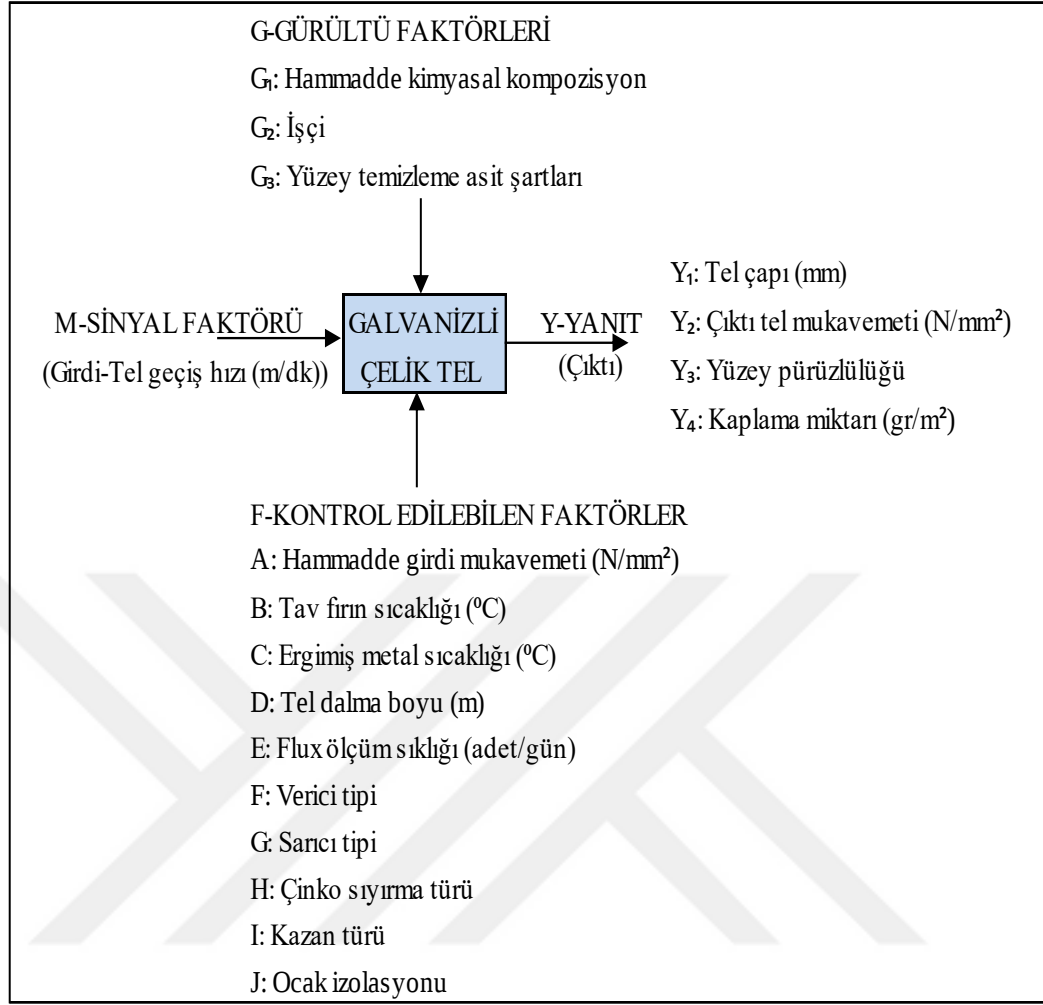
ürünü doğal olarak istememektedir. Bunu sağlamanın yolu parametre tasarımı aşamasında ürün ve sistemi tasarlamak ve on-line kalite kontrol çalışmaları ile elde edilen güçlü tasarım kalite şartlarını sürdürmektir. Bu konudaki başarılı kalite çalışmaları ile geçerliliği uzun yıllardır kanıtlanmış olan Taguchi Yöntemi firmanın vizyon ve misyonuna son derece uygundur. Uygulama boyunca tüm üst kademe yetkilileri ile yapılan görüşmelerde bu konuda gerekli açıklama ve ikna çalışmaları olumlu neticelenmiştir. Uygulamada seçilen hedef karakteristikler Tablo 5.3'te görülmektedir.

Tablo 5.3. Üretici firma hedef değerleri

Seçilen yanıtlar	Hedef değerler ve toleransları
Tel çapı (mm)	$2,00 \pm 0,05$
Çıktı tel mukavemeti (N/mm ²)	450-550
Yüzey pürüzlülüğü (0-1-2)	Kötü-iyi-çok iyi
Kaplama miktarı (gr/m ²)	

Kalite karakteristiklerinin seçiminde kurucu A firması tel çapı, çıktı tel mukavemeti ve kaplama miktarını; B firması yüzey pürüzlülüğünü tercih etmiştir. Çalışmanın hedef Avrupa pazarında en çok talep edilen 2,00 mm tel üzerinde yapılmasına karar verilmiştir. Hat tam vardiya çalıştığı için üretim faaliyetlerinin aksamaması amacıyla deneyler sipariş durumuna göre farklı zamanlarda ve rastgele yapılmıştır. Gürültü faktörlerinin deneye dış dizinde dâhil edilmesi, çok sayıda gerçek etkinin belirlenmiş olduğu deneysel bir ortamı yansıtmayı sağlasa da her bir deney toplam en az üç farklı kanalda yapılmıştır. Ölçümler, en son hava soğutma aşamasından sonra kangal başı, ortası ve sonunda olmak üzere üç kere alınmıştır. Uygulamada yapılan ölçümlerin ortalama değerleri analizde kullanılmıştır.

Şekil 5.12'de sıcak daldırma galvanizleme tel P-diyagramı görülmektedir. Ürün diyagramı DTY için gerekli olan özelliklere sahiptir. Sistemde tel geçiş hızı, tek girdi sinyal faktörü mevcuttur ve çıktı yanıtları olan tel çapı, çıktı tel mukavemeti, yüzey pürüzlülüğü ve kaplama miktarı sinyal faktöründen doğrudan etkilenmektedir. Ayrıca tüm sistemlerde var olan gürültü faktörleri probleme dâhil edilerek daha sağlam sonuç elde edilebilecektir. Kontrol edilmeleri son derece zor ve maliyetli olan hammadde kimyasal kompozisyon, işçi ve yüzey temizleme asit şartları gürültü faktörleri olarak deney tasarım dış OD'sine dâhil edilmiştir.



Şekil 5.12. Sıcak daldırma galvanizli çelik tel P-diyagramı

5.5.2. Faktörlerin belirlenmesi ve seviyelendirilmesi

Çalışma ekibi tarafından yüksek karbonlu galvanizli tellerin üzerinde etkili olduğu düşünülen kontrol edilebilen, kontrol edilemeyen ve sinyal faktörlerinin listesini içeren tek sayfalık rapor beyin fırtınası yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra yapılan toplantılarda belirlenen faktörler arasından on tanesi ortak karar ile kontrol edilebilen faktörler olarak seçilmiş ve seviyelendirilmiştir. Kontrol edilebilen faktörler ve seviyeleri Tablo 5.4'te görülmektedir. Gürültü faktörlerinin belirlenmesi için hattın kurulum firması yetkilileri ve kalite ekibi ile beyin fırtınası çalışması yapılmıştır. Üç adet gürültü faktörü iki seviyeli olarak belirlenmiştir. Sinyal faktörü olarak ise yanıtlardan tel çapı, çıktı mukavemeti ve kaplama miktarını doğrudan etkilediğine ortak olarak karar verilen tel geçiş hızı üç seviyeli olarak deneye dâhil edilmiştir. Sinyal ve gürültü faktörleri Tablo 5.5'te görülmektedir.

Tablo 5.4. Kontrol edilebilen faktörler ve seviyeleri

Faktör Kodu	Faktör adı	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
A	Ham madde girdi mukavemeti (N/mm ²)	900-1000	1000-1100	1100-1200
B	Tav fırın sıcaklığı (°C)	800	850	900
C	Ergimiş metal sıcaklığı (°C)	445	455	465
D	Tel dalma boyu (m)	5	7	9
E	Flux ölçüm sıklığı	1	2	3
F	Verici tipi	Döner tablalı	Üstten açılır-çift pozisyonlu	
G	Sarıcı tipi	Rozet kangal	Kayıslı rozet kangal	
H	Çinko sıyırma türü	Pad sıyırma	Azot sıyırma	
I	Kazan türü	Çelik kazan	Tuğla kazan	
J	Ocak izolasyon sistemi	Tek katlı korun	Çift katlı koruma	

Sinyal ve gürültü faktörleri Tablo 5.5’te listelenmiştir. Tel geçiş hızının üç ayrı seviyede deneylere dâhil edilmesi yapılan ön deneyler neticesinde belirlenmiştir. Gürültü faktörleri ise tamamı ikişer seviyeli olarak dış ortogonal diziye atanmıştır.

Tablo 5.5. Sinyal ve gürültü faktörleri ve seviyeleri

Sinyal Faktörü	1.seviye	2.seviye	3.seviye
Tel geçiş hızı (m/dk)	50	60	70
Gürültü Faktörleri	1.seviye	2.seviye	3.seviye
Hammadde kimyasal kompozisyon (Si, P-C,S oranları)	Norma uygun	Norm dışı	...
İşçi	5 yıl deneyimli	Yeni eğitim almış	...
Yüzey temizleme asit şartları	İyi	Kötü	...

5.5.3. OD seçimi

Taguchi Yöntemi’nde kullanılan OD’lerle çok az sayıda deney ile maliyet ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Sürekli üretim yapılan sıcak daldırma galvanizleme hattında tam faktöriyel deney uygulaması neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle “Çalışma ekibi ile benzetim deneyleri ile mi yoksa gerçek deneylerle mi çalışılmalı?” konusunda karar vermek amacıyla yapılan toplantıda A firması deneyleri benzetim ile yapmayı tercih ederken B firması gerçek deneyleri tercih etmiştir. Ancak başka firmalara yaptığı farklı kalite ve boyuttaki tellerde de bu çalışmayı uygulamak isteyen A firması hattın 1/70 oranında küçültülmüş bir

numunesini yaparak çalışmaları parametre tasarımı aşamasındaki tüm siparişlerine uygulama kararı almıştır. Deneyde kullanılacak OD seçiminde faktör seviye sayıları ve toplam serbestlik derecesi etkilidir. Toplam serbestlik derecesi veya daha büyük deneme sayısına sahip olan OD’ler deneyimiz için uygun olacaktır. v i. faktör serbestlik derecesi ve k i. faktörün seviye sayısı olmak üzere serbestlik derecesi aşağıdaki Eşitlik (5.1) ile hesaplanabilir (Baynal, 2003, s.231).

$$v_i = k_i - 1 \quad (5.1)$$

Uygulamada beş adet üç seviyeli, beş adet iki seviyeli kontrol edilebilen faktör için toplam serbestlik derecesi $v_T = 5 \times 2 + 5 \times 1 = 15$ olarak hesaplanmıştır. En az 15 deneme sayısına sahip olan OD bizim çalışmamıza uygundur. Faktörler 2 ve 3 seviyeli olduğu için Tablo 5.6’da görülen L_{18} OD modifiye edilerek çalışmamıza uygun hâle getirilmiştir.

Tablo 5.6. $L_{18}(3^5 \times 2^5)$ iç OD

Deney No	KONTROL EDİLEBİLEN FAKTÖRLER									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1
3	1	3	3	3	3	1	2	1	2	2
4	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2
5	2	2	3	3	1	1	1	2	1	1
6	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1
7	3	1	1	3	2	1	1	2	2	2
8	3	2	2	1	3	1	1	2	2	2
9	3	3	3	2	1	1	2	2	2	2
10	1	1	3	2	2	2	2	2	1	2
11	1	2	1	3	3	2	2	2	1	2
12	1	3	2	1	1	2	2	2	1	2
13	2	1	3	1	3	2	2	2	2	1
14	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1
15	2	3	2	3	2	2	1	1	1	2
16	3	1	2	3	1	2	2	2	1	2
17	3	2	3	1	2	2	2	2	2	1
18	3	3	1	2	3	2	1	1	2	1

Yapılan deney düzeninde üç seviyeli ve iki seviyeli beşer faktörün ana etkileri analiz edilebilmektedir. Faktörler arasında etkileşim olup olmadığı otuz yıllık galvanizli hat tecrübesi olan kurucu firma yetkilileriyle uzun süre tartışılmış ancak her bir işlem adımından sonra yapılan metalürjik uygulamaların bu etkileşimleri ortadan kaldırdığı

ön deneylerle ispatlanmıştır. Bu nedenle OD'ye etkileşim sütunu ilave edilmemiştir. Uygulamanın yapıldığı deney koşulları $L_{18}(3^5 \times 2^5)$ iç OD'si Tablo 5.7'de görülmektedir. Taguchi dinamik tasarımların özelliği çok sayıda deney tekrarı ile elde edilmesi mümkün olmayan gerçek gürültü faktörü etkilerinin dış dizine atanan sinyal ve gürültü faktör seviyeleri ile elde edilebilmesidir. Genel çalışma alanındaki tüm popülasyonları temsil ettiğini kabul etsek bile yeterli kesinliği elde etmek için gerekli olan tekrar sayısı bu çalışmada olduğu gibi çoğu çalışmalarda da ekonomik olarak mümkün olmayacaktır (Bumin ve Erkutlu, 2002). Aslında incelenen tüm sistemler zaman içinde değişme eğiliminde olduğu için uygulamada nadiren tüm alanlardaki değişkenlik çalışmalara yansıtılabilir. DTY'nin sinyal ve gürültü şartlarının deneylere dâhil edilmesi ile sayısız deney tekrarının sağladığı gerçek ortamı yansıtma avantajı daha kolay elde edilmiştir.

İç OD'de kontrol edilebilen faktörlerin seviyeleri her bir deney için farklı birleşimlerde ele alınmıştır. Hammadde girdi mukavemeti müşteri taleplerine göre belirlenen tolerans sınırlarında çıktı mukavemeti elde etmek için üç farklı seviye ile sınırlandırılmıştır. Metalürjik açıdan oldukça hassas bir üretim işlemi olan sıcak daldırma galvanizleme hattında belirlenen faktörlerin seçilen seviyelerinin üretimi sağlayıp sağlayamayacağı uzman çalışma ekibinin tavsiyeleri doğrultusunda belirlenmiştir. Ancak mukavemet yanıtı için son derece kritik bir faktör olan tav fırın sıcaklığı seviyeleri ön deneme çalışmaları ile tespit edilmiştir. 900 °C üzerinde yapılan ön denemelerde tellerde sarkma ve kopmalar, 800 °C altında ise hedef mukavemet değerlerinden çok farklı sonuçlar elde edildiği için üst ve alt sınırlar bu değerlerde tutulmuştur. Kaplama miktarı ve yüzey pürüzlülüğü yanıtlarında etkili olan ergimiş metal sıcaklığı faktörünün üst ve alt sınır değerleri ön deneme çalışmalarıyla belirlenmiştir. 445 °C altında ısıtılan çinkonun çelik tel yüzeyinde tutunamadığı görülmüştür. Üst limit olarak belirlenen 465 °C üzerindeki sıcaklıklarda ise metalürjik anlamda kaplama tabakaları oluşmamıştır. Telin dalma boyu, 5 metrenin altında kalan tellerde kaplama miktarı gramaj olarak yetersiz ve tel çapı istenen sınırların altında kalmıştır. Çinko kazanında 9 metreden daha uzun kalan çelik tellerde ise kaplama kalınlığı ve tel çapı talep edilen ölçülerden %35 fazla çıkmıştır.

Tablo 5.7. $L_{18}(3^5 \times 2^5)$ iç OD deney koşulları

Deney No	KONTROL EDİLEBİLEN FAKTÖRLER									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Hammadde Girdi Mukavemeti	Tav Fırın Sıcaklığı	Ergimiş Metal Sıcaklığı	Tel Dalma Boyu	Flux Ölçüm Sıklığı	Verici Tipi	Sarıcı Tipi	Çinko Sıyırma Tipi	Kazan Titi	Ocak İzolasyon Sistemi
1	900-1000	800	445	5	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Pad sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
2	900-1000	850	455	7	2	Döner tablalı	Kayışlı rozet	Pad sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
3	900-1000	900	465	9	3	Döner tablalı	Kayışlı rozet	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
4	1000-1100	800	465	7	2	Döner tablalı	Kayışlı rozet	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
5	1000-1100	850	445	9	3	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
6	1000-1100	900	455	5	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
7	1100-1200	800	455	9	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
8	1100-1200	850	465	5	2	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
9	1100-1200	900	445	7	3	Döner tablalı	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
10	900-1000	800	455	9	3	Çift poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
11	900-1000	850	465	9	1	Çift poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
12	900-1000	900	445	5	2	Çift poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
13	1000-1100	800	465	5	3	Çift poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
14	1000-1100	850	445	7	1	Çift poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
15	1000-1100	900	455	9	2	Çift poz.	Rozet kangal	Pad sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
16	1100-1200	800	445	9	2	Çift poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
17	1100-1200	850	455	5	3	Çift poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
18	1100-1200	900	465	7	1	Çift poz.	Rozet kangal	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma

Dış dizi için $L_4(3^1 \times 2^3)$ OD girdi sinyal ve gürültü faktörlerinin seviyelerine göre belirlenmiştir. İki seviyeli üç adet gürültü faktörü ve üç seviyeli bir adet sinyal faktörü için oluşturulan dış OD Tablo 5.8’de görülmektedir.

Tablo 5.8. $L_4(3^1 \times 2^3)$ dış OD

Deney No	Gürültü Faktörleri			Sinyal Faktörleri ve Seviyeleri		
	G_1	G_2	G_3	M_1	M_2	M_3
1	1	1	1			
2	1	2	2			
3	2	1	2			
4	2	2	1			

G_k =Gürültü faktörleri ($k = 1,2,3$)

M_j = Sinyal faktör seviyeleri ($j = 1,2,3$)

Tablo 5.9’da $L_4(3^1 \times 2^3)$ dış OD için deney koşulları görülmektedir. Sinyal faktörü olan tel geçiş hızı, 50 m/dk, 60 m/dk ve 70 m/dk olmak üzere üç seviyeli olarak tespit edilmiştir. Tel geçiş hızı, mukavemet, kaplama kalınlığı, hedef tel kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkileyen girdi faktörüdür.

Tablo 5.9. $L_4(3^1 \times 2^3)$ dış OD-açıklamalı

Deney no	Gürültü faktörleri			Sinyal seviyeleri		
	Ham madde kimyasal kompozisyon	İşçi	Yüzey temizleme asit şartları	50 m/dk	60 m/dk	70 m/dk
1	Norma uygun	5 yıl deneyimli	İyi			
2	Norma uygun	Yeni eğitim almış	Kötü			
3	Norm dışı	5 yıl deneyimli	Kötü			
4	Norm dışı	Yeni eğitim almış	İyi			

5.5.4. İdeal fonksiyon tanımlanması

Taguchi dinamik sistemlerde girdi sinyali ve çıktı yanıtı arasında doğrusal ilişki fonksiyonunun tanımlanması gerekir. Bu çalışma için ideal fonksiyonu Eşitlik (5.2) ile tanımlanmıştır:

$$Y_{ijk} = \beta_i M_j + \epsilon_{ijk} \quad (5.2)$$

Y_{ijk} : i. deneme j. sinyal k. gürültü faktör ayarında ölçülen yanıt değeri

ϵ_{ijk} : i. deneme j. sinyal k. gürültü faktör ayarındaki hata değeri

β_i : i. denemedeki eğim değeri

M_j : j. sinyal değeri

5.5.5. Deneylerin yapılması ve verilerin analizi

Deneyler, sıralaması rastgele seçilerek hattın otuz iki kanalının her seferinde farklı bir kanalında toplam yedi aylık sürede tamamlanmıştır. Deneyler yapılırken kurucu firmanın üç mühendisi bizzat deneyleri takip etmiştir. Ölçümler yapılmadan ölçüm cihazlarının kalibrasyon işlemleri tamamlanmıştır. Şekil 5.13'te tel mukavemeti, kaplama miktarı ve tel çapı ölçümleri görülmektedir. Tel mukavemetini belirlemek için yapılan çekme deneyi sonucunda çekme mukavemeti ve gerekli durumlarda uzama ve kesit daralması değerleri tespit edilmiştir. Kaplama miktarının belirlenmesi için 2.00 mm çapında çinko kaplanmış tel numunesi 10 cm boyunda kesilerek hidroklorik asit içeren hazneye atıldığında çıkan hidrojen gazının hacmi kaplama miktarını vermektedir. Kaplama miktarı ölçümlerinde kaplamanın yüzeye eşit dağılımının belirlenmesi amacıyla homojenlik ölçümleri de yapılmaktadır. Tel çapı ölçümleri ise mikrometre ile yapılarak kaydedilmiştir.



Şekil 5.13. Mukavemet, kaplama miktarı ve tel çapı ölçüm işlemleri

Çalışmada üç seviyeli bir sinyal faktörü, iki seviyeli üç gürültü faktöründen oluşan $L_4(3^1 \times 2^3)$ dış OD ve beşi üç seviyeli beşi iki seviyeli toplam on kontrol edilebilen faktörün atandığı iç OD'de toplam 216($18 \times 3 \times 4$) deney yapılmış, dört yanıt için 864(216×4) veri elde edilmiştir. Her deneyde toplam 3 ölçüm yapılarak deney sonuçları elde edilen değerlerin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Eşit sayıda kıyaslama yapılamayan deneylerde aynı şartların korunması amacıyla deney sayısı artırılmış ve ölçüm değerleri de artırılarak tüm birleşimlerden aynı sayıda olması sağlanmıştır. Her bir denemede gürültü şartlarına uygun olarak soğuk çekilmiş

kangal, tel bitene kadar hatta tutulmuş ve kangal başından ve sonundan 10 metrelik kısım istisna olmak kaydıyla üç ve bazen altı parça tel yaklaşık ikişer metre olacak şekilde kesilmiş ve kalite kontrol bölümünde gerekli ölçümler yapılmıştır. Deney yapılan kangallar sarıcı kısmında ilgili deney numarası ile ayrı bir alanda depolanmış ve yüzey pürüzlülüğü için hem alınan tel numuneleri hem de kangallar 11 kişilik kalite ekibi tarafından değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için nitel değerler olan kötü, iyi ve çok iyi ölçütleri analiz işlemlerinin sayısal olarak yapılabilmesi amacıyla metrik değerlere dönüştürülmüştür (sırasıyla 0, 1, 2). Tablo 5.10'da deney sonuçları listelenmiştir. Tablonun son bölümünde deney sonuçları, kullanılan yazılım programı formatına uygun olarak girdi sinyal faktörü olan tel geçiş hızının üç seviyesinin yerleştirildiği liste görülmektedir.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHP Template programı, deney sonuçlarına göre S/G oranlarının, standart sapma ve β -eğim değerlerinin hesaplanmasında Minitab programı, dinamik VİKOR Metodu ve DÇYTY analizlerinde Excel programı kullanılmıştır.

AHP ile belirlenen yanıt ağırlıkları; tel çapı için 0,189, mukavemet için 0,356, kaplama miktarı için 0,249 ve yüzey pürüzlülüğü için 0,217 olarak belirlenmiştir. Veri analizlerinin yapılması amacıyla deney tasarım problemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan Minitab 18 programı ile elde edilen sonuçlar Ek-C'de verilmiştir.

Varyans analizi tel çapı S/G oranı sonuçları incelendiğinde modeldeki R^2 :%99,92 ve R^2 (düzeltilmiş):%99,29 değerleri değişkenliğin açıklanma oranının yüksek olduğunu göstermektedir. Mukavemet yanıtı için R^2 :%99,55 ve R^2 (düzeltilmiş):%96,18 değerleri modelin varyasyonu açıklamada yeterli olduğunu ifade etmektedir. Kaplama miktarı yanıtı için R^2 :%95,3 ve R^2 (düzeltilmiş):%90,89 değerleri ile model değişkenliği açıklamada yeterlidir.

R^2 :%93,84 ve R^2 (düzeltilmiş):%92,67 yüzey pürüzlülüğü yanıtı için değişkenliğin açıklanması için yeterli bir model kurulduğunu göstermektedir. S/G oranları için elde edilen yüksek R^2 ve R^2 (düzeltilmiş) değerleri modelin tüm yanıtlar için güvenilir olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 5.10. Deney sonuçları

Deney no	Dış dizi deney no	TEL ÇAPI			ÇIKTI MUKAVEMETİ			YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			KAPLAMA MİKTARI		
		M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃
1	1	2,11	2,00	1,99	430	500	600	1	2	1	60	55	50
	2	2,00	1,98	1,95	460	550	650	1	1	0	45	43	41
	3	2,00	1,98	1,95	550	560	700	1	1	0	61	55	49
	4	2,09	2,00	1,99	520	530	650	2	2	1	47	46	39
2	1	2,02	2,01	2,00	420	470	570	2	1	1	70	65	60
	2	2,01	1,99	1,97	445	500	615	1	0	0	39	43	42
	3	2,01	1,99	1,97	515	500	635	1	1	0	69	67	60
	4	2,02	2,01	2,00	495	500	615	2	1	1	45	41	41
3	1	2,03	2,02	2,01	400	450	550	1	1	1	75	70	65
	2	2,02	2,00	1,98	435	480	600	1	1	0	39	42	38
	3	2,02	2,00	1,98	500	485	620	1	1	0	73	70	59
	4	2,03	2,02	2,01	475	485	600	1	1	1	43	45	39
4	1	2,02	2,01	2,00	430	480	585	2	1	1	80	75	70
	2	2,01	1,99	1,97	455	510	625	1	0	0	37	45	47
	3	2,01	1,99	1,97	530	520	650	1	1	0	84	75	70
	4	2,02	2,01	2,00	500	520	620	2	1	1	46	45	39
5	1	2,03	2,04	2,05	450	500	580	1	1	0	145	150	155
	2	2,01	2,02	2,04	450	500	630	1	0	0	132	143	141
	3	2,01	2,02	2,04	520	500	635	1	0	0	140	145	150
	4	2,03	2,04	2,05	500	515	625	1	1	0	137	140	132
6	1	2,01	2,02	2,03	400	480	575	1	1	0	120	123	127
	2	1,99	2,01	2,03	445	530	625	1	0	0	131	133	121
	3	1,99	2,01	2,03	530	530	550	1	0	0	118	121	124
	4	2,01	2,02	2,03	500	505	630	1	1	0	121	127	135

Tablo 5.10. (Devam) Deney sonuçları

Deney no	Dış dizi deney no	TEL ÇAPI			ÇIKTI MUKAVEMETİ			YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			KAPLAMA MİKTARI		
		M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃
7	1	2,03	2,04	2,05	470	510	595	1	1	0	145	150	155
	2	2,01	2,02	2,04	455	500	635	1	0	0	139	137	141
	3	2,01	2,02	2,04	525	515	640	1	0	0	140	145	150
	4	2,03	2,04	2,05	520	520	635	1	1	0	137	141	142
8	1	2,01	2,02	2,03	415	490	585	1	1	1	120	123	127
	2	1,99	2,01	2,03	450	535	625	1	0	1	116	109	113
	3	1,99	2,01	2,03	535	545	555	1	0	1	118	121	124
	4	2,01	2,02	2,03	510	510	650	1	1	1	115	110	114
9	1	2,02	2,03	2,04	425	460	580	1	0	0	129	132	135
	2	1,99	2,02	2,04	435	485	600	0	0	0	125	127	123
	3	1,99	2,02	2,04	520	500	625	0	0	0	127	130	132
	4	2,02	2,03	2,04	495	515	615	1	0	0	121	125	129
10	1	2,02	2,03	2,04	470	470	600	1	0	0	129	132	135
	2	1,99	2,02	2,04	450	500	620	0	0	0	123	126	120
	3	1,99	2,02	2,04	550	520	640	0	0	0	127	130	132
	4	2,02	2,03	2,04	500	525	630	1	0	0	124	126	123
11	1	2,03	2,04	2,05	465	505	590	1	1	0	145	150	155
	2	2,01	2,02	2,04	450	495	625	1	0	0	139	137	121
	3	2,01	2,02	2,04	510	500	625	1	0	0	140	145	150
	4	2,03	2,04	2,05	500	500	615	1	1	0	131	129	133
12	1	2,01	2,02	2,03	400	480	570	1	1	0	120	123	127
	2	1,99	2,01	2,03	435	520	595	1	0	0	116	120	121
	3	1,99	2,01	2,03	525	535	540	1	0	0	118	121	124
	4	2,01	2,02	2,03	490	490	645	1	1	0	120	119	117

Tablo 5.10. (Devam) Deney sonuçları

Deney no	Dış dizi deney no	TEL ÇAPI			ÇIKTI MUKAVEMETİ			YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			KAPLAMA MİKTARI		
		M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃	M ₁	M ₂	M ₃
13	1	2,01	2,02	2,03	430	500	600	2	2	1	120	123	127
	2	1,99	2,01	2,03	460	550	650	1	1	0	116	116	111
	3	1,99	2,01	2,03	550	560	700	1	1	0	118	121	124
	4	2,01	2,02	2,03	520	530	650	2	2	1	119	120	115
14	1	2,02	2,03	2,04	430	430	570	1	0	0	129	132	135
	2	1,99	2,02	2,04	425	475	595	0	0	0	119	121	116
	3	1,99	2,02	2,04	525	495	615	0	0	0	127	130	132
	4	2,02	2,03	2,04	475	500	605	1	0	0	125	126	129
15	1	2,01	2,00	1,99	440	455	570	2	1	0	90	90	95
	2	2,06	1,98	1,95	435	470	600	1	1	0	89	90	96
	3	2,00	1,98	1,95	500	485	600	1	1	0	90	95	85
	4	2,01	2,00	1,99	480	475	600	2	1	0	106	117	121
16	1	2,03	2,04	2,05	470	510	600	1	1	0	145	150	155
	2	2,01	2,02	2,04	460	505	630	1	0	0	130	127	141
	3	2,01	2,02	2,04	515	505	630	1	0	0	140	145	150
	4	2,03	2,04	2,05	510	510	625	1	1	0	141	139	121
17	1	2,01	2,02	2,03	425	495	595	1	1	0	120	123	127
	2	1,99	2,01	2,03	455	500	600	1	0	0	123	115	119
	3	1,99	2,01	2,03	550	560	655	1	0	0	118	121	124
	4	2,01	2,02	2,03	520	530	650	1	1	0	120	119	117
18	1	2,02	2,03	2,04	400	450	550	2	1	1	129	132	135
	2	1,99	2,02	2,04	435	495	605	1	0	0	126	141	129
	3	1,99	2,02	2,04	560	500	615	1	1	0	127	130	132
	4	2,02	2,03	2,04	485	485	600	2	1	1	129	132	141

Tablo 5.10. (Devam) Sinyal seviyelerine göre sıralı deney sonuçları

Deney no	Sinyal	TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
		G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
1	50	2,11	2,00	2,00	2,09	430	460	550	520	90	81	61	97	2	1	1	2
2	60	2,00	1,98	1,98	2,00	500	550	560	530	75	75	95	71	1	1	1	1
3	70	1,92	1,95	1,95	1,99	600	650	700	650	60	55	49	58	0	0	0	0
4	50	2,02	2,01	2,01	2,02	420	445	515	495	70	74	69	76	1	1	1	1
5	60	2,01	1,99	1,99	2,01	470	500	500	500	64	68	67	78	1	0	0	1
6	70	2,00	1,97	1,97	2,11	570	615	635	615	60	82	60	76	0	0	0	0
7	50	2,03	2,02	2,02	2,03	400	435	435	455	165	143	115	138	1	1	1	1
8	60	2,02	2,00	2,00	2,02	450	480	440	435	136	135	129	130	1	0	0	1
9	70	1,95	1,98	1,98	2,01	550	600	580	545	130	120	110	115	0	0	0	0
10	50	2,02	2,01	2,01	2,02	430	455	530	500	80	82	84	87	2	1	1	2
11	60	2,01	1,89	1,99	2,01	480	510	520	520	75	77	75	75	1	1	1	1
12	70	2,00	1,97	1,97	2,00	585	625	650	620	70	81	70	75	1	0	0	1
13	50	2,03	2,01	2,01	2,03	450	450	520	500	145	136	140	154	2	1	1	2
14	60	2,04	2,02	2,02	2,04	500	500	500	515	150	158	145	154	1	1	1	1
15	70	2,05	2,04	2,04	2,05	580	630	635	625	155	156	150	170	0	0	0	0
16	50	2,01	1,99	1,99	2,01	400	445	505	435	120	128	118	106	1	1	1	1
17	60	2,02	2,01	2,01	2,02	480	530	515	490	123	121	121	151	1	0	0	1
18	70	2,03	2,03	2,03	2,13	575	625	565	585	127	123	124	166	0	0	0	0
19	50	2,03	2,01	2,01	2,03	470	455	525	520	145	146	140	167	1	1	1	1
20	60	2,06	2,02	2,02	2,04	510	500	515	520	150	156	145	170	1	0	0	1
21	70	2,05	2,04	2,04	2,05	595	635	640	635	155	145	150	152	0	0	0	0
22	50	2,01	1,99	1,99	1,98	415	450	535	510	120	109	118	131	2	1	1	2
23	60	2,02	2,01	2,01	2,02	490	535	545	510	123	118	121	105	1	1	1	1
24	70	2,09	2,03	2,03	2,03	585	625	555	650	117	124	124	154	1	0	0	1
25	50	2,02	1,99	1,99	2,02	425	435	520	495	129	130	127	142	2	1	1	2
26	60	2,03	2,02	2,02	2,10	460	485	500	515	132	140	130	152	1	1	1	1
27	70	2,04	2,04	2,04	2,14	580	600	625	615	135	138	132	161	0	0	0	0
28	50	2,02	1,98	1,99	2,02	470	450	550	500	129	122	127	143	1	1	1	1
29	60	2,03	2,02	2,02	2,03	470	500	520	525	132	154	130	118	1	0	0	1
30	70	2,04	2,04	2,04	2,04	600	620	640	630	135	132	132	145	0	0	0	0
31	50	2,03	2,01	2,01	2,03	465	450	510	500	145	167	140	172	1	1	1	1
32	60	2,04	2,02	2,02	2,04	505	495	500	500	150	198	145	136	1	0	0	1
33	70	2,05	2,04	2,04	2,05	590	625	625	615	155	162	150	123	0	0	0	0
34	50	2,01	1,99	1,99	2,01	400	435	495	465	120	135	118	127	2	1	1	2
35	60	2,02	2,01	2,01	2,02	480	520	505	470	123	145	121	126	1	0	1	1
36	70	2,03	2,03	2,03	2,03	570	595	510	545	127	118	124	167	1	0	0	1
37	50	2,01	1,99	1,99	2,01	430	460	550	520	120	135	118	150	2	1	1	2
38	60	2,02	2,11	2,01	2,02	500	550	560	530	123	98	121	139	1	1	1	1
39	70	2,03	2,03	2,03	2,03	600	650	700	650	127	118	124	145	0	0	0	0
40	50	2,02	1,99	1,99	2,02	430	425	525	475	129	135	127	132	1	1	1	1
41	60	2,03	2,02	2,02	2,09	430	475	495	500	132	118	130	123	1	0	0	1
42	70	2,04	2,04	2,04	2,04	570	595	615	605	135	120	132	135	0	0	0	0
43	50	2,01	2,04	2,00	2,01	440	435	475	430	90	97	90	102	1	1	1	1
44	60	2,00	1,98	1,98	2,00	495	470	495	455	90	101	95	108	1	0	0	1
45	70	1,99	1,95	1,95	1,99	570	600	560	545	95	108	85	98	0	0	0	0
46	50	2,03	2,01	2,01	2,07	470	460	515	510	145	135	140	137	2	1	1	2
47	60	2,04	2,02	2,02	2,04	510	505	505	510	150	146	145	154	1	0	1	1
48	70	2,05	2,04	2,04	2,05	600	630	630	625	155	149	150	164	1	0	0	1
49	50	2,01	1,93	1,99	2,01	425	455	550	520	120	132	118	121	2	1	1	2
50	60	2,02	2,01	2,01	2,02	495	500	560	530	123	120	121	129	1	1	1	1
51	70	2,03	2,03	2,03	2,01	595	600	655	650	127	121	124	132	0	0	0	0
52	50	2,02	1,99	1,99	2,12	400	435	500	485	129	134	127	123	1	1	1	1
53	60	2,03	2,02	2,02	2,03	450	495	500	485	132	143	130	142	1	0	0	1
54	70	2,04	2,05	2,04	2,04	550	605	615	600	135	123	132	156	0	0	0	0

5.5.6. Kalite kayıplarının hesaplanması

Taguchi dinamik sistemlerinde statik sistemlerde olduğu gibi performans karakteristiği olarak kalite kaybı kullanılır. Statik sistemlerden farklı olarak kalite kaybı Eşitlik (5.3)'teki gibi formüle edilmiştir. Eşitlik (5.4) hata varyansını, Eşitlik (5.5) ise β -eğimini göstermektedir.

$$K_{ij} = k_j \frac{\sigma_{ij}^2}{\beta_{ij}^2} \quad (i=1,\dots,18) \quad (j=1,2,3,4) \quad (5.3)$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ijk} - \beta_{ij} M_j)^2 \quad (5.4)$$

$$\beta_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} M_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_j^2} \quad (5.5)$$

σ_{ij}^2 : i. deneme J. yanıtın hata varyansı

β_{ij} : i. deneme J. yanıtın eğim değeri

Tüm yanıtlar için hesaplanan standart sapma-SS, varyans, eğim ve kalite kayıp değerleri Tablo 5.11'de görülmektedir. Hesaplamalar yapılırken çalışma ekibi ve dört yurt içi, dört yurt dışı müşterisinin görüşleri de alınarak kalite kayıp katsayıları tel çapı için 0,5; mukavemet için 1,0; kaplama miktarı için 1,5 ve yüzey pürüzlülüğü için 2,0 olarak kabul edilmiştir. Tüm yanıtlar kalite kaybı için son derece önemlidir. Ancak üretici firmanın özellikle yüzey pürüzlülüğü yanıtı için en yüksek kalite kayıp katsayısını seçmek istemesi diğer ekip üyeleri tarafından da kabul görmüştür. Çünkü yapılan müşteri yoklamalarında “Galvanizli çelik tel kangalında ilk olarak neye bakarsınız?” sorusuna neredeyse tüm müşteriler seçenekler arasında özellikle son sıraya yerleştirilen “Yüzey pürüzlülüğü” yanıtına cevabını vermişlerdir. Daha sonra sırasıyla kaplama miktarı, mukavemet ve tel çapı yanıtları gelmiştir.

Tablo 5.11. Tüm yanıtlar için hesaplanan SS, σ_e^2 , β_{ij} , K_{ij} değerleri

Rassal sıra	Deney no	TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
		SS	σ_{i1}^2	β_{i1}	K_{i1}	SS	σ_{i2}^2	β_{i2}	K_{i2}	SS	σ_{i3}^2	β_{i3}	K_{i3}	SS	σ_{i4}^2	β_{i4}	K_{i4}
15	1	0,3244	0,1052	0,0326	49,5079	43,3856	1882,3103	9,2818	21,8487	24,3072	590,8399	1,1579	6,60E+02	0,8187	0,6702	0,0123	8,90E+03
8	2	0,2863	0,0819	0,0329	37,9444	39,0179	1522,3965	8,6909	15,2571	13,0624	170,6263	1,1484	1,94E+02	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04
3	3	0,3018	0,0911	0,0328	42,5514	33,3730	1113,7571	8,0409	17,2257	29,9072	894,4406	2,1159	2,99E+02	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04
7	4	0,2951	0,0871	0,0326	41,0802	38,8943	1512,7666	8,8898	19,1422	15,2511	232,5960	1,2611	2,19E+02	0,7065	0,4992	0,0155	4,18E+03
18	5	0,2757	0,0260	0,0333	11,7207	36,3085	1318,3072	8,8591	16,7973	16,7687	281,1893	2,4850	6,80E+01	0,8187	0,6702	0,0123	8,90E+03
4	6	0,2632	0,0693	0,0332	31,4818	32,3902	1049,1251	8,5148	14,4704	17,7712	315,8156	2,0991	1,07E+02	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04
5	7	0,2761	0,0762	0,0333	34,6409	37,9511	1440,2859	9,0125	17,7320	22,8311	521,2591	2,4841	1,26E+02	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04
9	8	0,2625	0,0689	0,0331	31,6147	45,2969	2051,8092	8,8489	26,2037	17,1639	294,5995	2,0057	1,09E+02	0,7065	0,4992	0,0155	4,18E+03
17	9	0,2639	0,0696	0,0334	31,3604	40,2148	1617,2301	8,6534	21,5972	17,9759	323,1329	2,2559	9,50E+01	0,8187	0,6702	0,0123	8,90E+03
10	10	0,2692	0,0725	0,0331	32,9500	43,6981	1909,5239	8,9477	23,8506	18,9928	360,7265	2,1857	1,13E+02	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04
6	11	0,2757	0,0760	0,0333	32,2432	34,6824	1202,8689	8,8205	15,4609	31,6511	1001,7921	2,5055	2,39E+02	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04
1	12	0,2712	0,0736	0,0330	33,7385	40,1875	1615,0352	8,2648	23,6439	19,8159	392,6699	2,1232	1,30E+02	0,7546	0,5694	0,0141	5,74E+03
13	13	0,2737	0,0749	0,0331	34,0591	43,3856	1882,3103	9,2818	21,8487	23,4226	548,6182	2,0679	1,92E+02	0,8187	0,6702	0,0123	8,90E+03
2	14	0,2717	0,0738	0,0332	33,5636	44,3108	1963,4470	8,4932	27,2194	19,1904	368,2715	2,1107	1,23E+02	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04
16	15	0,2999	0,0899	0,0326	42,4387	29,5796	874,95274	8,2534	15,1832	14,7550	217,7100	1,5821	1,30E+02	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04
11	16	0,2808	0,0788	0,0333	35,5045	45,4941	1214,3622	8,9432	15,1824	15,1259	228,7929	2,4275	5,80E+01	0,7546	0,5694	0,0141	5,74E+03
12	17	0,2668	0,0712	0,0329	32,9537	39,3257	2069,7131	9,0364	25,3468	16,7463	280,4386	2,0321	1,01E+02	0,8187	0,6702	0,0123	8,90E+03
14	18	0,2829	0,0800	0,0333	36,0496	43,3856	1546,5107	8,4705	21,5546	17,6577	311,7935	2,1975	9,60E+01	0,5778	0,3339	0,0073	1,26E+04

5.5.7. Kalite kayıplarının normalize edilmesi

Her bir yanıtın kontrol faktörlerinin ayarlarına bağlı olarak hesaplanan kalite kayıp değerleri normalizasyon işlemine tabi tutulur. Farklı ölçüm birimlerine sahip olan birden fazla seçeneğin aynı anda değerlendirilmesini sağlamak için ya tüm alternatifler ikili karşılaştırma işlemine tabi tutulmalı ya da normalizasyon yapılarak yanıtlar birimlerinden arındırılmalıdır. Çok ölçütlü karar verme tekniklerinde olduğu gibi çalışmamızdaki çok yanıtlı dinamik tasarım probleminde uygulama kolaylığı açısından lineer normalizasyon işlemi kullanılmıştır. Çalışmada her bir kalite kayıp değeri, ilgili yanıt kalite kayıplarının en büyük olanına bölünerek normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyon formülasyonu Eşitlik (5.6)'da görülmektedir.

$$NK_{ij} = \frac{K_{ij}}{K_j^*} \quad (i=1,\dots,18) \quad (J=1,2,3,4) \quad (5.6)$$

NK_{ij} : i. deneme J. yanıt normalize edilmiş kalite kayıp değeri

K_j^* : J. yanıtın tüm denemelerdeki en büyük kalite kayıp değeri

Normalize edilen kalite kayıpları Tablo 5.12'de görülmektedir.

Tablo 5.12. Normalize edilmiş kalite kayıpları

Rassal Sıra	Deney No	TEL ÇAPI		MUKAVEMET		KAPLAMA MİK.		YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	
		K_{i1}	NK_{i1}	K_{i2}	NK_{i2}	K_{i3}	NK_{i3}	K_{i4}	NK_{i4}
15	1	49,50789	1,00000	21,84867	0,80269	660	1,00000	8899	0,70487
8	2	37,94444	0,76335	15,25708	0,56052	194	0,29394	12625	1,00000
3	3	42,55140	0,85949	17,22572	0,65738	299	0,45303	12625	1,00000
7	4	41,08019	0,82977	19,14216	0,70325	219	0,33182	4179	0,33101
18	5	11,72072	0,23674	16,79726	0,61710	68	0,10303	8899	0,70487
4	6	31,48182	0,63590	14,47043	0,53162	107	0,16212	12625	1,00000
5	7	34,64091	0,69970	17,73202	0,65144	126	0,19091	12625	1,00000
9	8	31,61468	0,63858	26,20368	0,96268	109	0,16515	4179	0,33101
17	9	31,36036	0,63351	21,59719	0,79344	95	0,14394	8899	0,70487
10	10	32,95000	0,66555	23,85060	0,87623	113	0,17121	12625	1,00000
6	11	32,24324	0,65127	15,46097	0,56801	239	0,36212	12625	1,00000
1	12	33,73853	0,68148	23,64397	0,86864	130	0,19697	5735	0,45426
13	13	34,05909	0,68797	21,84867	0,80269	192	0,29091	8899	0,70487
2	14	33,56364	0,67795	27,21940	1,00000	123	0,18636	12625	1,00000
16	15	42,43868	0,85721	15,18323	0,55781	130	0,19697	12625	1,00000
11	16	35,50451	0,71715	15,18243	0,55778	58	0,08788	5735	0,45426
12	17	32,95370	0,66562	25,34680	0,93120	101	0,15303	8899	0,70487
14	18	36,04955	0,72816	21,55460	0,79188	96	0,14545	12625	1,00000

5.5.8. Toplam kalite kaybının hesaplanması

Her faktör seviyesi için hesaplanan ve normalleştirilen kalite kayıpları tüm yanıtlar için ortak bir değerlendirme imkânı sağlaması amacıyla toplam kalite kaybına dönüştürülür. Bunun için yanıtların birbirine göre önem sıralaması Analitik Hiyerarşi Prosesi'ne (AHP) göre belirlenmiştir. Önem sıralaması belirlenirken müşterinin yani Taguchi'ye göre toplumun içindeki kullanıcıların görüşleri belirli ölçütlere verdikleri ağırlıklarla değerlendirilmiştir. Normalleştirilen kalite kayıpları hesaplandıktan sonra AHP ile bulunan tüm yanıtlara ilişkin ağırlık değerleri ve normalleştirilen kayıp değerleri çarpılarak toplamı alınır. Bu şekilde her bir deney için toplam kalite kayıpları (TKK) hesaplanmış olur. Eşitlik (5.7)'de her faktör kombinasyonu için kullanılacak TKK formülü görülmektedir. Tablo 5.13'te TKK değerleri tüm denemeler için hesaplanmıştır.

$$TKK_i = \sum_{j=1}^m \sum_{J=1}^Y w_J NK_{iJ} \quad (i=1, \dots, 18) \quad (j=1, 2, 3, 4) \quad (5.7)$$

TKK_i = i. denemenin toplam kalite kaybı

w_J = J. yanıt ağırlık değeri olup $\sum_{J=1}^4 w_J = 1$ ($w_1=0,189$; $w_2=0,356$; $w_3=0,248$; $w_4=0,217$)

Tablo 5.13. Toplam normalleştirilen kalite kayıpları

Deney No	TEL ÇAPI	MUKAVEMET	KAPLAMA MİKTARI	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	TÜM YANITLAR
	NK_{i1}	NK_{i2}	NK_{i3}	NK_{i4}	TKK_i
1	1,00000	0,80269	1,00000	0,70487	0,87501
2	0,76335	0,56052	0,29394	1,00000	0,63272
3	0,85949	0,65738	0,45303	1,00000	0,72482
4	0,82977	0,70325	0,33182	0,33101	0,56097
5	0,23674	0,61710	0,10303	0,70487	0,44223
6	0,63590	0,53162	0,16212	1,00000	0,63446
7	0,69970	0,65144	0,19091	1,00000	0,62750
8	0,63858	0,96268	0,16515	0,33101	0,57586
9	0,63351	0,79344	0,14394	0,70487	0,59015
10	0,66555	0,87623	0,17121	1,00000	0,69619
11	0,65127	0,56801	0,36212	1,00000	0,63111
12	0,68148	0,86864	0,19697	0,45426	0,58500
13	0,68797	0,80269	0,29091	0,70487	0,64018
14	0,67795	1,00000	0,18636	1,00000	0,74635
15	0,85721	0,55781	0,19697	1,00000	0,62544
16	0,71715	0,55778	0,08788	0,45426	0,45403
17	0,66562	0,93120	0,15303	0,70487	0,64751
18	0,72816	0,79188	0,14545	1,00000	0,67160

5.5.9. DÇYS/G oranının hesaplanması

Performans ölçüsü olarak kullanılan TKK hesaplandıktan sonra her bir faktör-seviye birleşimi için performans istatistiği olan dinamik çok yanıtı sinyal gürültü (DÇYS/G) oranı hesaplanır. Her bir faktör-seviye kombinasyonu için DÇYS/G oranının hesaplanması amacıyla Eşitlik (5.8) kullanılır. DÇYS/G oranı verileri Tablo 5.14’te görülmektedir.

$$DÇYS G_i = -10 \log_{10}(TKK_i) \quad (5.8)$$

$DÇYS G_i = i$. deneme DÇYS/G oranı ($i=1,2,\dots,18$)

Tablo 5.14. DÇYS/G oranları, eğim ve standart sapma değerleri

Deney No	TEL ÇAPI		MUKAVEMET		KAPLAMA MİK.		YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ		TÜM YANITLAR	
	β_{i1}	SS_{i1}	β_{i2}	SS_{i2}	β_{i3}	SS_{i3}	β_{i4}	SS_{i4}	TKK_i	$DÇYS G_i$
1	0,03260	0,32440	9,28182	43,3856	1,15795	24,3072	0,0122727	0,818687	0,87501	0,57987
2	0,03288	0,28630	8,69091	39,0179	1,14841	13,0624	0,0072727	0,577827	0,63272	1,98788
3	0,03277	0,30176	8,04091	33,3730	2,11591	29,9072	0,0072727	0,577827	0,72482	1,39770
4	0,03256	0,29512	8,88977	38,8943	1,26114	15,2511	0,0154545	0,706522	0,56097	2,51060
5	0,03327	0,27572	8,85909	36,3085	2,48500	16,7687	0,0122727	0,818687	0,44223	3,54352
6	0,03316	0,26318	8,51477	32,3902	2,09909	17,7712	0,0072727	0,577827	0,63446	1,97596
7	0,03330	0,27607	9,01250	37,9511	2,48409	22,8311	0,0072727	0,577827	0,62750	2,02386
8	0,03306	0,26253	8,84886	45,2969	2,00568	17,1639	0,0154545	0,706522	0,57586	2,39683
9	0,03340	0,26386	8,65341	40,2148	2,25591	17,9759	0,0122727	0,818687	0,59015	2,29038
10	0,03313	0,26924	8,94773	43,6981	2,18568	18,9928	0,0072727	0,577827	0,69619	1,57272
11	0,03327	0,27572	8,82045	34,6824	2,50545	31,6511	0,0072727	0,577827	0,63111	1,99895
12	0,03300	0,27119	8,26477	40,1875	2,12318	19,8159	0,0140909	0,754600	0,58500	2,32844
13	0,03314	0,27373	9,28182	43,3856	2,06795	23,4226	0,0122727	0,818687	0,64018	1,93698
14	0,03322	0,27173	8,49318	44,3108	2,11068	19,1904	0,0072727	0,577827	0,74635	1,27057
15	0,03255	0,29995	8,25341	29,5796	1,58205	14,7550	0,0072727	0,577827	0,62544	2,03814
16	0,03331	0,28076	8,94318	45,4941	2,42750	15,1259	0,0140909	0,754600	0,45403	3,24915
17	0,03290	0,26679	9,03636	39,3257	2,03205	16,7463	0,0122727	0,818687	0,64751	1,88754
18	0,03327	0,28289	8,47045	43,3856	2,19750	17,6577	0,0072727	0,577827	0,67160	1,72889

5.5.10. En iyi faktör/seviye birleşiminin belirlenmesi

Her bir deneme için elde edilen performans istatistiği DÇYS/G oranı değerlerine göre tüm faktörlerin seviye birleşimleri ayrı ayrı hesaplanmalıdır. DÇYS/G oranının en büyükleşmesini sağlayan faktör seviye birleşimi güçlü tasarım ayarlaması için gerekli olan veridir. Sinyal gürültü oranının en büyük değeri kalite kaybının en düşük olduğu değere karşılık gelmektedir. Tablo 5.15’te yer alan $DÇYS G_i$ değerleri kullanılarak her bir faktörün her bir seviyesine karşılık gelen DÇYS/G oranı değerleri hesaplanmalıdır. Her faktör seviyesine karşılık gelen S/G oranları toplanarak seviye deneme sayısına bölünür. Ham madde girdi mukavemeti olan A faktörü için 1., 2. ve 3. seviye değerlerinin hesaplanması örnek olarak gösterilmiştir.

$$A_1=(0,57987+1,98788+1,3977+1,57272+1,99895+2,32844)/6=1,64426$$

$$A_2=(2,5106+3,54352+1,97596+1,93698+1,27057+2,03814)/6=2,21263$$

$$A_3=(2,02386+2,39683+2,29038+3,24915+1,88754+1,72889)/6=2,26278$$

Tablo 5.15. Deneyler ve faktörlere karşılık gelen β ve DÇYS/G oranları

Deney No	FAKTÖRLER										YANITLAR				DÇYSG _i
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	β_{i1}	β_{i2}	β_{i3}	β_{i4}	DÇYSG _i
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,03260	9,28182	1,15795	0,0122727	0,57987
2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	0,03288	8,69091	1,14841	0,0072727	1,98788
3	1	3	3	3	3	1	2	1	2	2	0,03277	8,04091	2,11591	0,0072727	1,39770
4	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	0,03256	8,88977	1,26114	0,0154545	2,51060
5	2	2	3	3	1	1	1	2	1	1	0,03327	8,85909	2,48500	0,0122727	3,54352
6	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1	0,03316	8,51477	2,09909	0,0072727	1,97596
7	3	1	1	3	2	1	1	2	2	2	0,03330	9,01250	2,48409	0,0072727	2,02386
8	3	2	2	1	3	1	1	2	2	2	0,03306	8,84886	2,00568	0,0154545	2,39683
9	3	3	3	2	1	1	2	2	2	2	0,03340	8,65341	2,25591	0,0122727	2,29038
10	1	1	3	2	2	2	2	2	1	2	0,03313	8,94773	2,18568	0,0072727	1,57272
11	1	2	1	3	3	2	2	2	1	2	0,03327	8,82045	2,50545	0,0072727	1,99895
12	1	3	2	1	1	2	2	2	1	2	0,03300	8,26477	2,12318	0,0140909	2,32844
13	2	1	3	1	3	2	2	2	2	1	0,03314	9,28182	2,06795	0,0122727	1,93698
14	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	0,03322	8,49318	2,11068	0,0072727	1,27057
15	2	3	2	3	2	2	1	1	1	2	0,03255	8,25341	1,58205	0,0072727	2,03814
16	3	1	2	3	1	2	2	2	1	2	0,03331	8,94318	2,42750	0,0140909	3,24915
17	3	2	3	1	2	2	2	2	2	1	0,03290	9,03636	2,03205	0,0122727	1,88754
18	3	3	1	2	3	2	1	1	2	1	0,03327	8,47045	2,19750	0,0072727	1,72889

Faktörlerin DÇYS/G oranı üzerindeki ana etkileri ve eğim değerleri Tablo 5.15'te görülmektedir. Tablo 5.16'da ise faktör seviyeleri arasındaki farkın büyükten küçüğe doğru sıralaması yapılmıştır. DÇYS/G oranı girdi sinyali ve sisteme dâhil edilen gürültü arasındaki orandır. Sistemdeki gürültüye karşılık girdi sinyali enerji dönüşüm ilkesine dayalı olarak ne kadar büyükse sistem gürültüye karşı o kadar duyarsızdır. Taguchi bu durumu robust yani güçlü tasarım ilkesi olarak açıklamaktadır.

Dinamik özellik gösteren sistemler için ideal kalite girdi sinyal değeri ile çıktı yanıtı arasındaki ideal ilişkiyi ele alır ve oluşacak kalite kaybı bu ilişkiden sapmalara neden olur. Galvanizli tel hattında tel geçiş hızı arttıkça mukavemet doğrusal olarak azalmaktadır. Tel çapı ve kaplama miktarı yanıtlarında ise çinkonun yüzeyde tutunma oranı azaldığından girdi sinyali ile çıktı yanıtları arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Çalışmada seçilen dört yanıtın birlikte en iyilenmesi için önerilen prosedürde DÇYS/G oranı performans istatistiği olarak faktör seviyelerine dağıtılarak değerlendirilmektedir.

Tablo 5.16. Faktör seviyelerine göre DÇYS/G oranı ana etkileri

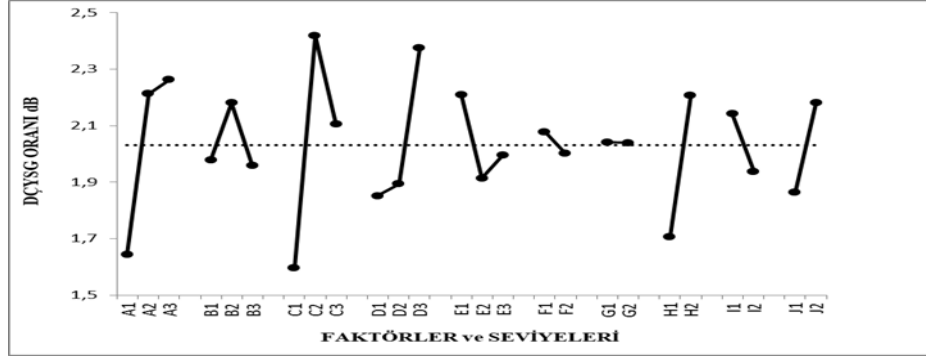
DÇYS/G Oranı Üzerindeki Ana Etkiler					
FAKTÖR SEVİYELERİ					
FAKTÖR ADI	FAKTÖRLER	SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min
Ham madde Girdi Mukavemeti	A	1,64426	2,21263	<u>2,26278</u>	0,61852
Tav Fırın Sıcaklığı	B	1,97880	<u>2,18088</u>	1,95992	0,22096
Ergimiş Metal Sıcaklığı	C	1,59635	<u>2,41851</u>	2,10538	0,50903
Tel Dalma Boyu	D	1,85094	1,89351	<u>2,37522</u>	0,52428
Flux Ölçüm Sıklığı	E	<u>2,21032</u>	1,91435	1,99499	0,21533
Verici Tipi	F	<u>2,07851</u>	2,00126		0,07725
Sarıcı Tipi	G	<u>2,04101</u>	2,03917		0,00180
Çinko Sıyırma Türü	H	1,70718	<u>2,20624</u>		0,49906
Kazan Türü	I	<u>2,14163</u>	1,93815		0,20348
Ocak İzolasyonu	J	1,86394	<u>2,18068</u>		0,31678

Çalışma yapılan tesiste dört yanıtın tek bir yanıt değerine dönüştürüldüğü DÇYS/G oranı ne kadar yüksek ise sistem o derece sağlamdır. Sisteme dâhil edilen toplam on adet faktörün her bir seviyesi için DÇYS/G oranlarının ana etkilerinin sıralı dağılım değerleri Tablo 5.17’de görülmektedir.

Tablo 5.17. Faktör seviyelerine göre sıralı DÇYS/G oranı ana etkileri

DÇYS/G Oranı Üzerindeki Ana Etkiler					
FAKTÖR SEVİYELERİ					
FAKTÖR ADI	FAKTÖRLER	SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE 3	Max-Min
Ham madde Girdi Mukavemeti	A	1,64426	2,21263	<u>2,26278</u>	0,61852
Tel Dalma Boyu	D	1,85094	1,89351	<u>2,37522</u>	0,52428
Ergimiş Metal Sıcaklığı	C	1,59635	<u>2,41851</u>	2,10538	0,50903
Çinko Sıyırma Türü	H	1,70718	<u>2,20624</u>		0,49906
Ocak İzolasyonu	J	1,86394	<u>2,18068</u>		0,31678
Tav Fırın Sıcaklığı	B	1,97880	<u>2,18088</u>	1,95992	0,22096
Flux Ölçüm Sıklığı	E	<u>2,21032</u>	1,91435	1,99499	0,21533
Kazan Türü	I	<u>2,14163</u>	1,93815		0,20348
Verici Tipi	F	<u>2,07851</u>	2,00126		0,07725
Sarıcı Tipi	G	<u>2,04101</u>	2,03917		0,00180

Her bir faktör için en yüksek performans istatistiği değerine (DÇYS/G oranı) sahip olan seviye o faktör için en iyi seviye olarak kabul edilmektedir. Bu durumda en iyi faktör / seviye birleşimi $A_3B_2C_2D_3E_1F_1G_1H_2I_1J_2$ olarak belirlenir. Sıralamalarda en büyük sinyal / gürültü oranı ile en küçük sinyal / gürültü oranı arasındaki farklara bakıldığında tüm yanıtlar üzerinde en etkili faktör 0,61852 dB değeri ile hammadde girdi mukavemetidir. Sarıcı tipi, 0,0018 dB değeri ile tüm yanıtlar üzerinde etkisi en az olan faktördür. Faktör seviyelerine göre her bir faktörün DÇYS/G oranı üzerindeki ana etkileri Şekil 5.9’da görülmektedir.



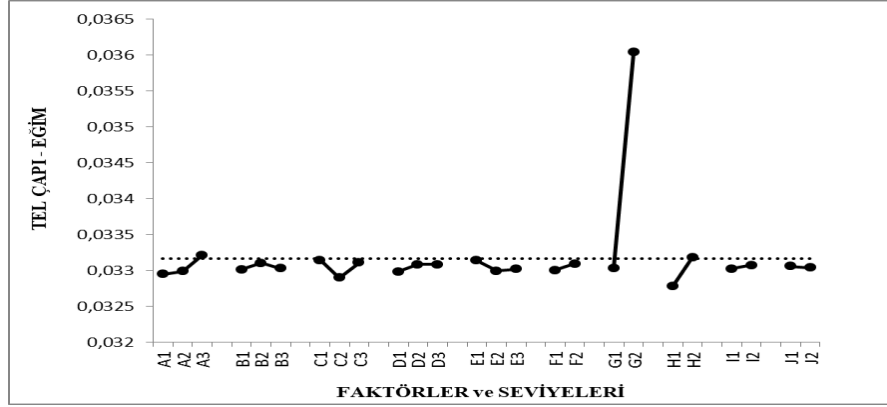
Şekil 5.14. Faktörlerin DÇYS/G oranı üzerindeki ana etkileri

A, C, D, H ve J faktörleri çoklu yanıt değeri üzerinde çok daha yüksek bir etkiye sahiptir. Şekil 5.14'te görüleceği üzere A faktörünün 1. seviyesinin etkisi 1,65 iken 3. seviyesinin etkisi 2,26 dB ile daha yüksektir. DÇYS/G oranı üzerindeki etkisi önemli olmayan faktörlerden G faktörünün 1. seviyesi 2,03917 dB olarak ölçülürken 2. seviyesinin DÇYS/G oranı üzerindeki etkisi 2,04101 dB olup birbirine çok yakın değerlerdir. G faktörünün 1. ya da 2. seviyede değerlendirilmesinin yanıtlar üzerinde çok büyük bir etkisinin olmadığı kolayca görülmektedir.

Tablo 5.18. Faktörlerin tel çapı β -eğimi üzerindeki etkileri

Faktörler	Tel Çapı β-Eğimi Üzerindeki Etkileri				Faktörler	Tel Çapı β-Eğimi Üzerindeki Etkileri			
						SIRALI			
	FAKTÖR SEVİYELERİ					FAKTÖR SEVİYELERİ			
	SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min		SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min
A	0,032942	0,032983	<u>0,033207</u>	0,000265	G	0,033030	<u>0,036044</u>		0,003014
B	0,033007	<u>0,033100</u>	0,033025	0,000093	H	0,032772	<u>0,033180</u>		0,000408
C	<u>0,033140</u>	0,032893	0,033102	0,000247	A	0,032942	0,032983	<u>0,033207</u>	0,000265
D	0,032977	0,033077	<u>0,033078</u>	0,000101	C	<u>0,033140</u>	0,032893	0,033102	0,000247
E	<u>0,033133</u>	0,032987	0,033012	0,000146	E	<u>0,033133</u>	0,032987	0,033012	0,000146
F	0,033000	<u>0,033088</u>		0,000088	D	0,032977	0,033077	<u>0,033078</u>	0,000101
G	0,033030	<u>0,036044</u>		0,003014	B	0,033007	<u>0,033100</u>	0,033025	0,000093
H	0,032772	<u>0,033180</u>		0,000408	F	0,033000	<u>0,033088</u>		0,000088
I	0,033019	<u>0,033069</u>		0,000005	J	<u>0,033055</u>	0,033035		0,000020
J	<u>0,033055</u>	0,033035		0,000020	I	0,033019	<u>0,033069</u>		0,000005

Kontrol edilebilen faktörlerin tel çapı yanıtına ait eğim (hassasiyet) değerleri üzerindeki ana etkileri Tablo 5.18 ve Şekil 5.15'te görüldüğü gibi G faktörü, eğim üzerinde en büyük etkiye sahiptir. I faktörünün ise tel çapı eğim değeri üzerindeki etkisinin en düşük seviyede olduğu görülmektedir. Sadece tel çapı yanıtı ele alındığında S/G oranı düşük, eğim değeri yüksek olduğu için G faktörü ayarlama faktörü olarak kullanılabilir. Ancak çok yanıtlı dinamik sistemlerde tüm yanıtların aynı anda eniyilenmesi çalışmada önerilen prosedüre göre eğim değerlerindeki toplam iyileşme yüzdeleri dikkate alınmıştır.

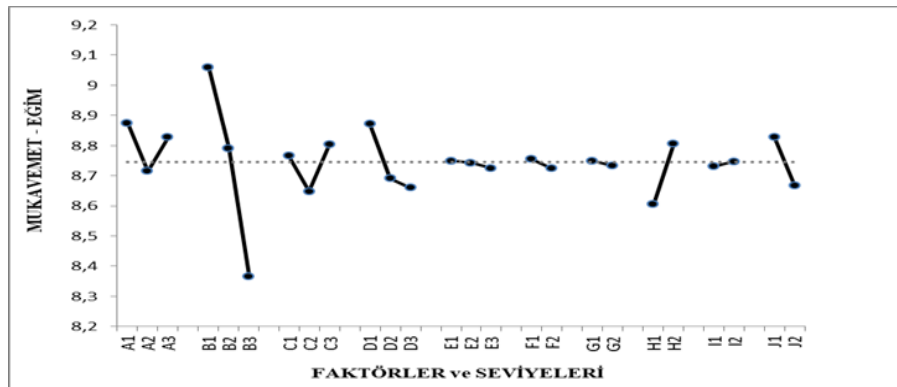


Şekil 5.15. Faktörlerin tel çapı β -eğimi üzerindeki etkileri

Mukavemet yanıtı için eğim değerlerinin faktörlere ve seviyelerine göre değerlendirilmesinde Tablo 5.19 ve Şekil 5.16 incelendiğinde B, D, H ve J faktörleri en yüksek etkiye sahiptir. Mukavemet yanıtının eğimi üzerinde en düşük etkiye sahip olan faktör 0, 015746 dB fark değeri ile G faktörüdür.

Tablo 5.19. Faktörlerin mukavemet β -eğimi üzerindeki etkileri

Faktörler	Mukavemet β -Eğimi Üzerindeki Etkileri				Faktörler	Mukavemet β -Eğimi Üzerindeki Etkileri			
						SIRALI			
	FAKTÖR SEVİYELERİ					FAKTÖR SEVİYELERİ			
	SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min		SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min
A	<u>8,874432</u>	8,715340	8,827460	0,159092	B	<u>9,059470</u>	8,791475	8,366287	0,693183
B	<u>9,059470</u>	8,791475	8,366287	0,693183	D	<u>8,871400</u>	8,690908	8,659922	0,211468
C	8,765528	8,648483	<u>8,803220</u>	0,154737	H	8,604545	<u>8,806343</u>		0,201798
D	<u>8,871400</u>	8,690908	8,659922	0,211468	J	<u>8,828550</u>	8,667499		0,161051
E	<u>8,749242</u>	8,742813	8,725373	0,023869	A	<u>8,874432</u>	8,715340	8,827460	0,159092
F	<u>8,754691</u>	8,723483		0,031208	C	8,765528	8,648483	<u>8,803220</u>	0,154737
G	<u>8,748700</u>	8,732954		0,015746	F	<u>8,754691</u>	8,723483		0,031208
H	8,604545	<u>8,806343</u>		0,201798	E	<u>8,749242</u>	8,742813	8,725373	0,023869
I	8,730681	<u>8,747473</u>		0,016792	I	8,730681	<u>8,747473</u>		0,016792
J	<u>8,828550</u>	8,667499		0,161051	G	<u>8,748700</u>	8,732954		0,015746

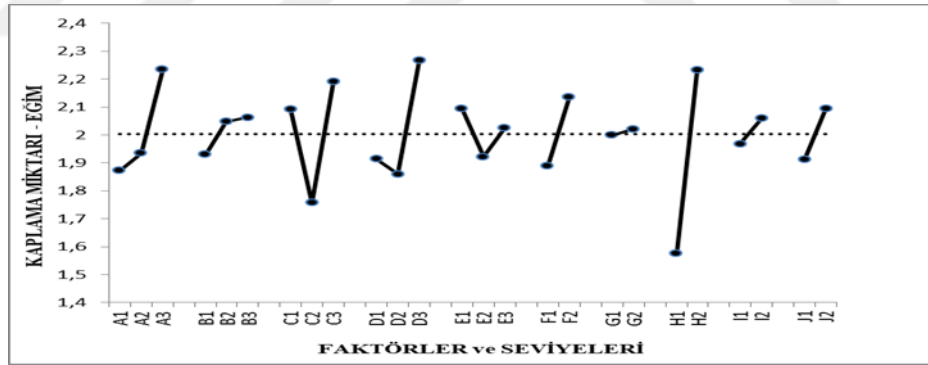


Şekil 5.16. Faktörlerin mukavemet β -eğimi üzerindeki etkileri

Kaplama miktarı yanıtının eğim ölçüm değerleri Tablo 5.20 ve Şekil 5.17’de görülmektedir. Sıralı tablo değerlerine göre H, C, D, A ve F faktörlerinin en yüksek ve en düşük seviyeleri arasındaki farklar belirgin bir şekilde fazladır. H faktörünün maksimum ve minimum seviyelerinin eğim değerleri arasındaki fark 0,654695 dB ile en yüksek seviyededir. G ve I faktör seviyelerinin eğim değerleri arasındaki fark sırasıyla 0,021503 dB ve 0,090733 dB ile en düşük seviyededir.

Tablo 5.20. Faktörlerin kaplama miktarı β -eğimi üzerindeki etkileri

Faktörler	Kaplama Miktarı β -Eğimi Üzerindeki Etkileri				Faktörler	Kaplama Miktar β -Eğimi Üzerindeki Etkileri SIRALI			
	FAKTÖR SEVİYELERİ					FAKTÖR SEVİYELERİ			
	SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min		SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min
A	1,872760	1,934318	<u>2,233788</u>	0,361028	H	1,577160	<u>2,231855</u>		0,654695
B	1,930718	2,047878	<u>2,062273</u>	0,131555	C	2,092460	1,757998	<u>2,190417</u>	0,432419
C	2,092460	1,757998	<u>2,190417</u>	0,432419	D	1,914317	1,859887	<u>2,266667</u>	0,406780
D	1,914317	1,859887	<u>2,266667</u>	0,406780	A	1,872760	1,934318	<u>2,233788</u>	0,361028
E	<u>2,093370</u>	1,921895	2,025605	0,171475	F	1,890353	<u>2,136893</u>		0,246540
F	1,890353	<u>2,136893</u>		0,246540	J	1,912329	<u>2,094659</u>		0,182330
G	1,999757	<u>2,021260</u>		0,021503	E	<u>2,093370</u>	1,921895	2,025605	0,171475
H	1,577160	<u>2,231855</u>		0,654695	B	1,930718	2,047878	<u>2,062273</u>	0,131555
I	1,968257	<u>2,058990</u>		0,090733	I	1,968257	<u>2,058990</u>		0,090733
J	1,912329	<u>2,094659</u>		0,182330	G	1,999757	<u>2,021260</u>		0,021503



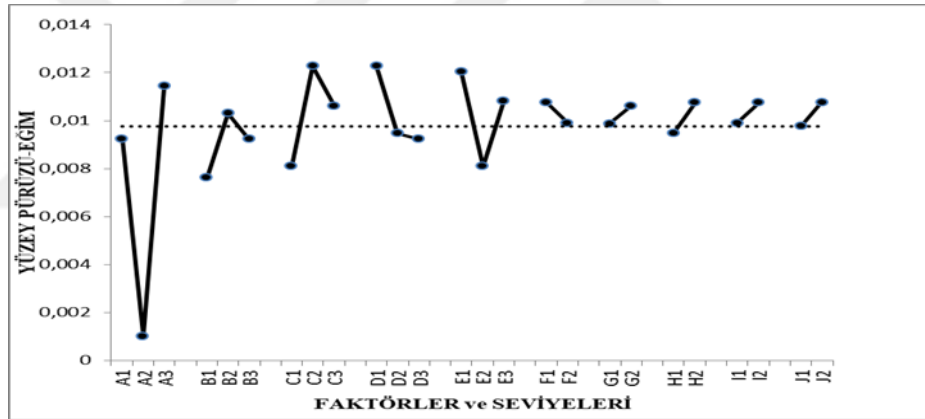
Şekil 5.17. Faktörlerin kaplama miktarı β -eğimi üzerindeki etkileri

Tablo 5.21 ve Şekil 5.18’te faktörlerin yüzey pürüzlülüğü yanıtı eğim değerleri üzerindeki etkileri incelendiğinde A, C, E ve D faktörlerinin etkisi diğer faktörlerden daha yüksektir. En yüksek etkiye sahip faktör en yüksek ve en düşük seviye farkı 0,010409 dB ile A faktörüdür. 0,00075 dB seviye farkıyla G faktörünün etkisi en düşük seviyededir. Eğim, tek yanıtı dinamik problemlerde girdi sinyal değerleri ile çıktı yanıt değerleri arasındaki doğrusal ilişkinin ifadesidir. Tek yanıtı problemlerde eğimin istenen değerlere getirilmesi için S/G oranı üzerinde herhangi bir etkisi olmayan ancak β eğimi üzerinde büyük etkisi olan faktörler belirlenir ve ayarlama

faktörü olarak adlandırılan bu faktörlerin seviyeleri değiştirilerek fonksiyon hedef eğime kaydırılır. Çok yanıtlı problemlerde ise tek bir fonksiyon tanımlanması söz konusu olmadığı için eğim değerlerindeki iyileşme oranları kullanılmıştır.

Tablo 5.21. Faktörlerin yüzey pürüzlülüğü β -eğimi üzerindeki etkileri

Faktörler	Yüzey Pürüz. β -Eğimi Üzerindeki Etkileri				Faktörler	Yüzey Pürüz. β -Eğimi Üzerindeki Etkileri			
						SIRALI			
	FAKTÖR SEVİYELERİ					FAKTÖR SEVİYELERİ			
	SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min		SEVİYE1	SEVİYE2	SEVİYE3	Max-Min
A	0,009242	0,001030	<u>0,011439</u>	0,010409	A	0,009242	0,001030	<u>0,011439</u>	0,010409
B	0,007626	<u>0,010303</u>	0,009242	0,002677	C	0,008106	<u>0,012273</u>	0,010606	0,004167
C	0,008106	<u>0,012273</u>	0,010606	0,004167	E	<u>0,012045</u>	0,008106	0,010833	0,003939
D	<u>0,012273</u>	0,009470	0,009242	0,003031	D	<u>0,012273</u>	0,009470	0,009242	0,003031
E	<u>0,012045</u>	0,008106	0,010833	0,003939	B	0,007626	<u>0,010303</u>	0,009242	0,002677
F	<u>0,010758</u>	0,009899		0,000859	H	0,009470	<u>0,010758</u>		0,001288
G	0,009870	<u>0,010620</u>		0,000750	J	0,009773	<u>0,010773</u>		0,001000
H	0,009470	<u>0,010758</u>		0,001288	I	0,009899	<u>0,010758</u>		0,000985
I	0,009899	<u>0,010758</u>		0,000985	F	<u>0,010758</u>	0,009899		0,000859
J	0,009773	<u>0,010773</u>		0,001000	G	0,009870	<u>0,010620</u>		0,000750



Şekil 5.18. Faktörlerin yüzey pürüzlülüğü β -eğimi üzerindeki etkileri

5.6. Galvanizleme Tel Hattına VİKOR Metodu Uygulaması

DÇYTY ile elde edilen faktör / seviye birleşiminin en uygun olduğunun kanıtlanması amacıyla başka bir ÇÖKV metodu olan VİKOR metodu 2,00 mm'lik galvanizli tel probleminde uygulanabilir. Karar verme sürecinden elde edilen en iyi alternatiflerin yer aldığı faktör / seviye sıralamasında karar verici çalışma ekibi uzlaşmaya isteklidir. Elde edilen en iyi alternatif faktör / seviye birleşimi sıralamasının içinden en uygun olanına ulaşmak için OD ile oluşturulup yapılan deneylerden elde edilen veri seti (Tablo 5.10) karar matrisi olarak kullanılmıştır. VİKOR analiz adımlarına başlamadan önce kullanılacak ölçütlerin özellikleri belirlenmelidir. Ele alınan probleme ait ölçütlerin özellikleri Tablo 5.22'de görülmektedir.

Tablo 5.22. Çok yanıtlı problemde yanıtların ölçüt özellikleri

FAYDA ÖZELLİKLİ ÖLÇÜTLER	MALİYET ÖZELLİKLİ ÖLÇÜTLER
K ₁ : Tel Çapı	K ₄ : Yüzey Pürüzlülüğü
K ₂ : Mukavemet	
K ₃ : Kaplama Miktarı	

Kriterlerden maliyet özelliğine sahip olanlar “min” ile fayda özelliği taşıyanlar ise “max” ile gösterilecektir. Ölçütlerin göreceli önemleri olan ağırlık değerlerinin dâhil edildiği veri seti Tablo 5.23’te verilmiştir. Taguchi’nin önerdiği güçlü tasarım yöntemlerinde deneylerin yapılması için kullanılan OD’ler tam faktöriyel ve kesirli faktöriyel deney tasarımlarından çok daha az deneme ile faktör etkilerini incelemeye imkân sağlamaktadır. Galvanizleme hattında uygulanan deney tasarımı çalışması ile elde edilen deney sonuçları VİKOR Metodu’nda girdi verisi olarak kullanılmıştır. Dinamik VİKOR karar matrisi olarak adlandırılan matrisin satırları sinyal girdisi olan tel geçiş hızı seviyelerine göre yapılan denemeleri, sütunları ise dört ayrı kalite karakteristiği olan tel çapı, mukavemet, kaplama miktarı ve yüzey pürüzlülüğü yanıtlarının gürültü şartlarında ölçülen deney sonuçlarını göstermektedir. Bölüm 5’te detaylı bir şekilde anlatılan yedi temel VİKOR adımı hazırlanan dinamik VİKOR karar matrisine uygulanmış ve elde edilen en iyi faktör ve seviye birleşimleri değerlendirilmiştir.

1. Adım: Dinamik VİKOR başlangıç karar matrisinin oluşturulması adımıdır. VİKOR karar matrisinde satırlar alternatiflerden sütunlar ise alternatifleri seçmede kullanılacak ölçütlerden oluşmaktadır. Dinamik Taguchi Yöntemi ile elde edilen deney verilerinde mevcut olan farklı faktör seviyelerinin oluşturduğu deney birleşimleri karar matrisinin alternatif satırlarını oluşturmuştur. Gürültü faktör seviyelerinin yer aldığı dış OD deney şartları ise matrisin ölçüt değerlerinin yer aldığı sütunları oluşturmuştur. Her bir alternatif için dış OD’de yer alan gürültü faktörlerinin seviyelerinin birleşiminden oluşan dört adet ölçüt belirlenmiştir. Karar matrisi toplam on altı ölçütten oluşmaktadır. Çok ölçütlü uzlaşık sıralama ve seçimin temelinde kullanılan toplama fonksiyonu Eşitlik (4.41), Bölüm 4’te verilmiştir. Tablo 5.23’te 54 satır 16 sütundan oluşan Dinamik VİKOR karar matrisi verileri görülmektedir. Karar matrisinin DTY deney tasarımında kullanılan OD detayları Ek-D’de verilmiştir.

Tablo 5.23. Ölçüt özellikleri ve ağırlıklarıyla VİKOR'a uyarlanmış veri seti

YANITLAR		TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
W_j		0,189	0,189	0,189	0,189	0,356	0,356	0,356	0,356	0,248	0,248	0,248	0,248	0,217	0,217	0,217	0,217
Y		MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MİN	MİN	MİN	MİN
Deney No	Ölçütler (Sinyal)	Y_{i11}	Y_{i12}	Y_{i13}	Y_{i14}	Y_{i21}	Y_{i22}	Y_{i23}	Y_{i24}	Y_{i31}	Y_{i32}	Y_{i33}	Y_{i34}	Y_{i41}	Y_{i42}	Y_{i43}	Y_{i44}
1	50	2,11	2,00	2,00	2,09	430	460	550	520	90	81	61	97	2	1	1	2
1	60	2,00	1,98	1,98	2,00	500	550	560	530	75	75	95	71	1	1	1	1
1	70	1,92	1,95	1,95	1,99	600	650	700	650	60	55	49	58	0	0	0	0
2	50	2,02	2,01	2,01	2,02	420	445	515	495	70	74	69	76	1	1	1	1
2	60	2,01	1,99	1,99	2,01	470	500	500	500	64	68	67	78	1	0	0	1
2	70	2,00	1,97	1,97	2,11	570	615	635	615	60	82	60	76	0	0	0	0
3	50	2,03	2,02	2,02	2,03	400	435	435	455	165	143	115	138	1	1	1	1
3	60	2,02	2,00	2,00	2,02	450	480	440	435	136	135	129	130	1	0	0	1
3	70	1,95	1,98	1,98	2,01	550	600	580	545	130	120	110	115	0	0	0	0
4	50	2,02	2,01	2,01	2,02	430	455	530	500	80	82	84	87	2	1	1	2
4	60	2,01	1,89	1,99	2,01	480	510	520	520	75	77	75	75	1	1	1	1
4	70	2,00	1,97	1,97	2,00	585	625	650	620	70	81	70	75	1	0	0	1
5	50	2,03	2,01	2,01	2,03	450	450	520	500	145	136	140	154	2	1	1	2
5	60	2,04	2,02	2,02	2,04	500	500	500	515	150	158	145	154	1	1	1	1
5	70	2,05	2,04	2,04	2,05	580	630	635	625	155	156	150	170	0	0	0	0
6	50	2,01	1,99	1,99	2,01	400	445	505	435	120	128	118	106	1	1	1	1
6	60	2,02	2,01	2,01	2,02	480	530	515	490	123	121	121	151	1	0	0	1
6	70	2,03	2,03	2,03	2,13	575	625	565	585	127	123	124	166	0	0	0	0
7	50	2,03	2,01	2,01	2,03	470	455	525	520	145	146	140	167	1	1	1	1
7	60	2,06	2,02	2,02	2,04	510	500	515	520	150	156	145	170	1	0	0	1
7	70	2,05	2,04	2,04	2,05	595	635	640	635	155	145	150	152	0	0	0	0
8	50	2,01	1,99	1,99	1,98	415	450	535	510	120	109	118	131	2	1	1	2
8	60	2,02	2,01	2,01	2,02	490	535	545	510	123	118	121	105	1	1	1	1
8	70	2,09	2,03	2,03	2,03	585	625	555	650	117	124	124	154	1	0	0	1
9	50	2,02	1,99	1,99	2,02	425	435	520	495	129	130	127	142	2	1	1	2
9	60	2,03	2,02	2,02	2,10	460	485	500	515	132	140	130	152	1	1	1	1
9	70	2,04	2,04	2,04	2,14	580	600	625	615	135	138	132	161	0	0	0	0
10	50	2,02	1,98	1,99	2,02	470	450	550	500	129	122	127	143	1	1	1	1
10	60	2,03	2,02	2,02	2,03	470	500	520	525	132	154	130	118	1	0	0	1
10	70	2,04	2,04	2,04	2,04	600	620	640	630	135	132	132	145	0	0	0	0
11	50	2,03	2,01	2,01	2,03	465	450	510	500	145	167	140	172	1	1	1	1
11	60	2,04	2,02	2,02	2,04	505	495	500	500	150	198	145	136	1	0	0	1
11	70	2,05	2,04	2,04	2,05	590	625	625	615	155	162	150	123	0	0	0	0

Tablo 5.23. (Devam) Ölçüt özellikleri ve ağırlıklarıyla VİKOR'a uyarlanmış veri seti

YANITLAR		TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
W_j		0,189	0,189	0,189	0,189	0,356	0,356	0,356	0,356	0,248	0,248	0,248	0,248	0,217	0,217	0,217	0,217
Y		MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MİN	MİN	MİN	MİN
Deney No	Ölçütler (Sinyal)	y_{i11}	y_{i12}	y_{i13}	y_{i14}	y_{i21}	y_{i22}	y_{i23}	y_{i24}	y_{i31}	y_{i32}	y_{i33}	y_{i34}	y_{i41}	y_{i42}	y_{i43}	y_{i44}
12	50	2,01	1,99	1,99	2,01	400	435	495	465	120	135	118	127	2	1	1	2
12	60	2,02	2,01	2,01	2,02	480	520	505	470	123	145	121	126	1	0	1	1
12	70	2,03	2,03	2,03	2,03	570	595	510	545	127	118	124	167	1	0	0	1
13	50	2,01	1,99	1,99	2,01	430	460	550	520	120	135	118	150	2	1	1	2
13	60	2,02	2,11	2,01	2,02	500	550	560	530	123	98	121	139	1	1	1	1
13	70	2,03	2,03	2,03	2,03	600	650	700	650	127	118	124	145	0	0	0	0
14	50	2,02	1,99	1,99	2,02	430	425	525	475	129	135	127	132	1	1	1	1
14	60	2,03	2,02	2,02	2,09	430	475	495	500	132	118	130	123	1	0	0	1
14	70	2,04	2,04	2,04	2,04	570	595	615	605	135	120	132	135	0	0	0	0
15	50	2,01	2,04	2,00	2,01	440	435	475	430	90	97	90	102	1	1	1	1
15	60	2,00	1,98	1,98	2,00	495	470	495	455	90	101	95	108	1	0	0	1
15	70	1,99	1,95	1,95	1,99	570	600	560	545	95	108	85	98	0	0	0	0
16	50	2,03	2,01	2,01	2,07	470	460	515	510	145	135	140	137	2	1	1	2
16	60	2,04	2,02	2,02	2,04	510	505	505	510	150	146	145	154	1	0	1	1
16	70	2,05	2,04	2,04	2,05	600	630	630	625	155	149	150	164	1	0	0	1
17	50	2,01	1,93	1,99	2,01	425	455	550	520	120	132	118	121	2	1	1	2
17	60	2,02	2,01	2,01	2,02	495	500	560	530	123	120	121	129	1	1	1	1
17	70	2,03	2,03	2,03	2,01	595	600	655	650	127	121	124	132	0	0	0	0
18	50	2,02	1,99	1,99	2,12	400	435	500	485	129	134	127	123	1	1	1	1
18	60	2,03	2,02	2,02	2,03	450	495	500	485	132	143	130	142	1	0	0	1
18	70	2,04	2,05	2,04	2,04	550	605	615	600	135	123	132	156	0	0	0	0

$W_j = j.$ yanıtın göreceli ağırlığı ($j=1,2,3,4$), $\sum_{j=1}^4 W_j = 1$

$Y_{ijk} = i.$ deneme $j.$ yanıt $k.$ gürültüdeki deney sonuçları

2. Adım: En iyi ve en kötü ölçüt değerlerinin belirlenmesidir. Deney tasarımı sonucu elde edilen yanıt değerleri VİKOR Metodu'nda ölçüt olarak, sinyal faktörlerine bağlı olarak yapılan 54 adet deney ise alternatif olarak adlandırılmıştır. Ölçüt özelliklerine göre fayda özelliği gösteren tel çapı, mukavemet ve kaplama miktarında en yüksek yanıt değerleri en iyi; en düşük yanıt değerleri ise en kötü olarak seçilir. Maliyet özelliği gösteren yüzey pürüzlülüğünde ise en düşük yanıt değeri en iyi; en yüksek yanıt değeri ise en kötü olarak seçilir. Kriterlerin fayda ve maliyet özelliklerine göre belirlenen en iyi ve en kötü ölçüt değerleri Tablo 5.24'te görülmektedir.
3. Adım: Normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması için lineer normalizasyon işlemi, ölçütlerin en iyi ve en kötü alternatif değerlerine bağlı olarak yapılır. Farklı birimlere sahip ölçütlerin ortak bir değerlendirmeye tabi tutulabilmesi için çok yanıtlı problemlerde tüm ölçütleri tek bir birime indirgemek amacıyla normalizasyon işlemi yapılır. Pek çok normalizasyon metodu vardır. Yapılan bu çalışmada lineer normalizasyon işlemi kullanılmıştır. Birimlerinden arındırılmış N, normalize karar matrisi Tablo 5.25'te görülmektedir.
4. Adım: Tablo 5.26'da A, ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi verilmiştir. Ağırlıklandırmada kullanılan değerler subjektifliği ortadan kaldırmak amacıyla AHP ile hesaplanmıştır. Normalizasyonu yapılmış olan deney sonuçları her bir yanıtta ait olan ağırlık değerleriyle çarpılarak ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilir. AHP ile belirlenen ağırlık değerleri her bir ölçüt / yanıt için sırasıyla 0,189; 0,356; 0,248 ve 0,217 olarak belirlenmiştir.
5. Adım: VİKOR Metodu'nda seçilecek her bir deney koşulunda ortalama grup skorları (S_i) ve en kötü grup skorları (R_i), hesaplanarak yanıtlar iki değere dönüştürülür. Ortalama grup skoru normalize edilmiş ve ağırlıklandırılmış deneylerin yatay olarak toplanması ile elde edilir. En kötü grup skoru hesaplanırken ise normalize edilmiş ve ağırlıklandırılmış deney değerleri arasından o deneye ait en yüksek değer alınır. Alternatiflerin ölçütlere göre değerlendirilmesinde kullanılan S_i ve R_i sıralama ölçütünü belirlemede kullanılır. En büyük grup faydasını S_i değerleri, çoğunluğun kabul ettiği bu değerlere karşıt olan görüştekilerin minimum pişmanlığını ise R_i sonuçları belirleyerek alternatifler sıralanmıştır.

Tablo 5.24. En iyi ve en kötü ölçüt değerlerinin belirlenmesi

YANITLAR		TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
Y		MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MİN	MİN	MİN	MİN
Deney No	Ölçütler (Sinyal)	Y _{i11}	Y _{i12}	Y _{i13}	Y _{i14}	Y _{i21}	Y _{i22}	Y _{i23}	Y _{i24}	Y _{i31}	Y _{i32}	Y _{i33}	Y _{i34}	Y _{i41}	Y _{i42}	Y _{i43}	Y _{i44}
1	50	2,11	2,00	2,00	2,09	430	460	550	520	90	81	61	97	2	1	1	2
1	60	2,00	1,98	1,98	2,00	500	550	560	530	75	75	95	71	1	1	1	1
1	70	1,92	1,95	1,95	1,99	600	650	700	650	60	55	49	58	0	0	0	0
2	50	2,02	2,01	2,01	2,02	420	445	515	495	70	74	69	76	1	1	1	1
2	60	2,01	1,99	1,99	2,01	470	500	500	500	64	68	67	78	1	0	0	1
2	70	2,00	1,97	1,97	2,11	570	615	635	615	60	82	60	76	0	0	0	0
3	50	2,03	2,02	2,02	2,03	400	435	435	455	165	143	115	138	1	1	1	1
3	60	2,02	2,00	2,00	2,02	450	480	440	435	136	135	129	130	1	0	0	1
3	70	1,95	1,98	1,98	2,01	550	600	580	545	130	120	110	115	0	0	0	0
4	50	2,02	2,01	2,01	2,02	430	455	530	500	80	82	84	87	2	1	1	2
4	60	2,01	1,89	1,99	2,01	480	510	520	520	75	77	75	75	1	1	1	1
4	70	2,00	1,97	1,97	2,00	585	625	650	620	70	81	70	75	1	0	0	1
5	50	2,03	2,01	2,01	2,03	450	450	520	500	145	136	140	154	2	1	1	2
5	60	2,04	2,02	2,02	2,04	500	500	500	515	150	158	145	154	1	1	1	1
5	70	2,05	2,04	2,04	2,05	580	630	635	625	155	156	150	170	0	0	0	0
6	50	2,01	1,99	1,99	2,01	400	445	505	435	120	128	118	106	1	1	1	1
6	60	2,02	2,01	2,01	2,02	480	530	515	490	123	121	121	151	1	0	0	1
6	70	2,03	2,03	2,03	2,13	575	625	565	585	127	123	124	166	0	0	0	0
7	50	2,03	2,01	2,01	2,03	470	455	525	520	145	146	140	167	1	1	1	1
7	60	2,06	2,02	2,02	2,04	510	500	515	520	150	156	145	170	1	0	0	1
7	70	2,05	2,04	2,04	2,05	595	635	640	635	155	145	150	152	0	0	0	0
8	50	2,01	1,99	1,99	1,98	415	450	535	510	120	109	118	131	2	1	1	2
8	60	2,02	2,01	2,01	2,02	490	535	545	510	123	118	121	105	1	1	1	1
8	70	2,09	2,03	2,03	2,03	585	625	555	650	117	124	124	154	1	0	0	1
9	50	2,02	1,99	1,99	2,02	425	435	520	495	129	130	127	142	2	1	1	2
9	60	2,03	2,02	2,02	2,10	460	485	500	515	132	140	130	152	1	1	1	1
9	70	2,04	2,04	2,04	2,14	580	600	625	615	135	138	132	161	0	0	0	0
10	50	2,02	1,98	1,99	2,02	470	450	550	500	129	122	127	143	1	1	1	1
10	60	2,03	2,02	2,02	2,03	470	500	520	525	132	154	130	118	1	0	0	1
10	70	2,04	2,04	2,04	2,04	600	620	640	630	135	132	132	145	0	0	0	0

Tablo 5.24. (Devam) En iyi ve en kötü ölçüt değerlerinin belirlenmesi

YANITLAR		TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
	Y	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MİN	MİN	MİN	MİN
Deney No	Ölçütler (Sinyal)	Y _{i11}	Y _{i12}	Y _{i13}	Y _{i14}	Y _{i21}	Y _{i22}	Y _{i23}	Y _{i24}	Y _{i31}	Y _{i32}	Y _{i33}	Y _{i34}	Y _{i41}	Y _{i42}	Y _{i43}	Y _{i44}
11	50	2,03	2,01	2,01	2,03	465	450	510	500	145	167	140	172	1	1	1	1
11	60	2,04	2,02	2,02	2,04	505	495	500	500	150	198	145	136	1	0	0	1
11	70	2,05	2,04	2,04	2,05	590	625	625	615	155	162	150	123	0	0	0	0
12	50	2,01	1,99	1,99	2,01	400	435	495	465	120	135	118	127	2	1	1	2
12	60	2,02	2,01	2,01	2,02	480	520	505	470	123	145	121	126	1	0	1	1
12	70	2,03	2,03	2,03	2,03	570	595	510	545	127	118	124	167	1	0	0	1
13	50	2,01	1,99	1,99	2,01	430	460	550	520	120	135	118	150	2	1	1	2
13	60	2,02	2,11	2,01	2,02	500	550	560	530	123	98	121	139	1	1	1	1
13	70	2,03	2,03	2,03	2,03	600	650	700	650	127	118	124	145	0	0	0	0
14	50	2,02	1,99	1,99	2,02	430	425	525	475	129	135	127	132	1	1	1	1
14	60	2,03	2,02	2,02	2,09	430	475	495	500	132	118	130	123	1	0	0	1
14	70	2,04	2,04	2,04	2,04	570	595	615	605	135	120	132	135	0	0	0	0
15	50	2,01	2,04	2,00	2,01	440	435	475	430	90	97	90	102	1	1	1	1
15	60	2,00	1,98	1,98	2,00	495	470	495	455	90	101	95	108	1	0	0	1
15	70	1,99	1,95	1,95	1,99	570	600	560	545	95	108	85	98	0	0	0	0
16	50	2,03	2,01	2,01	2,07	470	460	515	510	145	135	140	137	2	1	1	2
16	60	2,04	2,02	2,02	2,04	510	505	505	510	150	146	145	154	1	0	1	1
16	70	2,05	2,04	2,04	2,05	600	630	630	625	155	149	150	164	1	0	0	1
17	50	2,01	1,93	1,99	2,01	425	455	550	520	120	132	118	121	2	1	1	2
17	60	2,02	2,01	2,01	2,02	495	500	560	530	123	120	121	129	1	1	1	1
17	70	2,03	2,03	2,03	2,01	595	600	655	650	127	121	124	132	0	0	0	0
18	50	2,02	1,99	1,99	2,12	400	435	500	485	129	134	127	123	1	1	1	1
18	60	2,03	2,02	2,02	2,03	450	495	500	485	132	143	130	142	1	0	0	1
18	70	2,04	2,05	2,04	2,04	550	605	615	600	135	123	132	156	0	0	0	0
fj*		2,11	2,11	2,04	2,14	600,00	650,00	700,00	650,00	165,00	198,00	150,00	172,00	0,00	0,00	0	0
fj-		1,92	1,89	1,95	1,98	400,00	425,00	435,00	430,00	60,00	55,00	49,00	58,00	2,00	1,00	1	2

Tablo 5.25. Normalizasyon matrisi

YANITLAR		TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
N		MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MİN	MİN	MİN	MİN
Deney No	Ölçütler (Sinyal)	n _{i11}	n _{i12}	n _{i13}	n _{i14}	n _{i21}	n _{i22}	n _{i23}	n _{i24}	n _{i31}	n _{i32}	n _{i33}	n _{i34}	n _{i41}	n _{i42}	n _{i43}	n _{i44}
1	50	0,000	0,500	0,444	0,313	0,850	0,844	0,566	0,591	0,714	0,818	0,881	0,658	1,000	1,000	1,000	1,000
1	60	0,579	0,591	0,667	0,875	0,500	0,444	0,528	0,545	0,857	0,860	0,545	0,886	0,500	1,000	1,000	0,500
1	70	1,000	0,727	1,000	0,938	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	50	0,474	0,455	0,333	0,750	0,900	0,911	0,698	0,705	0,905	0,867	0,802	0,842	0,500	1,000	1,000	0,500
2	60	0,526	0,545	0,556	0,813	0,650	0,667	0,755	0,682	0,962	0,909	0,822	0,825	0,500	0,000	0,000	0,500
2	70	0,579	0,636	0,778	0,188	0,150	0,156	0,245	0,159	1,000	0,811	0,891	0,842	0,000	0,000	0,000	0,000
3	50	0,421	0,409	0,222	0,688	1,000	0,956	1,000	0,886	0,000	0,385	0,347	0,298	0,500	1,000	1,000	0,500
3	60	0,474	0,500	0,444	0,750	0,750	0,756	0,981	0,977	0,276	0,441	0,208	0,368	0,500	0,000	0,000	0,500
3	70	0,842	0,591	0,667	0,813	0,250	0,222	0,453	0,477	0,333	0,545	0,396	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000
4	50	0,474	0,455	0,333	0,750	0,850	0,867	0,642	0,682	0,810	0,811	0,653	0,746	1,000	1,000	1,000	1,000
4	60	0,526	1,000	0,556	0,813	0,600	0,622	0,679	0,591	0,857	0,846	0,743	0,851	0,500	1,000	1,000	0,500
4	70	0,579	0,636	0,778	0,875	0,075	0,111	0,189	0,136	0,905	0,818	0,792	0,851	0,500	0,000	0,000	0,500
5	50	0,421	0,455	0,333	0,688	0,750	0,889	0,679	0,682	0,190	0,434	0,099	0,158	1,000	1,000	1,000	1,000
5	60	0,368	0,409	0,222	0,625	0,500	0,667	0,755	0,614	0,143	0,280	0,050	0,158	0,500	1,000	1,000	0,500
5	70	0,316	0,318	0,000	0,563	0,100	0,089	0,245	0,114	0,095	0,294	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
6	50	0,526	0,545	0,556	0,813	1,000	0,911	0,736	0,977	0,429	0,490	0,317	0,579	0,500	1,000	1,000	0,500
6	60	0,474	0,455	0,333	0,750	0,600	0,533	0,698	0,727	0,400	0,538	0,287	0,184	0,500	0,000	0,000	0,500
6	70	0,421	0,364	0,111	0,063	0,125	0,111	0,509	0,295	0,362	0,524	0,257	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000
7	50	0,421	0,455	0,333	0,688	0,650	0,867	0,660	0,591	0,190	0,364	0,099	0,044	0,500	1,000	1,000	0,500
7	60	0,263	0,409	0,222	0,625	0,450	0,667	0,698	0,591	0,143	0,294	0,050	0,018	0,500	0,000	0,000	0,500
7	70	0,316	0,318	0,000	0,563	0,025	0,067	0,226	0,068	0,095	0,371	0,000	0,175	0,000	0,000	0,000	0,000
8	50	0,526	0,545	0,556	1,000	0,925	0,889	0,623	0,636	0,429	0,622	0,317	0,360	1,000	1,000	1,000	1,000
8	60	0,474	0,455	0,333	0,750	0,550	0,511	0,585	0,636	0,400	0,559	0,287	0,588	0,500	1,000	1,000	0,500
8	70	0,105	0,364	0,111	0,688	0,075	0,111	0,547	0,000	0,457	0,517	0,257	0,158	0,500	0,000	0,000	0,500
9	50	0,474	0,545	0,556	0,750	0,875	0,956	0,679	0,705	0,343	0,476	0,228	0,263	1,000	1,000	1,000	1,000
9	60	0,421	0,409	0,222	0,250	0,700	0,733	0,755	0,614	0,314	0,406	0,198	0,175	0,500	1,000	1,000	0,500
9	70	0,368	0,318	0,000	0,000	0,100	0,222	0,283	0,159	0,286	0,420	0,178	0,096	0,000	0,000	0,000	0,000

Tablo 5.25. (Devam) Normalizasyon matrisi

YANITLAR		TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
N		MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MİN	MİN	MİN	MİN
Deney No	Ölçütler (Sinyal)	n _{i11}	n _{i12}	n _{i13}	n _{i14}	n _{i21}	n _{i22}	n _{i23}	n _{i24}	n _{i31}	n _{i32}	n _{i33}	n _{i34}	n _{i41}	n _{i42}	n _{i43}	n _{i44}
10	50	0,474	0,591	0,556	0,750	0,650	0,889	0,566	0,682	0,343	0,531	0,228	0,254	0,500	1,000	1,000	0,500
10	60	0,421	0,409	0,222	0,688	0,650	0,667	0,679	0,568	0,314	0,308	0,198	0,474	0,500	0,000	0,000	0,500
10	70	0,368	0,318	0,000	0,625	0,000	0,133	0,226	0,091	0,286	0,462	0,178	0,237	0,000	0,000	0,000	0,000
11	50	0,421	0,455	0,333	0,688	0,675	0,889	0,717	0,682	0,190	0,217	0,099	0,000	0,500	1,000	1,000	0,500
11	60	0,368	0,409	0,222	0,625	0,475	0,689	0,755	0,682	0,143	0,000	0,050	0,316	0,500	0,000	0,000	0,500
11	70	0,316	0,318	0,000	0,563	0,050	0,111	0,283	0,159	0,095	0,252	0,000	0,430	0,000	0,000	0,000	0,000
12	50	0,526	0,545	0,556	0,813	1,000	0,956	0,774	0,841	0,429	0,441	0,317	0,395	1,000	1,000	1,000	1,000
12	60	0,474	0,455	0,333	0,750	0,600	0,578	0,736	0,818	0,400	0,371	0,287	0,404	0,500	0,000	1,000	0,500
12	70	0,421	0,364	0,111	0,688	0,150	0,244	0,717	0,477	0,362	0,559	0,257	0,044	0,500	0,000	0,000	0,500
13	50	0,526	0,545	0,556	0,813	0,850	0,844	0,566	0,591	0,429	0,441	0,317	0,193	1,000	1,000	1,000	1,000
13	60	0,474	0,000	0,333	0,750	0,500	0,444	0,528	0,545	0,400	0,699	0,287	0,289	0,500	1,000	1,000	0,500
13	70	0,421	0,364	0,111	0,688	0,000	0,000	0,000	0,000	0,362	0,559	0,257	0,237	0,000	0,000	0,000	0,000
14	50	0,474	0,545	0,556	0,750	0,850	1,000	0,660	0,795	0,343	0,441	0,228	0,351	0,500	1,000	1,000	0,500
14	60	0,421	0,409	0,222	0,313	0,850	0,778	0,774	0,682	0,314	0,559	0,198	0,430	0,500	0,000	0,000	0,500
14	70	0,368	0,318	0,000	0,625	0,150	0,244	0,321	0,205	0,286	0,545	0,178	0,325	0,000	0,000	0,000	0,000
15	50	0,526	0,318	0,444	0,813	0,800	0,956	0,849	1,000	0,714	0,706	0,594	0,614	0,500	1,000	1,000	0,500
15	60	0,579	0,591	0,667	0,875	0,525	0,800	0,774	0,886	0,714	0,678	0,545	0,561	0,500	0,000	0,000	0,500
15	70	0,632	0,727	1,000	0,938	0,150	0,222	0,528	0,477	0,667	0,629	0,644	0,649	0,000	0,000	0,000	0,000
16	50	0,421	0,455	0,333	0,438	0,650	0,844	0,698	0,636	0,190	0,441	0,099	0,307	1,000	1,000	1,000	1,000
16	60	0,368	0,409	0,222	0,625	0,450	0,644	0,736	0,636	0,143	0,364	0,050	0,158	0,500	0,000	1,000	0,500
16	70	0,316	0,318	0,000	0,563	0,000	0,089	0,264	0,114	0,095	0,343	0,000	0,070	0,500	0,000	0,000	0,500
17	50	0,526	0,818	0,556	0,813	0,875	0,867	0,566	0,591	0,429	0,462	0,317	0,447	1,000	1,000	1,000	1,000
17	60	0,474	0,455	0,333	0,750	0,525	0,667	0,528	0,545	0,400	0,545	0,287	0,377	0,500	1,000	1,000	0,500
17	70	0,421	0,364	0,111	0,813	0,025	0,222	0,170	0,000	0,362	0,538	0,257	0,351	0,000	0,000	0,000	0,000
18	50	0,474	0,545	0,556	0,125	1,000	0,956	0,755	0,750	0,343	0,448	0,228	0,430	0,500	1,000	1,000	0,500
18	60	0,421	0,409	0,222	0,688	0,750	0,689	0,755	0,750	0,314	0,385	0,198	0,263	0,500	0,000	0,000	0,500
18	70	0,368	0,273	0,000	0,625	0,250	0,200	0,321	0,227	0,286	0,524	0,178	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000

Tablo 5.26. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

YANITLAR		TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
w_j		0,189	0,189	0,189	0,189	0,356	0,356	0,356	0,356	0,248	0,248	0,248	0,248	0,217	0,217	0,217	0,217
A		MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MİN	MİN	MİN	MİN
Deney No	Ölçütler (Sinyal)	a_{i11}	a_{i12}	a_{i13}	a_{i14}	a_{i21}	a_{i22}	a_{i23}	a_{i24}	a_{i31}	a_{i32}	a_{i33}	a_{i34}	a_{i41}	a_{i42}	a_{i43}	a_{i44}
1	50	0,000	0,094	0,084	0,059	0,303	0,301	0,202	0,210	0,177	0,203	0,219	0,163	0,217	0,217	0,217	0,217
1	60	0,109	0,112	0,126	0,165	0,178	0,158	0,188	0,194	0,213	0,213	0,135	0,220	0,109	0,217	0,217	0,109
1	70	0,189	0,137	0,189	0,177	0,000	0,000	0,000	0,000	0,248	0,248	0,248	0,248	0,000	0,000	0,000	0,000
2	50	0,090	0,086	0,063	0,142	0,320	0,324	0,249	0,251	0,224	0,215	0,199	0,209	0,109	0,217	0,217	0,109
2	60	0,099	0,103	0,105	0,154	0,231	0,237	0,269	0,243	0,239	0,225	0,204	0,204	0,109	0,000	0,000	0,109
2	70	0,109	0,120	0,147	0,035	0,053	0,055	0,087	0,057	0,248	0,201	0,221	0,209	0,000	0,000	0,000	0,000
3	50	0,080	0,077	0,042	0,130	0,356	0,340	0,356	0,316	0,000	0,095	0,086	0,074	0,109	0,217	0,217	0,109
3	60	0,090	0,094	0,084	0,142	0,267	0,269	0,349	0,348	0,068	0,109	0,052	0,091	0,109	0,000	0,000	0,109
3	70	0,159	0,112	0,126	0,154	0,089	0,079	0,161	0,170	0,083	0,135	0,098	0,124	0,000	0,000	0,000	0,000
4	50	0,090	0,086	0,063	0,142	0,303	0,309	0,228	0,243	0,201	0,201	0,162	0,185	0,217	0,217	0,217	0,217
4	60	0,099	0,189	0,105	0,154	0,214	0,222	0,242	0,210	0,213	0,210	0,184	0,211	0,109	0,217	0,217	0,109
4	70	0,109	0,120	0,147	0,165	0,027	0,040	0,067	0,049	0,224	0,203	0,196	0,211	0,109	0,000	0,000	0,109
5	50	0,080	0,086	0,063	0,130	0,267	0,316	0,242	0,243	0,047	0,108	0,025	0,039	0,217	0,217	0,217	0,217
5	60	0,070	0,077	0,042	0,118	0,178	0,237	0,269	0,218	0,035	0,069	0,012	0,039	0,109	0,217	0,217	0,109
5	70	0,060	0,060	0,000	0,106	0,036	0,032	0,087	0,040	0,024	0,073	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
6	50	0,099	0,103	0,105	0,154	0,356	0,324	0,262	0,348	0,106	0,121	0,079	0,144	0,109	0,217	0,217	0,109
6	60	0,090	0,086	0,063	0,142	0,214	0,190	0,249	0,259	0,099	0,134	0,071	0,046	0,109	0,000	0,000	0,109
6	70	0,080	0,069	0,021	0,012	0,045	0,040	0,181	0,105	0,090	0,130	0,064	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
7	50	0,080	0,086	0,063	0,130	0,231	0,309	0,235	0,210	0,047	0,090	0,025	0,011	0,109	0,217	0,217	0,109
7	60	0,050	0,077	0,042	0,118	0,160	0,237	0,249	0,210	0,035	0,073	0,012	0,004	0,109	0,000	0,000	0,109
7	70	0,060	0,060	0,000	0,106	0,009	0,024	0,081	0,024	0,024	0,092	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000
8	50	0,099	0,103	0,105	0,189	0,329	0,316	0,222	0,227	0,106	0,154	0,079	0,089	0,217	0,217	0,217	0,217
8	60	0,090	0,086	0,063	0,142	0,196	0,182	0,208	0,227	0,099	0,139	0,071	0,146	0,109	0,217	0,217	0,109
8	70	0,020	0,069	0,021	0,130	0,027	0,040	0,195	0,000	0,113	0,128	0,064	0,039	0,109	0,000	0,000	0,109
9	50	0,090	0,103	0,105	0,142	0,312	0,340	0,242	0,251	0,085	0,118	0,056	0,065	0,217	0,217	0,217	0,217
9	60	0,080	0,077	0,042	0,047	0,249	0,261	0,269	0,218	0,078	0,101	0,049	0,044	0,109	0,217	0,217	0,109
9	70	0,070	0,060	0,000	0,000	0,036	0,079	0,101	0,057	0,071	0,104	0,044	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000

Tablo 5.26. (Devam) Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

YANITLAR		TEL ÇAPI				MUKAVEMET				KAPLAMA MİKTARI				YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
w_j		0,189	0,189	0,189	0,189	0,356	0,356	0,356	0,356	0,248	0,248	0,248	0,248	0,217	0,217	0,217	0,217
A		MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MİN	MİN	MİN	MİN
Deney No	Ölçütler (Sinyal)	a_{i11}	a_{i12}	a_{i13}	a_{i14}	a_{i21}	a_{i22}	a_{i23}	a_{i24}	a_{i31}	a_{i32}	a_{i33}	a_{i34}	a_{i41}	a_{i42}	a_{i43}	a_{i44}
10	50	0,090	0,112	0,105	0,142	0,231	0,316	0,202	0,243	0,085	0,132	0,056	0,063	0,109	0,217	0,217	0,109
10	60	0,080	0,077	0,042	0,130	0,231	0,237	0,242	0,202	0,078	0,076	0,049	0,117	0,109	0,000	0,000	0,109
10	70	0,070	0,060	0,000	0,118	0,000	0,047	0,081	0,032	0,071	0,114	0,044	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000
11	50	0,080	0,086	0,063	0,130	0,240	0,316	0,255	0,243	0,047	0,054	0,025	0,000	0,109	0,217	0,217	0,109
11	60	0,070	0,077	0,042	0,118	0,169	0,245	0,269	0,243	0,035	0,000	0,012	0,078	0,109	0,000	0,000	0,109
11	70	0,060	0,060	0,000	0,106	0,018	0,040	0,101	0,057	0,024	0,062	0,000	0,107	0,000	0,000	0,000	0,000
12	50	0,099	0,103	0,105	0,154	0,356	0,340	0,275	0,299	0,106	0,109	0,079	0,098	0,217	0,217	0,217	0,217
12	60	0,090	0,086	0,063	0,142	0,214	0,206	0,262	0,291	0,099	0,092	0,071	0,100	0,109	0,000	0,217	0,109
12	70	0,080	0,069	0,021	0,130	0,053	0,087	0,255	0,170	0,090	0,139	0,064	0,011	0,109	0,000	0,000	0,109
13	50	0,099	0,103	0,105	0,154	0,303	0,301	0,202	0,210	0,106	0,109	0,079	0,048	0,217	0,217	0,217	0,217
13	60	0,090	0,000	0,063	0,142	0,178	0,158	0,188	0,194	0,099	0,173	0,071	0,072	0,109	0,217	0,217	0,109
13	70	0,080	0,069	0,021	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090	0,139	0,064	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000
14	50	0,090	0,103	0,105	0,142	0,303	0,356	0,235	0,283	0,085	0,109	0,056	0,087	0,109	0,217	0,217	0,109
14	60	0,080	0,077	0,042	0,059	0,303	0,277	0,275	0,243	0,078	0,139	0,049	0,107	0,109	0,000	0,000	0,109
14	70	0,070	0,060	0,000	0,118	0,053	0,087	0,114	0,073	0,071	0,135	0,044	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000
15	50	0,099	0,060	0,084	0,154	0,285	0,340	0,302	0,356	0,177	0,175	0,147	0,152	0,109	0,217	0,217	0,109
15	60	0,109	0,112	0,126	0,165	0,187	0,285	0,275	0,316	0,177	0,168	0,135	0,139	0,109	0,000	0,000	0,109
15	70	0,119	0,137	0,189	0,177	0,053	0,079	0,188	0,170	0,165	0,156	0,160	0,161	0,000	0,000	0,000	0,000
16	50	0,080	0,086	0,063	0,083	0,231	0,301	0,249	0,227	0,047	0,109	0,025	0,076	0,217	0,217	0,217	0,217
16	60	0,070	0,077	0,042	0,118	0,160	0,229	0,262	0,227	0,035	0,090	0,012	0,039	0,109	0,000	0,217	0,109
16	70	0,060	0,060	0,000	0,106	0,000	0,032	0,094	0,040	0,024	0,085	0,000	0,017	0,109	0,000	0,000	0,109
17	50	0,099	0,155	0,105	0,154	0,312	0,309	0,202	0,210	0,106	0,114	0,079	0,111	0,217	0,217	0,217	0,217
17	60	0,090	0,086	0,063	0,142	0,187	0,237	0,188	0,194	0,099	0,135	0,071	0,094	0,109	0,217	0,217	0,109
17	70	0,080	0,069	0,021	0,154	0,009	0,079	0,060	0,000	0,090	0,134	0,064	0,087	0,000	0,000	0,000	0,000
18	50	0,090	0,103	0,105	0,024	0,356	0,340	0,269	0,267	0,085	0,111	0,056	0,107	0,109	0,217	0,217	0,109
18	60	0,080	0,077	0,042	0,130	0,267	0,245	0,269	0,267	0,078	0,095	0,049	0,065	0,109	0,000	0,000	0,109
18	70	0,070	0,052	0,000	0,118	0,089	0,071	0,114	0,081	0,071	0,130	0,044	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000

Tablo 5.27’de S_i en iyi ve R_i en kötü grup skorları görülmektedir. Böylece dört yanıt değerine ait toplam on altı sütunluk veri setimiz iki sütun olarak birleştirilmiş ve VİKOR alternatifleri sıralanabilecek aşamaya gelmiştir.

Tablo 5.27. Hesaplanan S_i ve R_i değerleri

Alternatif No	Deney No	Sinyal	S_i	R_i	Alternatif No	Deney No	Sinyal	S_i	R_i
1	1	50	2,882	0,303	28	10	50	2,427	0,316
2	1	60	2,663	0,220	29	10	60	1,779	0,242
3	1	70	1,685	0,248	30	10	70	0,697	0,118
4	2	50	3,022	0,324	31	11	50	2,190	0,316
5	2	60	2,531	0,269	32	11	60	1,576	0,269
6	2	70	1,544	0,248	33	11	70	0,634	0,107
7	3	50	2,603	0,356	34	12	50	2,992	0,356
8	3	60	2,181	0,349	35	12	60	2,149	0,291
9	3	70	1,490	0,170	36	12	70	1,385	0,255
10	4	50	3,079	0,309	37	13	50	2,686	0,303
11	4	60	2,903	0,242	38	13	60	2,079	0,217
12	4	70	1,776	0,224	39	13	70	0,650	0,139
13	5	50	2,513	0,316	40	14	50	2,605	0,356
14	5	60	2,017	0,269	41	14	60	1,945	0,303
15	5	70	0,522	0,106	42	14	70	0,906	0,135
16	6	50	2,852	0,356	43	15	50	2,983	0,356
17	6	60	1,858	0,259	44	15	60	2,412	0,316
18	6	70	0,848	0,181	45	15	70	1,756	0,189
19	7	50	2,168	0,309	46	16	50	2,443	0,301
20	7	60	1,486	0,249	47	16	60	1,796	0,262
21	7	70	0,523	0,106	48	16	70	0,735	0,109
22	8	50	2,887	0,329	49	17	50	2,823	0,312
23	8	60	2,299	0,227	50	17	60	2,237	0,237
24	8	70	1,062	0,195	51	17	70	0,845	0,154
25	9	50	2,776	0,340	52	18	50	2,563	0,356
26	9	60	2,166	0,269	53	18	60	1,881	0,269
27	9	70	0,645	0,104	54	18	70	0,875	0,130

S_i = En iyi grup skoru ; R_i = En kötü grup skoru

6. Adım: VİKOR indeks (Q_i) değerleri farklı VİKOR parametrelerine göre hesaplanır. Tablo 5.28’de indeks değerleri maksimum grup faydasını sağlayan beş farklı VİKOR parametresine bağlı olarak hesaplanmıştır. Çalışmada VİKOR parametreleri; 0,00; 0,25; 0,50; 0,75 ve 1,00 olarak seçilmiştir. VİKOR parametre seçimlerinde sadece belirli parametreler ile çalışma yapılabilir. Sağlıkla ilgili olarak hazırlanan kimyasal karışımlar, ilaç, hassas ayarlamalar gerektiren üretim süreçlerinde ve hassas ölçümlerin önemli olduğu sektörlerde parametreler daha sık aralıklar ile seçilebilir. VİKOR Yöntemi’nde uzlaşma çoğunluk oyu olan $v > 0,5$ oyu ile genel görüş $v = 0,5$ ile veto ise $v < 0,5$ ile sağlanmaktadır. Çalışmalarda çoğunlukla $v = 0,5$ kullanılarak uzlaşma sağlanmaktadır. Ancak son karar, karar verici ekibin sorumluluğundadır.

Tablo 5.28. VİKOR Q_i index değerleri tablosu

Deney No	Sinyal	VİKOR parametre değerleri-v					Deney No	Sinyal	VİKOR parametre değerleri-v				
		0,00	0,25	0,50	0,75	1,00			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
1	50	0,7897	0,822	0,856	0,889	0,923	10	50	0,843	0,819	0,794	0,770	0,745
1	60	0,4603	0,554	0,648	0,743	0,837	10	60	0,547	0,533	0,519	0,506	0,492
1	70	0,5714	0,542	0,513	0,484	0,455	10	70	0,056	0,059	0,062	0,065	0,068
2	50	0,8744	0,900	0,926	0,952	0,978	11	50	0,843	0,795	0,748	0,700	0,652
2	60	0,6535	0,687	0,720	0,753	0,786	11	60	0,653	0,593	0,533	0,472	0,412
2	70	0,5714	0,529	0,486	0,443	0,400	11	70	0,010	0,019	0,027	0,035	0,044
3	50	0,0002	0,012	0,024	0,025	0,027	12	50	1,000	0,992	0,983	0,975	0,966
3	60	0,9733	0,892	0,811	0,730	0,649	12	60	0,743	0,716	0,690	0,663	0,636
3	70	0,2615	0,291	0,320	0,349	0,378	12	70	0,600	0,535	0,469	0,403	0,338
4	50	0,8116	0,859	0,906	0,953	1,000	13	50	0,788	0,803	0,817	0,832	0,846
4	60	0,5469	0,643	0,739	0,835	0,931	13	60	0,448	0,489	0,529	0,569	0,609
4	70	0,4777	0,481	0,484	0,487	0,490	13	70	0,138	0,116	0,094	0,072	0,050
5	50	0,8430	0,827	0,811	0,795	0,779	14	50	1,000	0,954	0,907	0,861	0,815
5	60	0,6535	0,636	0,619	0,602	0,585	14	60	0,788	0,730	0,672	0,614	0,556
5	70	0,0092	0,953	0,593	0,562	0,532	14	70	0,124	0,131	0,137	0,144	0,150
6	50	1,0000	0,978	0,956	0,933	0,911	15	50	1,000	0,991	0,981	0,972	0,963
6	60	0,6147	0,592	0,569	0,545	0,522	15	60	0,839	0,814	0,789	0,764	0,739
6	70	0,3070	0,262	0,217	0,172	0,128	15	70	0,337	0,374	0,410	0,446	0,482
7	50	0,8116	0,770	0,728	0,686	0,644	16	50	0,780	0,773	0,766	0,759	0,751
7	60	0,5735	0,524	0,475	0,426	0,377	16	60	0,627	0,595	0,563	0,530	0,498
7	70	0,0092	0,007	0,907	0,860	0,814	16	70	0,018	0,034	0,051	0,067	0,083
8	50	0,8940	0,902	0,910	0,917	0,925	17	50	0,823	0,843	0,862	0,881	0,900
8	60	0,4863	0,539	0,591	0,643	0,695	17	60	0,529	0,564	0,600	0,635	0,671
8	70	0,3603	0,323	0,286	0,249	0,211	17	70	0,197	0,179	0,162	0,144	0,127
9	50	0,9372	0,923	0,909	0,896	0,882	18	50	1,000	0,950	0,899	0,849	0,798
9	60	0,6535	0,651	0,648	0,645	0,643	18	60	0,000	-0,007	0,005	0,002	0,001
9	70	1,0000	0,623	0,024	0,036	0,048	18	70	0,103	0,112	0,121	0,129	0,138

$$S^* = \text{Min}S_i = 0,000 \quad S^- = \text{Max}S_i = 3,601 \quad Q_i = \frac{v(S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-v)(R_i - R^*)}{R^- - R^*}$$

$$R^* = \text{Min}R_i = 0,000 \quad R^- = \text{Max}R_i = 3,079$$

7. Adım: Alternatiflerin sıralanması ve koşulların denetlenmesi aşamasıdır. Her iki VİKOR koşulunu sağlayan Q_i değerine sahip olan sıralamalar VİKOR Metodu şartlarına göre geçerli kabul edilir. Tablo 5.29’da VİKOR sıralama sonuçları ve koşullara göre sonuçların denetlenmesi görülmektedir. Tabloların sağ tarafındaki 0,25-0,50-0,75-1,00 değerlerine ait sıralamalar her iki VİKOR koşulunu sağladığı için doğru kabul edilir. 0,00 VİKOR değerine sahip sıralama her iki koşulu da sağlamamıştır.

Tablo 5.29. Sıralama sonuçları ve koşulların denetlenmesi

Deney No	Sinyal	Sıra No	VIKOR İndex Değerleri- Q_i						Sıra No	VIKOR İndex Değerleri- Q_i				
			$v_1 = 0,00$	$v_2 = 0,25$	$v_3 = 0,50$	$v_4 = 0,75$	$v_5 = 1,00$			$v_1 = 0,00$	$v_2 = 0,25$	$v_3 = 0,50$	$v_4 = 0,75$	$v_5 = 1,00$
1	50	1	37	41	43	47	48	DENEYLERE GÖRE SIRALAMALAR	1	7	53	53	53	53
1	60	2	16	23	30	35	43		2	53	7	7	7	7
1	70	3	23	22	19	19	18		3	21	27	27	33	33
2	50	4	45	46	51	51	53		4	33	33	33	27	27
2	60	5	28	32	33	36	39		5	48	48	48	30	39
2	70	6	22	18	16	16	16		6	30	30	30	48	30
3	50	7	1	2	2	2	2		7	54	54	39	39	48
3	60	8	48	45	41	34	31		8	42	39	54	54	51
3	70	9	11	12	13	13	15		9	39	42	42	42	18
4	50	10	38	44	46	52	54		10	51	51	51	51	54
4	60	11	20	30	35	42	50		11	9	18	18	18	42
4	70	12	17	15	17	20	20		12	18	9	24	24	24
5	50	13	42	42	40	40	38		13	45	24	9	9	36
5	60	14	29	29	28	26	26		14	24	45	45	36	20
5	70	15	32	28	26	24	24		15	38	12	36	20	9
6	50	16	50	52	52	50	47		16	2	38	20	6	6
6	60	17	26	25	24	23	23		17	12	20	12	45	32
6	70	18	12	11	11	11	9		18	23	6	6	32	3
7	50	19	39	35	34	32	30		19	50	29	3	3	45
7	60	20	24	17	16	15	14		20	11	36	29	12	12
7	70	21	3	50	47	44	41		21	29	23	38	29	29
8	50	22	46	47	50	49	49		22	6	3	32	47	47
8	60	23	18	21	25	29	34		23	3	2	47	17	17
8	70	24	14	13	12	12	12		24	20	50	17	15	15
9	50	25	47	48	49	48	45		25	36	17	23	38	41
9	60	26	30	31	29	30	29		26	17	32	15	14	14
9	70	27	49	3	3	4	4		27	47	47	50	41	38
10	50	28	43	40	39	39	36		28	5	15	14	50	35
10	60	29	21	19	20	21	21		29	14	14	26	23	26
10	70	30	6	6	6	5	6		30	26	11	2	26	19

Tablo 5.29. (Devam) Sıralama sonuçları ve koşulların denetlenmesi

Deney No	Sinyal	Sıra No	VİKOR İndeks Değerleri- Q _i						Sıra No	VİKOR İndeks Değerleri- Q _i				
			v ₁ = 0,00	v ₂ = 0,25	v ₃ = 0,50	v ₄ = 0,75	v ₅ = 1,00			v ₁ = 0,00	v ₂ = 0,25	v ₃ = 0,50	v ₄ = 0,75	v ₅ = 1,00
11	50	31	44	37	36	33	32	DENEYLERE GÖRE NUMARALAR	31	32	26	41	35	8
11	60	32	31	26	22	18	17		32	15	5	35	19	31
11	70	33	4	4	4	3	3		33	35	35	5	31	50
12	50	34	51	54	54	54	52		34	46	41	19	8	23
12	60	35	33	33	32	31	28		35	37	19	11	2	44
12	70	36	25	20	15	14	13		36	41	46	31	5	28
13	50	37	35	38	42	41	44		37	1	31	46	46	46
13	60	38	15	16	21	25	27		38	10	37	44	44	13
13	70	39	9	8	7	7	5		39	19	44	28	28	5
14	50	40	52	51	48	45	42		40	49	28	13	13	52
14	60	41	36	34	31	27	25		41	44	1	8	37	21
14	70	42	8	9	9	9	11		42	13	13	37	11	40
15	50	43	53	53	53	53	51		43	28	49	1	52	2
15	60	44	41	39	38	38	35		44	31	10	49	21	37
15	70	45	13	14	14	17	19		45	4	8	52	40	25
16	50	46	6	36	37	37	37		46	22	4	10	49	49
16	60	47	27	27	23	22	22		47	25	22	21	1	16
16	70	48	5	5	5	6	7		48	8	25	40	25	1
17	50	49	40	43	44	46	46		49	27	52	25	22	22
17	60	50	19	24	27	28	33		50	16	21	22	16	11
17	70	51	10	10	10	10	8		51	34	40	4	4	43
18	50	52	54	49	45	43	40		52	40	16	16	10	34
18	60	53	2	1	1	1	1		53	43	43	43	43	4
18	70	54	7	7	8	8	10		54	52	34	34	34	10
Q(A ¹)			0,000222	-0,0068787	0,0045808	0,00228297	0,0014899							
Q(A ²)			0,000222	0,0121836	0,0235587	0,02495597	0,0268601							
Q(A ²)- Q(A ¹)			0,01906233	0,0189779	0,022672997	0,02537025	0,01906233							
DQ = $\frac{1}{m-1}$			0,0188679	0,0188679	0,0188679	0,0188679	0,0188679							
Q(A ¹) - Q(A ²) ≥ DQ			YANLIŞ	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU							
Q(A ^m) - Q(A ¹) < DQ			Y ANLIŞ	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU	DOĞRU							

Tablonun sağ tarafında ise OD'e göre deney sıralamaları yapılmıştır. VİKOR şartlarını sağlayan koşullara göre yapılan sıralamaların Taguchi Yöntemi'nde kullandığımız faktörlere ve seviyelerine göre sıralaması ve faktör-seviye birleşimleri Tablo 5.30'da görülmektedir. VİKOR sıralamasında birinci sırada olan alternatif, Taguchi OD faktör / seviye birleşiminde elli nc sıraya karşılık gelmektedir.

8. Adım: Karar verici ekibin en iyi faktör-seviye birleşimini seçmesi adımı olup VİKOR Metodu karar vericiye hem sıralama hem de seçim imkânı tanımaktadır. Metot tüm yanıtları en iyi düzeyde karşılayan alternatifleri-faktörler ve seviyelerinden oluşturulan deney numaraları- en iyiden en kötüye doğru sıralar. Elde edilen sıralamalar arasından seçim yapmak karar vericinin sorumluluğundadır. Sonuçlar oluşturulan kalite ekibi ve st yönetimin seçim ve onayına sunulmuş ve karar vericiler tarafından seçilen faktörler ve seviyeleri Tablo 5.31'de gösterilmiştir. Bu seçimin yapılmasında üretim ve kalite şartlarına uygun seviyeler dikkate alınmıştır. Ayrıca faktör seviyelerinin belirlenmesi için yapılan ön deneme üretimleri sırasında kurucu A Firması tarafından kayıt altına alınan faktör / seviye değerleri bu kararların alınmasında yardımcı etken olarak kullanılmıştır.

VİKOR Metodu çok ltl karar verme tekniklerinden sıralama ve seçim yapmaya imkân tanımaktadır. Yöntemin uygulanması ve sonuçların belirlenmesinde sistem analisti st yönetim ya da karar verici ekip ile işbirliği içerisinde çalışır ancak nihai kararın sorumluluğu karar ekibine aittir. Çalışmanın başlangıcında bu konuda bilgilendirilen kurucu A Firması ve B Firması alternatifleri değerlendirerek sonuca karar vermiştir. Değerlendirmelerde faktörler kabul edilebilir sınırlar içerisinde ve bütünleşik olarak ele alınmıştır. VİKOR Metodu ile sıralanan ilk on seçenek karar verici ekip tarafından beyin fırtınası yöntemi ile değerlendirilmiş ve uzlaşık bir sıralama kararı alınmıştır. Karar verici ekip VİKOR Metodu'nda 1. sırada yer alan seçeneği en uygun sıralama olarak kabul etmiştir. Bu kabul edilen uzlaşık sıralama sonucunda faktör / seviye değerleri: $A_3B_3C_3D_2E_1F_2G_1H_1I_2J_1$ olarak belirlenmiştir. VİKOR çok ltl karar verme tekniğiyle yapılan analiz sonuçlarına göre uzlaşık kararlar seçilen faktörler ve seviye değerleri Tablo 5.31'de görülmektedir.

Tablo 5.30. VİKOR sıralama sonuçlarına göre faktörler ve seviyeleri

Sıra No (VİKOR)	Deney No	Sinyal	KONTROL EDİLEBİLEN FAKTÖRLER									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
			Ham madde Girdi Muk.	Tav Fırın Sıcaklığı	Ergimiş Metal Sıcaklığı	Tel Dalma Boy	Flux Ölçüm Sıklığı	Verici Tipi	Sarıcı Tipi	Çinko Sıyırma Türü	Kazan Türü	Ocak İzolasyon Sistemi
1	53	60	1100-1200	900	465	7	1	Çift Poz.	Rozet Kan.	Pad sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
2	7	50	1100-1200	800	455	9	1	Döner Tab.	Rozet Kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
3	1	50	900-1000	800	445	5	1	Döner Tab.	Rozet Kan.	Pad sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
4	31	50	900-1000	850	465	9	1	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
5	40	50	1000-1100	850	445	7	1	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
6	8	60	1100-1200	800	455	9	1	Döner Tab.	Rozet Kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
7	19	50	1100-1200	800	455	9	1	Döner Tab.	Rozet Kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
8	13	50	1000-1100	850	445	9	3	Döner Tab.	Rozet Kan.	Azot sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
9	46	50	1100-1200	800	445	9	2	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
10	22	50	1100-1200	850	465	5	2	Döner Tab.	Rozet Kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
11	34	50	900-1000	900	445	5	2	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
12	37	50	1000-1100	800	465	5	3	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
13	4	50	900-1000	850	455	7	2	Döner Tab.	Kayışlı Roz.	Pad sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
14	49	50	1100-1200	850	455	5	3	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
15	2	60	900-1000	800	445	5	1	Döner Tab.	Rozet Kan.	Pad sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
16	10	50	1000-1100	800	465	7	2	Döner Tab.	Kayışlı Roz.	Pad sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
17	43	50	1000-1100	900	455	9	2	Çift Poz.	Rozet Kan.	Pad sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
18	25	70	1100-1200	900	445	7	3	Döner Tab.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
19	41	60	1000-1100	850	445	7	1	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
20	20	60	1100-1200	800	455	9	1	Döner Tab.	Rozet Kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
21	47	60	1100-1200	800	445	9	2	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
22	28	50	900-1000	800	455	9	3	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
23	5	60	900-1000	850	455	7	2	Döner Tab.	Kayışlı Roz.	Pad sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
24	16	50	1000-1100	900	455	5	1	Döner Tab.	Rozet Kan.	Azot sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
25	23	60	1100-1200	850	465	5	2	Döner Tab.	Rozet Kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
26	32	60	900-1000	850	465	9	1	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
27	35	60	900-1000	900	445	5	2	Çift Poz.	Kayışlı Roz.	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.

Tablo 5.30. (Devam) VİKOR sıralama sonuçlarına göre faktörler ve seviyeleri

Sıra No (VİKOR)	Deney No	Sinyal	KONTROL EDİLEBİLEN FAKTÖRLER									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
			Ham madde Girdi Muk.	Tav Fırın Sıcaklığı	Ergimiş Metal Sıcaklığı	Tel Dalma Boy	Flux Ölçüm Sıklığı	Verici Tipi	Sarıcı Tipi	Çinko Sıyırma Türü	Kazan Türü	Ocak İzolasyon Sistemi
28	11	60	1000-1100	800	465	7	2	Döner Tab.	Kayışlı rozet	Pad sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
29	38	60	1000-1100	800	465	5	3	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
30	50	60	1100-1200	850	455	5	3	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
31	14	60	1000-1100	850	445	9	3	Döner Tab.	Rozet kan.	Azot sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
32	44	60	1000-1100	900	455	9	2	Çift Poz.	Rozet kan.	Pad sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
33	26	60	1100-1200	900	445	7	3	Döner Tab.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
34	9	70	1100-1200	800	455	9	1	Döner Tab.	Rozet kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
35	42	70	1000-1100	850	445	7	1	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
36	29	60	900-1000	800	455	9	3	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
37	3	70	900-1000	800	445	5	1	Döner Tab.	Rozet kan.	Pad sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
38	17	60	1000-1100	900	455	5	1	Döner Tab.	Rozet kan.	Azot sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
39	6	70	900-1000	850	455	7	2	Döner Tab.	Kayışlı rozet	Pad sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
40	33	70	900-1000	850	465	9	1	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
41	21	70	1100-1200	800	455	9	1	Döner Tab.	Rozet kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
42	39	70	1000-1100	800	465	5	3	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
43	51	70	1100-1200	850	455	5	3	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
44	15	70	1000-1100	850	445	9	3	Döner Tab.	Rozet kan.	Azot sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
45	48	70	1100-1200	800	445	9	2	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
46	45	70	1000-1100	900	455	9	2	Çift Poz.	Rozet kan.	Pad sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
47	27	70	1100-1200	900	445	7	3	Döner Tab.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
48	36	70	900-1000	900	445	5	2	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
49	24	70	1100-1200	850	465	5	2	Döner Tab.	Rozet kan.	Azot sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
50	30	70	900-1000	800	455	9	3	Çift Poz.	Kayışlı rozet	Azot sıyırma	Çelik K.	Çift Katlı K.
51	18	70	1000-1100	900	455	5	1	Döner Tab.	Rozet kan.	Azot sıyırma	Çelik K.	Tek Katlı K.
52	12	70	1000-1100	800	465	7	2	Döner Tab.	Kayışlı rozet	Pad sıyırma	Tuğla K.	Çift Katlı K.
53	54	70	1100-1200	900	465	7	1	Çift Poz.	Rozet kan.	Pad sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.
54	52	50	1100-1200	900	465	7	1	Çift Poz.	Rozet kan.	Pad sıyırma	Tuğla K.	Tek Katlı K.

Tablo 5.31. VİKOR sıralama sonuçları

Faktör Kodu	Faktörler	FAKTÖR SEVİYELERİ VE DEĞERLERİ	
		Faktör Seviyesi	Faktör Değeri
A	Ham madde girdi mukavemeti (N/mm ²)	3	1100-1200
B	Tav fırın sıcaklığı (°C)	3	900
C	Ergimiş metal sıcaklığı (°C)	3	465
D	Tel dalma boyu (m)	2	7
E	Flux ölçüm sıcaklığı	1	1
F	Verici tipi	2	Çift Pozisyonlu
G	Sarıcı tipi	1	Rozet Kangal
H	Çinko sıyırma türü	1	Pad Sıyırma
I	Kazan türü	2	Tuğla Kazan
J	Ocak izolasyonu	1	Tek Katlı Koruma

5.7. Doğrulama Deneyleri

Firmanın mevcut üretim koşullarına, DTY ve VİKOR Metodu sonucu elde edilen faktör / seviye birleşimlerine uygun olarak her bir faktör / seviye birleşimi için $3 \times 5 \times 4 = 60$ deneme üretimi yapılmıştır. Denemelerde her kangal rastgele ve farklı vericilere bağlanmış ve ölçüm alınırken kangal başından ve sonundan onar metrelik kısım hatalı değerlendirmeleri önlemek amacıyla ölçümlere dâhil edilmemiştir. Doğrulama deneylerinin yapılması için firmanın 2,00 mm tel siparişi alması beklenmiş eksik kalan deneyler için kurucu firma tarafından finanse edilen filmaşın kangalları kullanılmıştır. Deneyler sırasında kalite kontrol elemanı tarafından alınan tel numuneleri kalite kontrol bölümünde kurucu firmanın iki mühendisinin denetiminde ölçülmüş ve değerler kaydedilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sarıcılarda teller sarılırken kurucu firma ve üretici firmanın ortak kontrolüne tâbi tutulmuş aynı zamanda paketleme sonrası bir aylık depolama süresi beklenmiş, kangalların genel değerlendirilmesi tekrar yapılarak sonuçlara karar verilmiştir. Yapılan son değerlendirmelerde yüzey pürüzlülüğü yanıtında tüm faktör-seviye birleşimlerinde herhangi bir soruna rastlanmamıştır.

Tel çapı yanıtı için doğrulama deneyi verileri Tablo 5.32’de; mukavemet yanıtı için doğrulama deneyi sonuçları Tablo 5.33’te; kaplama miktarı yanıtı için doğrulama deneyi verileri Tablo 5.34’te ve yüzey pürüzlülüğü yanıtı için ise Tablo 5.35’te görülmektedir. Firmanın mevcut üretim koşulları $A_2B_2C_2D_2E_2F_2G_2H_2I_2J_2$ olarak ayarlanmıştır.

Tablo 5.32. Tel çapı yanıtı için doğrulama deneyi verileri

Deney No	Gürültü Seviyesi	MEVCUT ÜRETİM SONUÇLARI*			DİNAMİK TAGUCHİ SONUÇLARI**			VİKOR SONUÇLARI***		
		* A ₂ B ₂ C ₂ D ₂ E ₂ F ₂ G ₂ H ₂ I ₂ J ₂			** A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ E ₁ F ₁ G ₁ H ₂ I ₁ J ₂			*** A ₃ B ₃ C ₃ D ₂ E ₁ F ₂ G ₁ H ₁ I ₂ J ₁		
		M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70	M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70	M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70
1	G ₁	2,06	2,03	2,00	1,85	1,95	2,06	2,02	2,03	2,04
	G ₂	2,07	2,03	2,01	1,86	1,96	2,05	1,99	2,02	2,04
	G ₃	2,06	2,03	2,00	1,86	1,96	2,05	1,99	2,02	2,04
	G ₄	2,06	2,03	2,00	1,86	1,96	2,05	2,02	2,03	2,04
2	G ₁	2,05	2,02	1,98	1,88	1,98	2,08	2,03	2,02	2,02
	G ₂	2,05	2,02	1,99	1,88	1,98	2,08	2,01	2,01	2,03
	G ₃	2,05	2,02	1,99	1,88	1,98	2,08	2,01	2,01	2,03
	G ₄	2,05	2,02	1,99	1,88	1,98	2,08	2,03	2,03	2,02
3	G ₁	2,06	2,02	2,00	1,87	1,97	2,06	2,03	2,02	2,02
	G ₂	2,06	2,03	1,99	1,86	1,98	2,07	2,01	2,01	2,03
	G ₃	2,06	2,02	1,99	1,86	1,97	2,07	2,01	2,01	2,03
	G ₄	2,05	2,02	1,99	1,87	1,98	2,07	2,03	2,03	2,02
4	G ₁	2,09	2,04	2,00	1,85	1,95	2,04	2,02	2,03	2,04
	G ₂	2,09	2,03	2,00	1,85	1,95	2,04	1,99	2,02	2,04
	G ₃	2,08	2,04	2,00	1,85	1,96	2,05	1,99	2,02	2,04
	G ₄	2,08	2,04	2,00	1,86	1,96	2,04	2,02	2,03	2,04
5	G ₁	2,07	2,01	1,97	1,87	1,97	2,06	1,92	1,97	1,94
	G ₂	2,07	2,01	1,97	1,86	1,98	2,06	1,89	1,95	1,93
	G ₃	2,07	2,01	1,97	1,86	1,98	2,06	1,89	1,97	1,92
	G ₄	2,07	2,01	1,97	1,86	1,98	2,07	1,94	1,96	1,90

Tablo 5.33. Mukavemet yanıtı için doğrulama deney verileri

Deney No	Gürültü Seviyesi	MEVCUT ÜRETİM SONUÇLARI*			DİNAMİK TAGUCHİ SONUÇLARI**			VİKOR SONUÇLARI***		
		* A ₂ B ₂ C ₂ D ₂ E ₂ F ₂ G ₂ H ₂ I ₂ J ₂			** A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ E ₁ F ₁ G ₁ H ₂ I ₁ J ₂			*** A ₃ B ₃ C ₃ D ₂ E ₁ F ₂ G ₁ H ₁ I ₂ J ₁		
		M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70	M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70	M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70
1	G ₁	435	430	575	440	485	560	440	455	550
	G ₂	425	465	595	435	480	550	435	465	605
	G ₃	515	490	605	445	495	570	445	475	615
	G ₄	475	500	605	455	500	580	455	485	600
2	G ₁	440	435	570	435	480	550	435	465	555
	G ₂	435	465	595	430	475	550	435	465	605
	G ₃	520	485	615	440	485	555	445	475	605
	G ₄	485	495	610	445	490	565	455	485	600
3	G ₁	430	435	575	445	490	565	445	475	545
	G ₂	420	465	595	435	475	545	435	465	595
	G ₃	525	475	620	440	500	570	445	475	605
	G ₄	475	495	615	445	495	570	435	475	600
4	G ₁	430	440	570	435	480	550	445	485	545
	G ₂	425	465	580	430	475	545	435	475	595
	G ₃	515	490	605	440	480	555	445	475	605
	G ₄	485	505	595	450	495	565	435	485	605
5	G ₁	435	430	565	435	485	585	450	495	575
	G ₂	425	470	585	430	465	605	445	485	560
	G ₃	520	495	605	445	475	615	455	495	570
	G ₄	475	495	600	455	485	600	460	505	565

Tablo 5.34. Kaplama miktarı yanıtı için doğrulama deney verileri

Deney No	Gürültü Seviyesi	MEVCUT ÜRETİM SONUÇLARI*			DİNAMİK TAGUCHİ SONUÇLARI**			VİKOR SONUÇLARI***		
		* A ₂ B ₂ C ₂ D ₂ E ₂ F ₂ G ₂ H ₂ I ₂ J ₂			** A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ E ₁ F ₁ G ₁ H ₂ I ₁ J ₂			*** A ₃ B ₃ C ₃ D ₂ E ₁ F ₂ G ₁ H ₁ I ₂ J ₁		
		M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70	M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70	M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70
1	G ₁	70	65	60	145	150	155	130	133	136
	G ₂	68	63	57	135	146	149	131	141	139
	G ₃	69	67	60	140	145	150	128	131	133
	G ₄	67	64	58	137	154	164	143	153	162
2	G ₁	68	63	59	145	150	155	130	133	136
	G ₂	65	61	59	136	158	156	129	155	133
	G ₃	69	67	62	140	145	150	128	131	133
	G ₄	67	61	58	154	154	170	144	119	146
3	G ₁	72	67	63	145	149	156	130	132	135
	G ₂	68	61	57	135	157	156	135	119	120
	G ₃	73	65	63	141	145	151	128	130	132
	G ₄	67	63	59	155	154	170	133	124	135
4	G ₁	73	69	64	146	152	157	130	132	135
	G ₂	67	65	63	136	148	151	135	140	123
	G ₃	72	68	59	141	147	152	128	130	132
	G ₄	59	59	62	138	156	166	123	141	153
5	G ₁	68	62	58	145	151	156	130	133	134
	G ₂	63	63	56	135	147	150	131	140	138
	G ₃	69	54	59	140	146	151	127	130	133
	G ₄	72	62	70	137	155	165	143	151	160

Tablo 5.35. Yüzey pürüzlülüğü yanıtı için doğrulama deney verileri

Deney No	Gürültü Seviyesi	MEVCUT ÜRETİM SONUÇLARI*			DİNAMİK TAGUCHİ SONUÇLARI**			VİKOR SONUÇLARI***		
		* A ₂ B ₂ C ₂ D ₂ E ₂ F ₂ G ₂ H ₂ I ₂ J ₂			** A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ E ₁ F ₁ G ₁ H ₂ I ₁ J ₂			*** A ₃ B ₃ C ₃ D ₂ E ₁ F ₂ G ₁ H ₁ I ₂ J ₁		
		M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70	M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70	M ₁ = 50	M ₂ = 60	M ₃ = 70
1	G ₁	1	1	0	1	1	1	2	1	2
	G ₂	1	0	0	1	1	1	2	1	1
	G ₃	1	1	0	1	1	1	2	1	1
	G ₄	1	1	0	1	1	1	2	1	2
2	G ₁	1	1	0	2	2	2	1	1	1
	G ₂	1	0	0	2	2	2	1	0	0
	G ₃	1	0	0	2	2	2	1	1	1
	G ₄	1	1	0	2	2	2	1	1	0
3	G ₁	1	1	0	2	2	2	1	1	0
	G ₂	1	0	0	2	1	2	1	0	0
	G ₃	1	0	0	2	1	2	1	1	0
	G ₄	1	0	0	2	2	2	1	1	1
4	G ₁	1	0	1	2	2	2	1	2	1
	G ₂	1	0	1	2	2	1	1	2	1
	G ₃	1	1	0	2	2	2	1	2	1
	G ₄	1	1	0	2	2	2	1	1	2
5	G ₁	2	1	1	2	1	2	2	1	1
	G ₂	1	0	0	2	1	2	1	1	0
	G ₃	1	1	0	2	1	2	1	1	0
	G ₄	2	1	1	2	1	2	2	1	1

Deney sonuçları DÇYTY prosedürüne uygun olarak aşağıdaki adımlara göre analiz edilmiştir.

- Standart sapma, varyans, eğim ve kalite kayıp değerleri tüm denemeler için ayrı ayrı hesaplanır.
- Kalite kayıpları birimlerden arındırılmak amacıyla lineer normalizasyon işlemine tabi tutulur.
- Tüm yanıtları tek bir yanıtla dönüştürmek için AHP Metodu ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak toplam kalite kaybı hesaplanır.
- Taguchi performans istatistiği olan DÇYS/G oranları, toplam kalite kayıplarına bağlı olarak hesaplanır.

Doğrulama deneylerinin analiz sonuçları Tablo 5.36'da verilmiştir. Mevcut üretim koşullarında tüm faktörlerin ikinci seviyesi kullanılmıştır. Firmanın ham madde girdi maliyetlerinin yüksek olması ve üründe yeniden işleme yapılamaması nedeniyle doğrulama deneyleri için 2,00 mm'lik tel siparişlerinin gelmesi beklenmiştir.

Yapılan üretimden alınan örnekler kalite kontrol ölçümleri yapıldıktan sonra bir aylık süre boyunca depolanmış ve yüzey pürüzlülüğü yanıtı için kalite değerlendirmeleri tekrarlanmıştır. Bekleme süresi boyunca kaplamalarda dökülme, oksitlenme, renk değişimi gibi olumsuzlukların depolama koşullarında ortaya çıkma ihtimalinin değerlendirilmesi amacıyla kangallar yeniden sarılmıştır. Taguchi Yöntemi ile elde edilen üretim sonuçlarında Şekil 5.19'da görüldüğü gibi sarıcılardan çıkan ürünlerin ölçüm neticeleri ve görüntüsü tüm kalite ekibi tarafından kabul görmüş ve üretilen ürünler birinci kalite olarak satılmıştır.



Şekil 5.19. DÇYTY doğrulama deney sonuçlarıyla üretilen nihai ürünler

Tablo 5.36. Doğrulama deneyleri: Sinyal / gürültü oranı, standart sapma ve eğim

METOT	Deney No	TEL ÇAPI			MUKAVEMET			KAPLAMA MİKTARI			YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ		
		S/G oranı	SS	β	S/G oranı	SS	β	S/G oranı	SS	β	S/G oranı	SS	β
MEVCUT ÜRETİM*	1	-19,4489	0,311506	0,0331909	-14,0826	42,80120	8,459090	-22,09420	13,2153	1,03841	-36,5628	0,581392	0,0086364
	2	-19,4832	0,310789	0,0329841	-14,5556	45,42700	8,502270	-21,58570	12,3385	1,02795	-38,0020	0,577827	0,0072727
	3	-19,5120	0,312573	0,0330636	-14,6473	45,78060	8,478410	-22,10530	13,4089	1,05227	-39,5510	0,561138	0,0059091
	4	-19,7404	0,323369	0,0333182	-14,0401	42,48330	8,437500	-21,33030	12,3358	1,05841	-39,5510	0,561138	0,0059091
	5	-19,9262	0,326307	0,0329091	-14,2889	43,68840	8,431820	-21,99230	12,8840	1,02432	-34,5756	0,754600	0,0140909
	TOPLAM	-98,1107	1,584544	0,1654659	-71,6145	220,1805	42,30909	-109,1078	64,1825	5,20136	-188,2424	3,036095	0,0418182
ORTALAMA ₁		-19,62214	0,3169088	0,03309318	-14,3229	44,0361	8,461818	-21,82156	12,8365	1,040272	-37,64848	0,607219	0,00836364
DİNAMİK TAGUCHI**	1	-15,5643	0,193119	0,032182	-8,65931	22,45280	8,285230	-15,8912	15,1259	2,427500	-18,6967	0,140836	0,0163636
	2	-15,5123	0,194353	0,032582	-8,46148	21,59500	8,152270	-16,5835	16,7687	2,485000	-18,6967	0,281672	0,0327273
	3	-15,4481	0,191885	0,032407	-8,36435	21,63170	8,257950	-16,5342	16,6845	2,486590	-23,8458	0,467099	0,0300000
	4	-15,6508	0,194447	0,032082	-9,04190	23,08090	8,150010	-15,6983	14,9654	2,455680	-23,4188	0,461537	0,0311364
	5	-15,4968	0,192788	0,032377	-9,10567	24,06700	8,436360	-15,6788	14,8323	2,439320	-26,0206	0,545455	0,0272727
	TOPLAM	-77,6723	0,966592	0,161630	-43,63271	112,8274	41,28182	-80,3860	78,3768	12,29409	-110,6786	1,896599	0,1375000
ORTALAMA ₂		-15,53446	0,1933184	0,032326	-8,726542	22,56548	8,256362	-16,0772	15,67536	2,458818	-22,13572	0,3793198	0,0275
VİKOR***	1	-18,2309	0,270341	0,0331409	-11,1944	30,30140	8,351140	-18,0225	18,0961	2,272270	-28,44590	0,637013	0,0240909
	2	-18,6349	0,282628	0,0330727	-10,3157	27,38600	8,351140	-18,7705	19,1140	2,202050	-32,69040	0,509415	0,0118182
	3	-18,5710	0,268237	0,0316205	-10,0623	26,46130	8,307950	-19,2764	19,4762	2,116820	-34,70280	0,555774	0,0102273
	4	-18,2309	0,270341	0,0331409	-9,16070	23,96960	8,348860	-18,1780	17,7615	2,190680	-26,89590	0,487658	0,0220455
	5	-18,6349	0,282628	0,0330727	-9,35216	24,56060	8,368180	-18,1181	18,1793	2,257730	-33,20140	0,706522	0,0154545
	TOPLAM	-92,3026	1,374175	0,1640477	-50,08526	132,6789	41,72727	-92,3655	92,6271	11,03955	-155,9364	2,896382	0,0836364
ORTALAMA ₃		-18,46052	0,274835	0,03280954	-10,01705	26,53578	8,345454	-18,4731	18,52542	2,20791	-31,18728	0,5792764	0,01672728

* A₂B₂C₂D₂E₂F₂G₂H₂I₂J₂** A₃B₂C₂D₃E₁F₁G₁H₂I₁J₂*** A₃B₃C₃D₂E₁F₂G₁H₁I₂J₁

Her bir yanıt değeri için elde edilen S/G oranı, SS değerleri, varyans sonuçları ve β eğim değerleri Tablo 5.37’de görülmektedir. Yanıtlar için ayrı ayrı yapılan değerlendirmelere göre tel çapı için S/G oranı, VİKOR Metodu için %6’lık bir artış gösterirken DÇYTY’de %29’luk bir iyileştirme sağlanmıştır. Mukavemet için ÇÖKV tekniklerinden VİKOR uygulama sonucuna göre %30’luk bir iyileşme sağlanırken Taguchi Yöntemi %39’luk bir iyileşme sağlamıştır. Kaplama miktarında standart sapma ve varyans değerlerinde hem VİKOR Metodu hem de DTY’deki yüksek iyileşme oranları işçi tecrübesinin ve dikkatinin önemini bir kere daha istatistiki olarak ortaya koymuştur. Ancak kaplama miktarı yanıtında DTY’de S/G oranında %26, eğimde %136 oranında bir iyileşme sağlanırken VİKOR Metodu’nda iyileşme oranları; S/G oranı için %15’te, eğim için %112 ile daha düşük seviyededir.

Tablo 5.37. S/G oranı, SS, varyans ve eğim karşılaştırmaları

		Mevcut Üretim Sonuçları	VİKOR Sonuçları	Dinamik Taguchi Sonuçları	Kazanım VİKOR	Kazanım VİKOR (%)	Kazanım Dinamik Taguchi	Kazanım Dinamik Taguchi (%)
TEL ÇAPI	S/G oranı	-19,6221	-18,4605	-15,5345	1,1571	6	4,0877	21
	SS	0,3169	0,2748	0,1933	-0,0422	-13	0,1236	-39
	Varyans	0,1004	0,0755	0,0374	-0,0249	-25	0,0631	-63
	Eğim- β	0,0331	0,0328	0,0323	-0,0003	-1	0,0008	-2
MUKAVEMET	S/G oranı	-14,3229	-10,0171	-8,7265	4,3058	30	5,5964	39
	SS	44,0361	26,5358	22,5655	17,5320	-40	21,4706	-49
	Varyans	1939,1781	704,1476	509,2009	1235,0305	-64	1429,977	-74
	Eğim- β	8,4618	8,3455	8,2564	0,1164	-1	0,2055	-2
KAPLAMA M.	S/G oranı	-21,8216	-18,4731	-16,0772	3,3485	15	5,7444	26
	SS	12,8365	18,5254	15,6754	-5,6889	-44	-2,8389	-22
	Varyans	164,7757	343,1912	245,7169	178,4155	108	80,9412	49
	Eğim- β	1,0403	2,2079	2,4588	1,1676	112	1,4185	136
YÜZEY PÜR.	S/G oranı	-37,6485	-31,1873	-22,1357	6,4612	17	15,5128	41
	SS	0,6072	0,5793	0,3793	0,0279	5	-0,2279	-38
	Varyans	0,3687	0,3356	0,1439	0,0332	-9	-0,2248	-61
	Eğim- β	0,0084	0,0167	0,0275	0,0008	100	0,0194	229

Üretici firmanın özellikle üzerinde durduğu yüzey pürüzlülüğü yanıtı için istenen iyileştirmenin doğrulama deneyi için yapılan imalat sırasında tatmin edici seviyede olduğu görülmüştür. Çinko banyosundan çıkan ürünlerin son kalite kontrol ve sarıcılarda gözle görülen parlaklık ve pürüzsüzlüğü çalışma ekibi ve kalite kontrol ekibi tarafından fark edilecek kadar iyi olmuştur. Ancak paketleme sonrasında sarıcılardan çıkan kangallar dört haftalık depolama süresinden sonra yeniden sarılmış ve ikinci kontrol işleminde de ürünler kabul görmüştür. S/G oranı için Dinamik

Taguchi %41'lik bir iyileşme sağlarken VİKOR Metodu'nda bu oran %17'de kalmıştır. Eğitimde VİKOR Metodu %100 oranında artış sağlarken DTY %229'luk bir artış sağlamıştır. Yüzey pürüzlülüğü yanıt değişkeninde de standart sapma ve varyans değerleri üzerinde de iyileşme göstermiştir. Tek tek tüm yanıtlar için istatistiki değerlendirme sonuçlarına göre DTY mevcut sistem ve ÇÖKV tekniği VİKOR Metodu'na göre çok daha yüksek bir iyileşme sağlamıştır. DÇYS/G oranı, Çok Yanıtlı Dinamik Taguchi problemleri için kullanılan performans istatistiği değerleri Tablo 5.38'de görülmektedir. Yapılan doğrulama deney sonuçlarına göre varyans ve eğitim değerleri hesaplandıktan sonra kalite kayıpları her bir deneme için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Karşılaştırmalarda birimlerden bağımsızlaştırmak amacıyla lineer normalizasyon işlemi yapılmıştır. Taguchi'nin kaliteyi mal / hizmetin toplumda oluşturduğu kayıp değeri olarak kabul ettiğinin göstergesi olan dinamik Taguchi sürekli-sürekli modeller için kalite kayıp formülü varyans ve eğime bağlı olarak Eşitlik (5.3), Eşitlik (5.4) ve Eşitlik (5.5) kullanılarak hesaplanmıştır.

Normalizasyon işlemi her yanıt değeri için Eşitlik (5.6) kullanılarak yapılmış ve yanıtlar birimlerden arındırılmıştır. Çok yanıtlı problemlerde yanıtların farklı önem derecelerine sahip olduğu bilinmektedir. Bu önem derecelerinin sonuca yansıtılması amacıyla normalize edilmiş değerler AHP Metodu ile belirlenen ağırlıklar ile çarpılarak TKK, Eşitlik (5.7) ile hesaplanmıştır. Toplamalı model olarak da adlandırılan bu formülle elde edilen değerler kalite kayıplarının Dinamik Taguchi Yöntemi'nde çok yanıtlı modellere uygulanması için kullanılan önemli bir adımdır. AHP Metodu ile belirlenerek sübjektifliğin ortadan kaldırıldığı yanıt ağırlıkları kullanılarak kalite karakteristiği olarak seçilen dört yanıt tek bir sütuna indirgenmiştir. Gerek statik gerekse dinamik tüm Taguchi problem türlerinde değerlendirme ölçütü olarak S/G oranı enerji dönüşüm ilkesine bağlı olarak kullanılır. Çok yanıtlı problemlerde de DÇYS/G oranı, TKK'nın 10 tabanında logaritması alınarak Eşitlik (5.8) ile hesaplanmıştır. Tablo 5.38'de dinamik çok yanıtlı sinyal / gürültü oranları mevcut üretim koşulları, VİKOR Metodu ve Dinamik Taguchi Yöntemi sonuçları karşılaştırıldığı zaman en yüksek iyileştirmeyi; $2,350494-0,501104=1,84939$ dB ile DÇYTY sağlamıştır. Ortalama DÇYS/G oranı üzerinden yapılan iyileştirme yüzdesi, %369,06'dır. Bu da oldukça yüksek bir değerdir.

Tablo 5.38. Doğrulama deneyleri sonuçlarına göre hesaplanan TNKK ve DÇYS/G oranları

YANITLAR		TEL ÇAPI		MUKAVEMET		KAPLAMA MİKTARI		YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ			
k_j -kalite kayıp katsayısı		$k_1 = 0,5$		$k_2 = 1,0$		$k_3 = 1,5$		$k_4 = 2,0$			
AHP-ölçüt ağırlıkları		$w_1 = 0,189$		$w_2 = 0,356$		$w_3 = 0,248$		$w_4 = 0,217$			
YÖNTEM ADI	Deney No	K_{i1}	NK_{i1}	K_{i2}	NK_{i2}	K_{i3}	NK_{i3}	K_{i4}	NK_{i4}	TKK_i	$DÇYSG_i$
MEVCUT	1	44,04177	0,89593	25,60145	0,878073	242,9448	0,997434	9063,639	0,502546	0,838341	0,765793
	2	44,39070	0,903028	28,54686	0,979093	216,1086	0,887256	12625,09	0,700015	0,891172	0,500385
	3	44,68612	0,909038	29,15642	1,000000	243,5697	1,000000	18035,44	1,000000	0,992808	0,031347
	4	47,09813	0,958105	25,35181	0,869510	203,7596	0,836556	18035,44	1,000000	0,915093	0,385348
	5	49,15761	1,000000	26,84662	0,920779	237,3129	0,974312	5735,696	0,318024	0,827438	0,822645
TOPLAM		229,3743	4,666101	135,5032	4,647455	1143,696	4,695558	63495,31	3,520585	4,464852	2,505518
ORTALAMA ₁		45,87487	0,93322	27,10063	0,929491	228,7391	0,939112	12699,06	0,704117	0,89297	0,501104
VİKOR	1	33,27095	0,911180	13,16539	1,000000	95,13523	0,749220	1398,365	0,334541	0,786615	1,042378
	2	36,51414	1,000000	10,75389	0,816831	113,0160	0,890037	3715,958	0,888995	0,893433	0,489380
	3	35,98072	0,985392	10,14459	0,770550	126,9790	1,000000	5906,150	1,412970	1,015169	-0,065383
	4	33,27095	0,911180	8,242657	0,626085	98,60357	0,776534	978,6351	0,234126	0,638485	1,948493
	5	36,51414	1,000000	8,614219	0,654308	97,25268	0,765896	4179,954	1,000000	0,828876	0,815104
TOPLAM		175,5509	4,807752	50,920746	3,867774	530,98648	4,181687	16179,0621	3,870632	4,162578	4,229972
ORTALAMA ₂		35,11018	0,9615504	10,1841492	0,7735548	106,197296	0,8363374	3235,81242	0,7741264	0,832516	0,845994
DİNAMİK TAGUCHİ	1	18,00503	0,980267	7,343987	0,902398	58,23918	0,852664	148,1493	0,185186	0,758170	1,202334
	2	17,79086	0,968607	7,016965	0,862215	68,30260	1,000000	148,1484	0,185185	0,578200	2,379219
	3	17,52970	0,954388	6,861780	0,843147	67,53195	0,988717	484,8477	0,606057	0,557256	2,539452
	4	18,36748	1,000000	8,020293	0,985500	55,70887	0,815619	439,4467	0,549306	0,361311	4,421188
	5	17,72788	0,965178	8,138300	1,000000	55,45883	0,811958	800,0029	1,000000	0,756784	1,210281
TOPLAM		89,42095	4,86844	37,381325	4,59326	305,24143	0,537111	2020,595	2,525734	3,011721	11,75247
ORTALAMA ₃		17,88419	0,973688	7,476265	0,918652	61,048286	0,1074222	404,119	0,5051468	0,602344	2,350494

VİKOR Metodu ile elde edilen ortalama DÇYS/G oranı $0,845994-0,501104=0,34489$ dB olup %145, 294'lük bir iyileşme sağlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki Dinamik Çok Yanıtlı Taguchi Yöntemi ile elde edilen faktör-seviye birleşimi ile yapılan doğrulama deney sonuçları, VİKOR Metodu ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında çok yüksek bir oranda iyileşme sağlamıştır.



6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Özellikle hattın kurucu firmasının yapılan çalışmalardan elde edilen en uygun faktör-seviye birleşimi ile ilgili olarak sağladığı faydalar oldukça fazladır. Üretimde ilk seferde doğru üretim yapılması hedeflenmelidir. Hem üretim maliyetlerinin yükseltilmemesi hem de kıt kaynakların israf edilmemesi açısından çalışma neticesinde elde edilen faktörler ve seviyelerine göre yapılan üretimlerde hata oranının düştüğü ikinci kalite ürün deposuna giren kangal sayısındaki azalma ile tespit edilmiştir. Bu durum A firmasına saygınlık kazandırmış ve yeni müşterilere referans olarak çalışma yapılan galvanizleme hattı gösterilmiştir.

Kurulum maliyetleri açısından A firması müşterilerine 97.000 € civarında daha düşük fiyat vererek rakiplerine karşı çok yüksek avantaj elde etmiştir. F faktörü olan verici tipinde üstten açılır çift pozisyonlu tercih edilirken döner tablalı vericinin en uygun tercih olarak çıkması maliyetlerde düşüş sağlamıştır. Aynı şekilde sarıcı olarak kayışlı rozet kangal yerine daha düşük maliyetli rozet kangal kullanılması firma için diğer bir mali avantaj unsuru olmuştur. Çelik kazan hem kullanım ömrü olarak hem de kurulum olarak tuğla kazandan daha iyi bir tercihtir. Ancak firmalar klasik bir anlayış olarak genellikle tuğla kazanı kurulum aşamasında tercih etmektedir. Kurulum firması siparişlerde özellikle tuğla kazan örülmesi için fason işçilik ve çelik kazandan daha pahalı olan refrakter tuğla kullanmaktadır. Yapılan çalışma ile çelik kazanın daha iyi sonuç verdiği görülmüş ve maliyetlerde düşüş sağlanmıştır. Ocak izolasyonunda yapılacak çift katlı koruma küçük bir maliyet farkı ile ergimiş metal sıcaklığını olumsuz dış etkenlerden korumak ve ergimiş çinko sıcaklığını sabit seviyede tutmak için önemli bir faktördür. Üretim kalitesini etkileyen önemli faktörlerden olması sebebiyle çift katlı korumalı ocak izolasyonu, A firmasının teknik destek ekibinin firmalara önerdiği bir seçenektir. Yapılan çalışma ile bu öneri bilimsel olarak desteklenmiş ve dokümanlara madde olarak eklenmesi kararlaştırılmıştır. Yeni alınan siparişlerde müşteriler çift katlı korumayı uygulamayı kabul etmişlerdir.

Çinko sıyırma metodu özellikle kaplama miktarı ve yüzey pürüzlülüğü yanıtları açısından önemli bir faktördür. Kurulum maliyeti daha düşük olduğu için genellikle pad sıyırma tercih edilmektedir. Ancak gürültü faktörü olarak seçilen işçi kalitesi pad sıyırmada son derece önemlidir. Yapılan çok küçük bir hata üretim kalitesini düşürmekte ve telin ikinci kalite ürün olarak daha düşük fiyatlara satılmasına neden olmaktadır. Şekil 6.1 pad sıyırma ve azot sıyırma sistemlerini göstermektedir. Pad sıyırmada işçinin sürekli olarak biriken çinkoyu basit bir aparatla dağıtması gerekmektedir. Üretici firma ilk bakım çalışmasında hattın bir kısmını azot sıyırma sistemine dönüştürmüştür.



Şekil 6.1. Çinko sıyırma sistemleri

Yeniden işleme imkânı olmayan galvanizli tel imalatında ilk seferde kaliteli üretim yapmak esastır. Azot sıyırma sistemleri ile kaplama miktarının ayarlanmasında ve yüzey pürüzlülüğü yanıtında gözle görülür iyileşme sağlanmasında çok daha iyi netice elde edilmiştir. Çinko pahalı bir ham madde olduğu için kaplama kalınlığı metrekaresine düşen gramaj olarak ölçülmektedir. Londra Metal Borsa'sında (LME) çinko son yılların en yüksek seviyesinden işlem görmektedir. Üretim ve dolayısıyla metal stoklarındaki azalmalara ilave olarak satışların dolar bazında yapılması firmanın sıyırma metodu konusunda azot sıyırmayı seçmesinin ne kadar isabetli bir karar olduğunu göstermiştir. Yeni uygulanan sistemle çinko kullanımı %20 oranında düşmüştür. Ayrıca firmaya kendi çinko girdisini kısmen oluşturması amacıyla kül geri dönüşüm tesisi kurması önerilmiştir.

Azot sıyırma sistemleri bilgisayar otomasyonu ile yapılmaktadır. Bu sistemler yurt dışından satın alınmakta olup oldukça pahalıdır. Ancak kurucu firmaya bu sistemlerin yurt içinde üniversite-sanayi iş birliği ile yapılabileceği söylenmiştir.

Kurucu firma ile yürütülen proje kapsamında TÜBİTAK destekli azot sıyırma sistemi geliştirilmiş ve patent başvurusu yapılarak kurucu firmaya “Orta Yüksek Teknoloji Üreten Firma” unvanı verilmiştir. Böylece teknoloji transferi yapılan bir sistem yerli üretim ile dışa bağımlılıktan kurtarılmıştır.

Üretici B firması doğrulama deneyleri sonucunda VİKOR Metodu’ndan çok daha iyi netice veren DTY faktör-seviye birleşimleri ile yapılan üretimin kusursuz bir şekilde sağlanması karşısında son derece memnun olduğunu ifade etmiştir. Rekabetin artık dünya çapında olduğu günümüzde kaliteli ürüne en düşük maliyetle, en az israfla ve ilk seferde ulaşmak B firması için oldukça önemli bir unsurdur.

Günde en az iki flux ölçümü yapılan firmada ölçümün bir kere yapılmasının yeterli olduğu çalışma sonucunda görülmüştür. Ölçüm sabahları vardiya değişiminde bir önceki vardiya işçisi tarafından yapılarak hazırlanan bir form ile düzenlenmiştir. Böylece gündüz ve gece vardiyasında çalışanlardan herhangi birinin yaptığı flux ölçümündeki karmaşa ortadan kaldırılmıştır.

Ergimiş metal sıcaklığı tüm yanıtlar için oldukça önemli bir faktördür. Tel çapı, kaplama kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü açısından birinci derecede önemli olan ergimiş saf çinko sıcaklığı 465 °C olarak ayarlanmıştır. Bu konuda sıcaklığı sabitlemek amacıyla tek katlı özel bir malzeme ile kaplanan çinko kazanı çift katlı olarak korumaya alınmıştır. Böylece yüksek maliyetli saf çinko kullanılan ocakta ideal sıcaklık şartı sağlanmıştır. Oluşan külü geri dönüşüm tesislerine satan firma yüksek maliyetli ham madde girdilerinden olan saf çinkonun daha az oranda karıştığı bir atık elde ederek çinko girdi maliyetlerinde düşüş sağlamıştır.

Mukavemet yanıtını doğrudan etkileyen faktörlerden olan ham madde girdi mukavemeti 2,00 mm tel için 1100-1200 N/mm² olarak belirlenmiş ve daha önce 1000-1100 N/mm² olarak kullanılan ham maddelerden daha düşük maliyetli olan filmaşın kullanılması firmanın girdi maliyetlerini azaltmıştır.

DÇYS/G oranında ortalama değer olarak DTY 2,853 dB’lik bir iyileşme sağlarken VİKOR Metodu ÇYS/G oranında 0,345 dB iyileşme sağlamıştır. Tüm yanıtlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde de DTY oldukça iyi bir netice vermiştir. Tel çapı için S/G oranında %21’lik bir iyileşme sağlanırken mukavemette bu oran %69 ile daha da

yüksektir. Kaplama miktarı yanıtında %26 iyileşme görülürken B firmasının özellikle araştırılmasını istediği yüzey pürüzlülüğü yanıtında iyileşme %41 ile en yüksek düzeyde gerçekleşmiştir. Tel çapı yanıtında varyansta %63 düzelme sağlanırken mukavemette %74, yüzey pürüzlülüğünde %61 oranında iyileşme elde edilmiştir. Bu oranlar oldukça yüksektir. Eğitimde tel çapında %2'lik bir artış sağlanırken kaplama miktarında %136'lık yükselme sağlanmış, yüzey pürüzlülüğünde ise %229 ile en yüksek oran elde edilmiştir.

VİKOR Metodu ile elde edilen sonuçlar DTY ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında daha düşük seviyededir. Dinamik Taguchi Yöntemi galvanizli çelik tel hattına ilk defa uygulanmış, ortogonal dizilerle yapılan deney tasarımı sonuçları önerilen yöntemle analiz edilerek gürültü koşullarında en iyi faktör / seviyeleri belirlenmiştir. Dinamik Taguchi Yöntemi'nin parametre tasarımı ile yüksek kalitedeki ürünler düşük maliyetlerle üretilmiştir. Taguchi Yöntemi'nin etkinliği VİKOR Metodu ve mevcut üretim şartları ile karşılaştırılarak ispatlanmıştır. Özellikle sürekli üretim tesisi olan bir hatta çok yanıtı bir problemin eniyilenmesinin girdi sinyali ve üç gürültü faktörünün dikkate alınarak yapılmasına Dinamik Taguchi Yöntemi'nin yapılan literatür taramasında rastlanmamıştır. Bu açıdan bakıldığında ülkemizde ilk defa bir endüstriyel probleme uygulanması önemlidir. Çok farklı kalınlıklarda tel imalatı yapılan sıcak daldırma galvanizli tel hattının kurucu A firması, 2,00 mm teller için yapılan bu çalışmayı farklı kalınlıklardaki teller için de uygulamak amacıyla benzetim deneyleri yapmayı kararlaştırmıştır. Doğrulama deneylerinin daha hızlı ve kontrollü yapılması amacıyla minyatür bir hat hazırlanmasına da karar verilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İletişimin ve bilgiye ulaşmanın son derece kolay olduğu günümüz dünyasında kurumlar arası rekabet uluslararası boyutlara ulaşmıştır. Mal ya da hizmet üreten tüm firmalar piyasada varlıklarını devam ettirebilmek için en az maliyetle, en kısa sürede ve en kaliteli ürünü ya da hizmeti tek seferde ve kısıtlı kaynaklar nedeniyle sıfır israf ile üretmek zorundadır. Bu nedenle ancak Ar-Ge çalışmalarına ağırlık veren ülkeler ve firmalar dünya piyasasındaki varlıklarını uzun süre devam ettirebilirler. Gelişen teknolojik şartlar ve değişen talepler yüksek kaliteyi gerektirmektedir.

Kaliteli ve düşük maliyetli üretim yapılması amacıyla pek çok teknik geliştirilmiştir. Bu tekniklerden birisi de 1920'li yıllardan beri kullanılan deney tasarım metotlarıdır. Deney tasarımı farklı bir bakış açısıyla ve güçlü tasarım adıyla Dr. Genichi Taguchi tarafından mühendislik alanında 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmış ve hızla yayılmıştır. Taguchi'nin geliştirdiği güçlü tasarım metotlarının ve kalite felsefesinin yaygınlaşmasının temel nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Bir ürünün kalitesini o ürünün kalitesizliğinin toplumda oluşturacağı toplam kayıp belirler ve bu kayıp hedeften sapmanın karesi ile doğru orantılı olup “Kalite Kayıp Fonksiyonu” olarak performans ölçümünde kullanılmaktadır.
- Firmalar piyasada kalmak istiyorlarsa maliyetleri düşürürken kaliteyi sürekli olarak geliştirmelidirler. Bunun için üretimi tek seferde, kusursuz ve düşük maliyetle yapmak temel esastır.
- Ürünün kalitesi ve maliyetini tasarım aşamasındaki mühendislik çalışmaları belirlemektedir. Bu amaçla tasarım aşamasında yapılan çalışmalarla ürün ya da süreçte oluşması kaçınılmaz olan performans değişikliklerinin azaltılması amacıyla sistem üzerindeki etkin faktörler belirlenmelidir.
- Ürün / sürecin performansında ortaya çıkan değişkenliği azaltmak amacıyla deney tasarım yöntemleri ve istatistiki metotlar kullanılarak ürün, süreç ya da sistemleri etkileyen faktörlerin en uygun seviyeleri belirlenerek üretim yapılmalıdır.

- Taguchi Yöntemi gerek dinamik gerekse statik özellikte olsun, tüm sistem problemlerine uygulanabilir. İstatistik ve matematiğin birlikte kullanıldığı yöntemin anlaşılması ve uygulaması oldukça kolaydır. Ayrıca klasik deney tasarım metotlarına kıyasla kullanılan OD'ler sayesinde daha az deneyle, daha kısa sürede ve daha düşük maliyetlerle en iyi sonuca ulaşılabilir. OD, pek çok faktörün farklı seviyelerinin aynı anda incelenebilmesi imkânını sağlar. Taguchi Yöntemi sistemde var olan ve olumsuz etkilerinin önüne geçilemeyen gürültü faktörlerinin deney tasarımına dâhil edilmesine de imkân tanır. Böylece elde edilen tasarım çok daha iyi ve sağlam olmaktadır.
- Yöntem parametre tasarım aşamasında etkileşim etkilerini tam olarak yansıtamadığı için eleştirilmektedir. Ancak zaten Taguchi sistem analisti tarafından tespit edilenler dışındaki etkileşimlerin deneylere dâhil edilmesini işlem karmaşıklığının önüne geçilmesi amacıyla önermemektedir. Ayrıca önemli etkileşimlerin varlığı analiz neticelerinden kolaylıkla tespit edilebilir.
- Çalışmanın asıl konusu olan DÇYTY, çıktı yanıtının bir veya daha fazla girdi sinyalinden etkilendiği sistemlere uygulanabilen bir metottur. Statik sistemlerde çıktı yanıtını doğrudan etkileyen bir girdi sinyali yoktur. Ancak pek çok sistem dinamik özellik gösterir. Bu çalışmada gösterildiği gibi DTY, girdi sinyaline sahip tel üretim parametrelerinin faktör seviyelerinin en uygun birleşimini belirleyen optimum bir tasarım için sistematik ve etkili bir yöntem sağlamaktadır.
- Taguchi Yöntemi çok yanıtlı problemlere de uygulanabilmektedir. Statik problemlerde çok yanıtlı problem çözümleri ve bu konuda pek çok çalışma literatürde mevcutken dinamik problemlerde konuyla ilgili az sayıda çalışma yapılmıştır. Dinamik problemler için uluslararası yayınlarda farklı metotlar ile birlikte uygulanan Taguchi Yöntemi oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Ancak ülkemizde bu konuda yapılmış olan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma sürekli üretim yapılan bir tesise ilk defa uygulanmış ve VİKOR Metodu ile alternatif bir yaklaşım olarak desteklenmiştir.
- Bu çalışmanın konusu ve önerdiği DTY hem uygulandığı sektör ve imalat sistemi hem de metodoloji olarak örnek bir uygulamadır. Ayrıca çalışmanın diğer çok ölçütlü karar verme tekniklerinden VİKOR Metodu ile de analiz edilmesi, DTY ile elde edilen iyileşme oranlarının yüksekliği ve güçlü tasarımın sağlanması açısından son derece önemlidir.

Çalışma kurulum ve üretim olmak üzere iki ayrı firmanın ortak katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı B firmasının 2,00 mm çaplı galvanizli çelik tel numune üretiminde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü probleminin çözülmesi ve A firmasının hat tasarımı aşamasında tel çapı, mukavemet ve kaplama kalınlığı yanıtlarını gürültüye duyarsızlaştırarak güçlü tasarım elde etme isteğidir. Firmaların bu yöndeki talepleri çalışma ile karşılanmış, ayrıca pek çok noktada yapılan öneriler firmalar tarafından olumlu olarak değerlendirilmiştir.

Ürün üzerinde etkili olan kontrol edilebilen faktörler, gürültü faktörleri ve sinyal faktörü ve bunların seviyeleri her iki firmanın çalışanlarının oluşturduğu uzman bir ekip tarafından belirlenmiştir. Çalışmada beş tanesi iki seviyeli beş tanesi üç seviyeli olan toplam on adet kontrol edilebilen faktör $L_{18}(3^5 \times 2^5)$ iç OD'e atanmıştır. Tüm yanıtlar üzerinde ortak etkiye sahip olduğuna karar verilen bir girdi sinyali üç seviyeli olarak belirlenmiş, kontrol edilmeleri hem zaman hem de maliyet olarak oldukça zor olan üç adet gürültü faktörü ise her biri ikişer seviyeli olmak üzere $L_4(3^1 \times 2^4)$ dış OD'e atanmıştır. Toplam 216 deney yapılarak tüm yanıtlar için 864 veri elde edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü yanıtı için sarılan galvanizli tel kangalları depolarda bir ay bekletildikten sonra kalite kontrol ekibi tarafından yeniden sarılmış ve bu sonuçlar da değerlendirmeye alınmıştır. Çünkü depolama şartları, nem ve paketleme koşulları da kaplama kalitesini ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen gürültü faktörleri arasındadır. Ancak deney süresini ve maliyetlerini yükseltmemek için çalışmaya dâhil edilmemiştir. Yanıtlar için kalite önemlilik katsayıları kalite ekibi tarafından beyin fırtınası yapılarak sırasıyla 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 olarak belirlenmiştir. DÇYS/G oranının belirlenmesi ve VİKOR Metodu'nda yanıt ölçütlerinin ağırlıkları ÇÖKV tekniklerinden AHP Metodu ile sırasıyla 0,189; 0,356; 0,248; 0,216 olarak tespit edilmiştir. Deney tasarımı sonucunda elde edilen veriler DÇYTY ve ÇÖKV tekniği VİKOR Metodu ile analiz edilmiştir. Yapılan doğrulama deneyleri neticesinde Taguchi Yöntemi'nin mevcut üretim koşulları ve VİKOR Metodu ile elde edilen faktör / seviye birleşiminden çok daha iyi netice verdiği görülmüştür. DTY ile elde edilen faktör / seviye birleşimi Tablo 7.1'de görülmektedir.

Tablo 7.1. En iyi faktör-seviye kombinasyonu

A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ E ₁ F ₁ G ₁ H ₂ I ₁ J ₂	
FAKTÖRLER	FAKTÖR SEVİYELERİ
A-Ham madde girdi mukavemeti (N/mm ²)	1100-1200
B-Tav fırın sıcaklığı (°C)	850
C-Ergimiş metal sıcaklığı (°C)	455
D-Tel dalma boyu (m)	9
E-Flux ölçüm sıklığı	1
F-Verici tipi	Döner Tablalı
G-Sarıcı tipi	Rozet Kangal
H-Çinko sıyırma türü	Azot Sıyırma
I-Kazan türü	Çelik Kazan
J-Ocak izolasyonu	Çift Katlı Koruma

DÇYTY ile yapılan çalışmalardan elde edilen faktör / seviye birleşimine göre yapılan doğrulama deneyleri neticesinde ortaya çıkan iyileşmeler aşağıda sıralanmıştır.

- Yanıtlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde tel çapında 4,088 dB, mukavemette 5,596 dB, kaplama miktarında 5,744 ve yüzey pürüzlülüğünde 15,513 dB iyileşme sağlanmıştır. Eğimde ise kaplama miktarında %136 ve yüzey pürüzlülüğünde %229'luk bir artış elde edilmiştir. Varyansta tel çapında %63, mukavemette %74, yüzey pürüzlülüğünde ise %61 oranında iyileşme sağlanmıştır.
- Özellikle kurucu A firması elde edilen iyileştirmeler neticesinde diğer tüm tel çapları için çalışmanın yapılmasına karar vermiş ve mevcut çalışma ekibini bu konu ile ilgili görevlendirmiştir. Yaklaşık 30 farklı çapta tel imalatı yapabilen hat tasarımında çoklu altrenatiflerin aynı anda değerlendirilmesi ve en iyi çözüme ulaştırılması amacıyla firmaya benzetim deneylerinin yapılması önerilmiştir.
- Taguchi'nin üzerinde durduğu güçlü tasarımın üretim aşamasında değil ürün tasarlanırken elde edilmesi prensibi hem kurucu A firması hem de B firması tarafından kabul görmüş ve kalite sağlama çalışmalarına tüm personelin katılımının sağlanması amacıyla ortak karar alınmış ve bu konuda uygulama çalışmalarına başlanmıştır.
- Kaplama miktarı yanıtında standart sapma ve varyansta artış gözlenmiştir. Üretimde sıyırma aşamasından önce kazanda biriken ergimiş çinko tel üzerinde farklı kalınlıklarda kaplama alanı oluşturduğu için kaplamada homojenlik sağlamak son derece zordur. Bunun önüne geçebilmek amacıyla firma işinde tecrübeli çalışanla ve özel bir aparatla biriken çinkoyu dağıtmaktadır. Ancak çalışma esnasında dağıtımın yeterli sıklıkta olmadığı ve işçinin manuel olarak

yaptığı bu işlemde hatanın kaçınılmaz olduğu deney neticelerinde görülmüştür. Firmaya çinko kazanının sıyırma alanı bölümüne belirli aralıklarla sıcak hava fanları yerleştirmesi önerilmiştir. Çalışma ekibi mühendisleri tarafından kabul gören bu öneri diğer siparişlerde uygulanmak üzere projelere dâhil edilmiştir.

- Firmada üretim ayarlamaları tahminî hesaplanan başlangıç değerleri ile yapılmakta ve sarıcılarda belirli bir miktar tel sarıldıktan sonra ilk kalite sonuçlarına göre sistem yeniden ayarlanmaktaydı. Bu nedenle üretilen çelik telin ilk 5-10 metrelik kısmı hurdaya ayrılmaktaydı. Dinamik Taguchi ile elde edilen faktör / seviye birleşimleriyle yapılan ayarlamalarda yeniden düzenleme ihtiyacı olmadan üretim yapılmış ve hurda kaybı ortadan kaldırılmıştır. Binlerce ton üretimin yapıldığı tesiste elde edilen kazanım kangal başına %8 olup oldukça yüksektir.
- Taguchi Yöntemi statik sistemlerin yanında dinamik sistemlerde de oldukça iyi neticeler vermiştir. Ülkemizdeki pek çok dinamik sisteme uygulanabilecek bir deney tasarım tekniğidir. Ayrıca tasarım çalışmaları ile dünya piyasasına yeni ürünlerle girmek sürekli gelişen Türkiye ekonomisi için önemli bir adımdır. Mal veya hizmet üretimlerinde kusursuzluğa, sıfır israfla ve tek seferde ulaşabilmek için DÇYTY ve diğer bilimsel çalışmalar etkin bir şekilde kullanılmalıdır. Üniversite-sanayi iş birliğinin ekonominin her aşamasında kullanılmasının gerekliliği, üzerinde tartışmanın olmadığı önemli bir konudur. Çalışmada önerilen yöntem sadece üretim alanlarına değil, sosyal çalışmalara da uyarlanabilecek esneklikte olup ülkemizin sosyal konulardaki gelişmişlik ihtiyacını da karşılayabilecektir.
- Deney tasarım metotlarının mühendislik ile birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan Taguchi Yöntemi her seviyedeki personele eğitim ile anlatılabilecek kadar kolay, pratik, daha kısa sürelerde daha verimli sonuçların alındığı bir yöntemdir. Çalışma ekibinde işçiden üst düzey yöneticiye kadar her seviyeden eleman ile toplam katılım sağlanmış ve ara eğitimler ile sonuçların sürdürülebilirliği anlatılmıştır.
- DÇYTY ile elde edilen güçlü tasarım sonuçları, on-line yapılan etkin kalite politikaları ile desteklenmiştir. Üretici B firması kurucu A firmasının teknik destek ekibinin proaktif bakım çalışmalarıyla hat ömrünü neredeyse iki katına çıkararak üretim miktarlarını ve pazar paylarını artırmıştır. Kurucu firma, yurt içi

ve yurt dışı müşterilerine B firmasının 1 nolu galvanizli çelik tel hattını referans olarak göstererek yurt içi ve yurt dışında yeni hat siparişleri almıştır.

Küresel dünyada Ar-Ge çalışmalarının önemi herkes tarafından bilinmektedir. Ülkemiz stratejik konumu nedeniyle sosyal, siyasi, ekonomik ve askerî alanlarda güçlü olmak zorundadır. Dünyadaki kıt kaynaklar, yoğun nüfus artışı ve aslında yaratılan her varlığa yetecek kadar olan her türlü ürünün orantısız ve insani olmayan politika ve uygulamalarla savaş nedeni olduğu günümüzde israf ve kalite önemli kavramlardır. Önerilen yöntem daha tasarım aşamasında en sağlam ürünü, en kısa sürede ve kusursuz bir şekilde üretmeyi sağlayacak faktör / seviye birleşimi ile sıfır israfı sağlayabilmiştir. Ar-Ge çalışmalarında özellikle Dinamik Taguchi Yöntemi'nin ve VİKOR Metodu'nun birlikte kullanılması çok yanıtli dinamik problemlere yeni bir yaklaşım getirmiştir. Ayrıca çalışmanın olumlu sonuçlarına bağlı olarak kurucu firmanın tasarımını yaptığı tüm ürünlerde, sektörde çalıştığı tüm alanlarda, mal veya hizmet üretimi yapılan tüm işletmelerde kullanımı için uygulama çalışmalarının başlatılması bilimsel destekli çalışmaların öneminin kavranması açısından örnek teşkil etmiştir.

Birden fazla kalite karakteristiğinin aynı anda en iyi değerlere ulaştırılması, hedef değerlerin minimum değişkenlikte gerçekleştirilmesi kalite sağlamanın maliyetini düşürmüş, firma kârlarını artırmış ve müşteri memnuniyetini yükseltmiştir. Ayrıca tüm bu çalışmalar sırasında kalitenin sağlanmasında temel hedefin firma kârı olmadığı, kalitenin sosyal boyutunu oluşturan müşteri memnuniyeti, israfın önlenmesi, yapılan işin hangi kademedede olursa olsun en mükemmel ve çevreci bir yaklaşımla yapılması toplam katılım anlayışı ile tüm çalışanlara verilmeye çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

Abd K., Abhary K., Marian R., Multi-Objective Optimisation of Dynamic Scheduling in Robotic Flexible Assembly Cells Via Fuzzy-Based Taguchi Approach, *Computers and Industrial Engineering*, 2016, **99**, 250-259.

Ada H., API Borularının Kaynaklı Birleştirmelerinde Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2017, 460871.

Akman G., Özkan C., Sac İmalatında Karşılaşılan Yapışma Probleminin Deney Tasarımı ile Çözümü, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 2011, **12**(2), 187-199.

Aksu B., Shainin ve Taguchi Yöntemleri ve Bir Uygulama Üzerinde Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 259474.

Aktan C. C., Japon Yönetimindeki Başarının Sırları, *Ekonomik Forum Dergisi*, 1998, **5**(6), 50-52.

Altın A., Inconel 600 Süper Alaşımının Tornalanmasında İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2013, **28**(4), 677-684.

Amiri A., Bashiri M., Mogouie H., Doroudyan M. H., Non-normal Multi-Response Optimization by Multivariate Process Capability Index, *Scientia Iranica*, 2012, **19**(6), 1894-1905.

Anawi E. M., Olabi A. G., Using Taguchi Method to Optimize Welding Pool of Dissimilar Laser-Welded Components, *Optics & Laser Technology*, 2008, **40**(2), 379-388.

Antony J., Simultaneous Optimization of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Uses Taguchi's Loss Function, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2001, **17**, 134-138.

Antony J., Anand R. B., Kumar M., Twari M., Multiple Response Optimization Using Taguchi Methodology and Neuro-Fuzzy Based Model, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2006, **17**(7), 908-925.

Arvidsson M., Gremyr I., Principles of Robust Design Methodology, *Quality and Reliability Engineering International*, 2008, **24**(1), 23-35.

Aslan S., Kayır Y., Aytürk A., AISI 316Ti Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi ile Analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2013, **28**(2), 363-372.

Awad M. I., Kovach J. V., Multiresponse Optimization Using Multivariate Process Capability Index, *Quality and Reliability Engineering International*, 2011, **27**(4), 465-477.

Aytaç A., Yılmaz B., Deniz V., Lastik Kordu Üretiminde Büküm Yönünün Etkilerinin Taguchi ve Tam Etkensel Deney Tasarımıyla İncelenmesi. *İşletme Fakültesi Dergisi*, 2009, **9**(1), 61-71.

Bahloul R., Mkaddem A., Santo P. D., Potiron A., Sheet Metal Bending Optimization Using Response Surface Method: Numerical Simulation and Design of Experiments, *International Journal of Mechanical Sciences*, 2006, **48**(9), 991-1003.

Bakır M. A., Ekni M., Taguchi Kalite Kontrolü Sinyal-Gürültü Oranlarına Doğrusal Programlama Yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1998, **111**(4), 749-761.

Barutçugil İ., *Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri*, Genişletilmiş 2. Baskı, Uludağ Üniversitesi Yayınları, Bursa, 1988.

Bashiri M., Amiri A., Jalili M., Taguchi Design Optimization Using Multivariate Process Capability Index, *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2016, **9**(1), 57-78.

Baycık H., Koltuk F., Müftüoğlu F., Galvanizli Çeliklerin Mikroyapısı, *Mühendis ve Makina*, 2003, **525**(1), 27-31.

Baynal K., Aksu B., Shainin and Taguchi Methods and Their Comparison on an Application, *1st International Symposium on Computing in Science & Engineering*, Aydın, Türkiye, 3-5 Haziran 2010.

Baynal K., Boran S., Taguchi Tekniği Tabanlı Çok Ölçütlü Yöntem ile Üretim Parametrelerinin Eniyilenmesi, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği- XXIV Ulusal Kongresi*, Gaziantep-Adana, 15-18 Haziran 2004.

Baynal K., Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile En İyilenmesi ve Bir Uygulama, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2003, 140452.

Baynal K., Gencel İ., Taguchi Yönteminin Gıda Sektöründe Çok Yanıtlı Problemin Eniyilemesinde Uygulanması, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2015, **19**(1), 107-121.

Baynal K., Şahin Y., Taphasanoğlu S., Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lüks Konut Projesi İçin Beyaz Eşya Seçimi, *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2019, **8**(2), 1871-1888.

Baynal K., Terzi Ü., Çoklu Kalite Başarım Özelliklerinin Hedef Programlama ve Taguchi Yöntemi Kullanılarak Eniyilenmesi, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi Bildiriler Kitabı*, 2004, 25-27, 573-578.

Bayrak B., Laçın O., Saraç H., Ham Manyezit Cevherinin Glukonik Asit Çözeltilerinde Çözündürülmesinin Optimizasyonu, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2015, **16**(2), 195-202.

Belavendram N., Kelang J. G., Principles of Robust Design, *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, İstanbul, Türkiye, 3-6 Temmuz 2012.

Bilişik M. T., Gençyılmaz G., Hizmet Kalitesinin İyileştirilmesinde Deneysel Tasarım Metodu, *Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, Kültür Üniversitesi, İstanbul, 22-23 Eylül 2006.

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*, 2009, **9**(35), 1-5.

Box G. E. P., Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria. and Transformations, *Technometrics*, 1988, **30**(1), 1-40.

Boylan G. L., Cho B. R., Solving the Multidisciplinary Robust Parameter Design Problem for Mixed Type Quality Characteristics under Asymmetric Conditions, *Quality and Reliability Engineering International*, 2014, **30**(5), 681-695.

Boylan G. L., Goethals P. L., Rae Cho, B., Robust Parameter Design in Resource-Constrained Environments: An Investigation of Trade-offs Between Costs and Precision within Variable Processes, *Applied Mathematical Modelling*, 2013, **37**(4), 2394-2416.

Bozkurt R., Odaman A., *ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri*, 549, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1995.

Breyfogle F. W., *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 549-570, 2003.

Bumin B., Erkutlu H., Toplam Kalite Yönetimi ve Kıyaslama İlişkileri, *Gazi Üniversitesi, İ. İ. B. B. Dergisi*, 2002, **4**(1), 83-100.

Büyükdora G., *Standartların Faydası ve Uygulamasında Karşılaşılan Sorunlar*, M.P.M. Yayınları, Ankara, 1997.

Cabir S., Kayıcı Pabuç Yüzey Tasarımının Taguchi ve Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2019, 562800.

Caleb Li M. H., Optimising Operating Conditions by Selection of Optimal Threshold Value for Digital-Digital Dynamic Characteristic, *The International Journal of Advanced Manufacturing Thechnology*, 2001, **17**(3), 210-215.

Canıyılmaz E., Kutay M., Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Dergisi*, 2003, **18**(3), 51-63.

Chan H. L., Liang S. K., Yield Improvement for Blood Glucose Strip by Taguchi Dynamic Approach. *International Journal of the Information Systems for Logistics and Management*, 2005, **1**(1), 9-16.

Chang H. H., A Data Mining Approach to Dynamic Multiple Responses in Taguchi Experimental Design, *Expert Systems with Applications*, 2008, **35**(3), 1095-1103.

Chang H. H., Chen Y. K., Neuro-genetic approach to optimize parameter design of dynamic multiresponse experiments, *Applied Soft Computing*, 2011, **11**(1), 436-442.

Chatterjee P., Athawale V. M., Chakraborty S., Selection of Industrial Robots Using Compromise Ranking and Outranking Methods, *Robotics and Compute-Integrated Manufacturing*, 2010, **26**(5), 483-489.

Chatsirirungruang P., Application of Computer Aided Engineering with Genetic Algorithm and Taguchi Method in Nonlinear Double-Dynamic Robust Parameter Design, *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Hong Kong, March 17-19, 2010.

Cheng W. T., Li H. C., Huang, C. N., Simulation and Optimization of Silicon Thermal CVD Through CFD Integrating Taguchi Method, *Chemical Engineering Journal*, 2008, **7**(3), 603-613.

Cox D. R., Reid N., *The Theory of the Design of Experiments*, 1st ed., Chapman & Hall/CRC, 2000, 28-30.

Çakmak D. Ö., Pişiricilerde Kullanılan Yüksek Verimli Bekin Özelliklerinin Taguchi Deney Tasarımı Metodu ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2019, 571095.

Çelik C., Burnak N., A Systematic Approach to the Solution of the Design Optimization Problem, *Total Quality Management*, 1998, **9**(1), 101-108.

Çelik Cafer., Kalite Geliştirmede Tasarım Eniyileme Problemine Taguchi Yöntemlerinin Uygulanmasında Sistemik Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 1993, 28840.

Çelik H., Smed-Taguchi Yöntemi Esaslı İş Sıralaması Yaklaşımı ile Toplam Ayar Süresinin Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2019, 567258.

Çetin Ş., 15-5 pH Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında İşleme Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalt Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, 2016, 446972.

Çubuk A., Lazol İ., *Mali Tablolar Analizi*, 17. baskı, Ekin Kitabevi Yayınları, İstanbul, 2016.

Dasgupta T., Miller A., Wu C. F. J., Robust Design of Measurement Systems, *Technometrics*, 2010, **52**(1), 338-346.

Dervişoğlu N., Muluk F. Z., Taguchi Tasarımının Uygulanması ve Klasik Kesirli Çoquetkenli Tasarımla Karşılaştırılması, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2006, **8**(1), 65-78.

Dessler G., *Human Resource Management*, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2008.

Dhannoon H. A., Irak Karayolları için Taguchi Yöntemi Kullanarak Geri Kazanım Asfalt Malzemeleri ile Binder Tabakası Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2017, 478366.

Dixon D., Eatock J., Meenan B. J., Morgan M., Application of Design of Experiment (DOE) Techniques to Process Validation in Medical Device Manufacture, *Journal of Validation Technology*, 2006, **12**(2), 92-100.

Doğan İ. Ö., *Kalite Uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi*, 1.baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2000.

Dolan J. G., Multi-Criteria Clinical Decision Support: A Primer on the use of Multiple Criteria Decision Making Methods to Promote Evidence-Based, *Patientcentered Healthcare: Patient*, 2010, **3**(4): 229-248.

Dovey S. J., Matthews A., Taguchi and TQM: Quality Issues for Surface Engineered Applications, *Surface and Coatings Technology*, 1998, **110**(1-2), 86-63.

Durmuş G., Toz ve Sıvı Kahve Beyazlatıcısı Üretimi ve Taguchi Metodu ile Reçete Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2018, 516631.

Durmaz S., Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2008, 216048.

Düren Z., *İşletmelerde Kalite Çemberleri*, 1. baskı, Evrim Basım, İstanbul, 1990.

Efil İ., *Yönetimde Kalite Çemberleri*, 1. baskı, Alfa Yayınları, İstanbul, 1999.

Ekincioglu C., Ergonomik Risk Değerlendirme ve Gri Esaslı Taguchi Yöntemleri ile bir SMED Yaklaşımı Önerisi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2016, 483854.

Elfarah T. T. K., Magnezyum Matrisli Karbür Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretiminin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu , Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu, 2018, 492471.

Erol V., Akın B., Çetin C., *Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 9000*, 1. baskı, Beta Yayınları, İstanbul, 1998.

Ertuğrul İ., *Toplam Kalite Kontrol*, Ekin Yayınları, Bursa, 2014.

Ertuğrul İ., Karakaşoğlu N., “Banka Şube Performanslarının Vikor Yöntemi ile Değerlendirilmesi”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, **20**(1), 19-28.

Eşme U., Kazançoğlu Y., Özbek A., Zorlu F., Galetaj ile İşlemede Yüzey Pürüzlüğünün Taguchi Metodu Kullanılarak Eniyilenmesi, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 2009, **8**(1), 197-211.

Eymen U. A., *Kalite Fonksiyon Göçerimi*, Kalite Ofisi Yayınları, İzmir, 2006.

Feigenbaum A. V., *Total Quality Control*, 3rd. ed., Mc Graw-Hill Book Company, Singapore, 1986.

Ferah M., Çok Yanıtlı Taguchi Deneyisel Tasarım Metodu ve Alüminyum Sanayinde bir Uygulama, *Sakarya Üniveritesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2003, **7**(2), 61-69.

Figueira J., Greco S., Ehrgott M., *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 2nd ed., Springer, 2005.

Fiğlalı A., Engin O., Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Artırılmasında Deney Tasarımının Uygulaması, <http://hdl.handle.net/11527/11947>, (Ziyaret tarihi: 23 Ekim 2019).

Flood R. L., *Beyond TQM*, John Wiley & Sons, New York, 1993.

Gauri S. K., Optimization of Multi-Response Dynamic Systems Using Principal Component Analysis (PCA)- Based Utility Theory Approach, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2014, **5**(1)101-114.

Gauri S. K., Pal S., Comparison of Performances of Five Prospective Approaches for the Multi-Response Optimization, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, **48**(9-12), 1205-1220.

Gencel İ., Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2007, 232737.

Göloğlu C., Mızrak C., Bulanık Mantık ve Taguchi Yaklaşımli Müşteri İstemli Ürün Belirleme, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2010, **25**(1), 9-19.

Gupta S., Kulahci M., Montgomery D. C., Borror C. M., Analysis of Signal-Response Systems Using Generalized Linear Mixed Models, *Quality and Reliability Engineering International*, 2009, **26**(4), 375-385.

Güngör B. V., Genetik Algoritmalarla Optimizasyon ve Bir Örnek Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2003, 140408.

Hamada M., Wu C. F. J., A Critical Look at Accumulation Analysis and Related Methods, *Thermometrics*, 1990, **32**(2).

Hamzaçebi C., Kutay F., Taguchi Metodu: Bir Uygulama, *Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2003, **6**(3), 7-17.

Hasgül Ö., Üretim Parametrelerinin Güçlü Tasarımı ve Bir Gıda İşletmesinde Uygulanması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2010, 264480.

He Z., Zhu P. F., Park S. H., A Robust Desirability Function Method for Multi-Response Surface Optimization Considering Model Uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 2012, **221**(1), 241-247.

Himmetoğlu S., Yüksek Dayanımlı Betonun Optimum Karışım Oranlarını Belirlemek için Rough-AHP ve MOORA Tabanlı Taguchi Optimizasyonu, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2016, 432313.

Hinkelmann K., Kempthorne O., *Design and Analysis of Experiments Volume 2 Advanced Experimental Design*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2005.

Hodje B. J., Anthony W. P., Gale L. M., *Organizational Theory: A Strategic Approach*, Prentice Hall, New Jersey, 2003.

Hsieh K. L., Tong L., Chiu H., Yeh H., Optimization of a Multi-Response Problem in Taguchi's Dynamic System, *Computers & Industrial Engineering*, 2005, **49**(4), 556-571.

Hsieh K. L., Tong L., Optimization of Multiple Quality Responses Involving Qualitative and Quantitative Characteristics in IC Manufacturing Using Neural Networks, *Computers in Industry*, 2001, **46**(1), 1-12.

Huang J. T., Liao Y. S., Optimization of Machining Parameters of Wire –EDM Based on Grey Relational and Statistical Analysis, *International Journal of Production Research*, 2003, **41**(8), 1707-1720.

Huang Y., Harte S., Sad L., King J., Dynamic Parameter Optimization of an Automobile A/C Compressor Using Taguchi Method, *International Compressor Engineering Conference*, 1998, 261-266.

Ishikawa K., *Introduction to Quality Control*, Chapman & Hall, Tokyo, 1990.

Iwamoto T., Onoue K., Sagawa Y., Tsutsumi R., Optimization of Fly Ash-Based Geopolymer Using a Dynamic Approach of the Taguchi Method, *International Congress on Polymes in Concrete*, 2018, 517-524.

İç Y. T., Yıldırım S., Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2012, **27**(2), 447-458.

İçen B., Ferritik Paslanmaz Çeliğin Yüzey Modifikasyonunda Metal Karbürlerin Etkisinin Taguchi Metoduyla Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 2019, 572596.

İnan U. H. (2008). Kalite Yönetim Sistemlerinde Tetkik Performansının Bulanık Mantık ile Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Analitik Ağ Süreci Kullanılarak Ölçülmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2008, 237158.

Jalili M., Bashiri M., Amiri A. H., A New Multivariate Process Capability Index Under both Unilateral and Bilateral Quality Characteristics, *Quality and Reliability Engineering International*, 2012, **28**(8), 925-941.

James P., *Total Quality Management: An Introductory Text*, Prentice Hall, London, 1996.

Jayaram J. S. R., İbrahim Y., Multiple Response Robust Design and Yield Maximization, *International Journal of Quality and Reliability Management*, 1999, **16**(9), 826-837.

Juran J. M., Gryna F. M., *Quality Planning and Analysis*, 3rd ed., Mc Graw Hill Education, New York, 1993.

Kackar R. N., *Off-Line Quality Control, Parameter Design and the Taguchi Method*, American Society for Quality Control, 1985.

Kackar R. N., Shoemaker A. C., Robust Design: a Costeffective Method for Improving Manufacturing Processes, Editör: Dehnad K., *Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method*, 1st Ed. AT&T Bell Laboratories, California, 159-174, 1989.

Kackar R. N., Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Commentary, Dehnad K., *Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method*, 1st ed., AT&T Bell Laboratories, California, 3-21, 1989.

Kackar R. N., Lagergren E. S., Filiben J. J., Orthogonal Arrays are Classical Designs of Experiments, *Journal of Research of NIST Standt Technology*, 1991, **96**(5), 577-591.

Kağnıcıoğlu C. H., Üretim Öncesi Kalite Kontrolünde Taguchi Yöntemi ve Kükürtdioksit Giderici Sitrata Yöntemine Uygulanması, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 1998, 73415.

KalDer, *EFQM Mükemmellik Modeli: Kamu ve Sivil toplum*, KalDer, İstanbul, 2003.

Kaya S., Yüzeyi Modifiye Edilmiş Ferritik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Direncinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Bilim Dalı, Elazığ, 2017, 458021.

Katmer Ş., Karataş Ç., YYPE ve PP Parçalardaki Kalıntı Gerilmelere Enjeksiyon Kalıplama Şartlarının Etkileri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2015, **30**(3), 319-327.

Kavrakoğlu İ., *Kalite Güvencesi ISO 9000 ve Toplam Kalite*, Dünya Yayınevi, İstanbul, 1993.

Kavrakoğlu İ., *Toplam Kalite Yönetimi*, 1. baskı, KalDer, İstanbul, 1998.

Kendirli S., Çağıran H., Sanayi İşletmelerinde Kalite Maliyetlerinin Oluşumu ve Muhasebeleştirilmesi, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2002, **4**(1), 127-154.

Keskin F. Ş., Perlit ve Taban Külü Katkılı Harç Özelliklerinin Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2016, 436193.

Khattree R., Robust Parameter Design: A Response Surface Approach, *Journal of Quality Technology*, 1996, **28**(2), 187-198.

Khuri A. I., Conlon M., Simultaneous Optimization of Multiple Responses Represented by Polynomial Regression Functions, *Technometrics*, 1981, **23**(4), 363-375.

Kırış S., Anagün A. S., Yüzügüllü N., Bir Kalite Karakteristiğinin Deney Tasarımı ile İyileştirilmesi, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2-4 Temmuz 2007.

Koç T., Demirhan O., Önleme ve Değerlendirme Maliyetleri ile Uygunsuzluk Maliyeti Arasındaki İlişkinin Analizi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2007, **6**(11), 87-97.

Koçer Z., Püskürtülerek Kurutulmuş Mikro-İlaç Taşıyıcı Sistemler: Taguchi Yaklaşımıyla Optimizasyonu ve İn Vitro Anti-Kanser Etkinliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Bilim Dalı, İstanbul, 2017, 488117.

Kumar V., Khamba J. S., Parametric Optimization of Ultrasonic Machining of Co-Based Super Alloy Using the Taguchi Multi-Objective Approach, *Production Engineering*, 2009, **3**(4-5), 417-423.

Kumar S., Satsangi P. S., Prajapati D. R., Optimization of Green Sand Casting Process Parameters of a Foundry by Using Taguchi's Method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, **55**(4), 23-34.

Kumar R., Padhi S. S., Sarkar A., Supplier Selection of an Indian Heavy Locomotive Manufacturer: An Integrated Approach Using Taguchi Loss Function, TOPSIS and AHP, *IIMB Management Review*, 2019, **31**(1), 78-90.

Kuo Y., Yang T., Huang G.W., The Use of a Grey Based Taguchi Method for Optimizing Multi Response Simulation Problems, *Engineering Optimization*, 2008, **40**(6), 517-528.

Lan T. S., Taguchi Optimization of Multi Objective CNC Machining Using TOPSIS, *Information Technology Journal*, 2009, **8**(6), 917-922.

Lazic Z., *Design of Experiments in Chemical Engineering A Practical Guide* WILEY-VCH, Weinheim, 2004.

Leon R. V., Shoemaker A. C., Kacker R. N., Performance Measures Independent of Adjustment: An Explanation and Extension of Taguchi's Signal to Noise Ratios, Editors: Dehnad K., *Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method*, 1st Edition, AT&T Bell Laboratories, California, 77-96, 1989.

Lesperance M. L., Park S. M., GLMs for the Analysis of Robust Design with Dynamic Characteristics, *Journal of Quality Technology*, 2003, **35**(3), 253-263.

Li Y., Zhu L., Optimisation of Product form Design Using Fuzzy Integral-Based Taguchi Method, *Journal of Engineering Design*, 2017, **28**(7-9), 480-504.

Liao H.C., Using PCR-TOPSIS to Optimise Taguchi's Multi Response Problem, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, **22**(9-10), 649-655.

Lin C. L., Lin J. L., Ko T. C., Optimization of The EDM Process Based on The Orthogonal Array with Fuzzy Logic and Grey Relational Analysis Method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2002, **19**(4), 271-277.

Logothetis N., Haigh A., Characterizing and Optimizing Multi-Response Processes by the Taguchi Method, *Quality and Reliability Engineering International*, 1988, **4**(2), 159-169.

Lu D., Antony J., Optimization of Multiple Responses Using a Fuzzy-Rule Based Inference System, *International Journal of Production Research*, 2002, **40**(7), 1613-1625.

Lunani M., Nair V. N., Wasserman G. S., Graphical Methods for Robust Design with Dynamic Characteristics. *Journal Of Quality Technology*, 1991, **29**(3), 327-338.

Marder A. R., The Metallurgy of Zinc-Coated Steel. *Progress in Materials Science*, 2000, **45**(3), 91-271.

Margavio G. W., Margavio T. M., Quality Improvement Technology Using the Taguchi Method, *Cpa Journal*, 1993.

Mason R. L., Gunst R. F., Hess J. L., *Statistical Design and Analysis of Experiments with Applications to Engineering and Science*, 2nd ed., Wiley & Sons, New York, 2003.

Mezarcıöz S., Oğulata R. T., Farklı İpliklerden Üretilen Süprem Kumaşlarda May Dönmesi Değerlerinin İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009, **24**(1-2), 157-164.

Miller A, Wu C. F. J., Commentary on Taguchi's parameter design with dynamic characteristics, *Quality and Reliability Engineering International*, 1996a, **12**(2), 75-78.

Miller A, Wu C. F. J., Parameter Design for Signal-Response Systems: A Different Look at Taguchi's Dynamic Parameter Design, *Statistical Science*, 1996b, **11**(2), 122-136.

Miller A., Analysis of Parameter Design Experiments for Signal-Response Systems, *Journal of Quality Technology*, 2002, **34**(2), 39-151.

Motorcu A. R., Ç1050 ve Ç4140 Çeliklerinin Seramik Takımlarla İşlenmesinde Optimum Takım Ömrünü Sağlayan Parametrelerin Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi ve Takım Aşınmalarının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009, **24**(4), 699-708.

Motorcu A. R., Şahin Y., Sertleştirilmiş AISI 1040 Çeliğinin Seramik Kesici Takımla İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu ile Değerlendirilmesi, *On Birinci Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi*, Antalya, Türkiye, 13-15 Ekim 2004.

Montgomery D. C., *Introduction to Statistical Quality Control*, 5th ed., John Wiley & Sons, 2005.

Nair V. N., Testing in Industrial Experiments with Ordered Categorical Data, *Thechnometrics*, 1986, **28**(4), 283-291.

Newbold P., Carlson W. L., Thorne M. B., *İşletme ve İktisat için İstatistik*, Çev: Ümit Senesen, Literatür Yayıncılık, 1. baskı, İstanbul, Türkiye, 2017.

Okumuş F., Taşyünü Üretim Tesisinde Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Taguchi Deney Tasarımının Birlikte Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2015, 390427.

Omrani H., Alizadeh A., Emrouznejad A., Finding the Optimal Combination of Power Plants Alternatives: A Multi Response Taguchi-Neural Network Using TOPSIS and Fuzzy Best-Worst Method, *Journal of Cleaner Production*, 2018, **203**, 210-223.

Onoue K., Iwamoto T., Sagawa Y., Optimization of the Design Parameters of Fly Ash-Based Geopolymer Using the Dynamic Approach of the Taguchi Method, *Constructions and Building Materials*, 2019, **219**, 1-10.

Opricovic S., Tzeng G., Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods, *European Journal of Operations Research*, 2007, **178**(2), 514- 529.

Opricovic S., Tzeng G., Compromise Solution by MCDM Methods: A comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 2004, **156**, 445-455.

Oudjene M., Ben-Ayed L., On the Parametrical Study of Clinich Joining of Metallic Sheets Using the Taguchi Method, *Engineering Structures*, 2008, **30**(6), 1782-1788.

Öz O., Doğal Taşların CNC Makinesi ile İşlenmesinde Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi Uygulanarak Yüzey Kalitesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon, 2018, 506923.

Özdemir İ., Kesirli Faktöriyel Tasarım ve Taguchi Yönteminin Kompozit Malzeme Üretimi Üzerine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Samsun, 2018, 494867.

Öztemel E., Aydın M. E., Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Deneysel Tasarım Metodu ve Bir Endüstriyel Uygulama, *Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 1996, **20**, 73-78.

Öztürk N., A Multi-Criteria Decision-Making Approach for Health Technology Assessment and a Case Study for Dialysis Alternatives in Turkey, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, 2017, 488006.

Özveren M., *Toplam Kalite Yönetimi*, 2. Baskı, Alfa Yayınları, İstanbul, 2000.

Pal S., Gauri S. K., Multi-Response Optimization Using Multiple Regression-Based Weighted Signal-to-Noise Ratio (MRWS/N), *Quality Engineering*, 2010, **22**(4), 336-350.

Pal S., Gauri S. K., Optimization of Multi-Response Dynamic Systems Integrating Multiple Regression and Taguchi's Dynamic Signal-to-Noise Ratio Concept, *International Journal of Engineering*, 2017, **9**(1), 16-33.

Park S. H., *Robust Design and Analysis For Quality Engineering*, Chapman & Hall, New York, 1996.

Peşkircioğlu N., *Toplam Kalite Güvenirliği için Programların Entegre Bir Parçası Olarak Taguchi Yöntemi, Verimlilik*, MPM Yayınları, Ankara, 1990.

Phadke M. S., *Quality Engineering Using Robust Design*, 1st ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.

Phadke M. S., Kackar R. N., Speeney D. V., Grieco M. J., Off-Line Quality Control in Integrated Circuit Fabrication Using Experimental Design, Editör: Dehnad K., Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method, 1st Ed. AT&T Bell Laboratories, California, 159-174, 1989.

Pınar A. M., Güllü A., Sayısal Denetimli Hidrolik Pozisyonlama Sisteminin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2010, **25**(1), 93-100.

Pignatiello J. J., An Overview of the Strategy and Tactics of Taguchi, *IIE Transactions*, 2017, **20**(3), 247-254.

Rojas C. R., Welsh J. S., Goodwin G. C., Feuer A., Robust Experiment Design for System Identification, *Automatica*, 2006, **43**(1), 993-1008.

Rosa J. L., Robin A., Silva M. B., Baldan C. A., Peres M. P., Electrodeposition of Copper on Titanium Wires: Taguchi Experimental Design Approach, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, **209**(3), 1181-1188.

Roshan J., Wu C. F. J., Robust Parameter Design of Multiple Target Systems, *Technometrics*, 2002, **44**(4), 338-346.

Ross P. J., *Taguchi Techniques For Quality Engineering*, Mc Graw Hill, New York, 1996.

Sağlam M., Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak sementasyon çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Talaşlı Üretim Bilim Dalı, Elazığ, 2016, 424184.

Sakarya N., Göloğlu C., Taguchi Yöntemi ile Cep İşlemede Kullanılan Takım Yolu Hareketlerinin ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2006, **21**(4), 603-611.

Sarikaya N., *Toplam Kalite Yönetimi*, Sakarya Üniversitesi Yayınları, Sakarya, 2003.

Savaşkan M., Taptık Y., Ürgen M., Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu. *İTÜ Dergisi*, 2004, **3**(6), 117-118.

Sevim A., Toplam Kalite Yönetiminde Bir Araç Olarak Toplam Kalite Maliyet Sisteminin Kurulması, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 1996, 51435.

Shainin P. D., Managing Statistical Process Control, A Critical Quality System Element, *46th Annual Quality Congress*, Nashville Tennessee, 251-257, Mayıs 1992.

Shoemaker A. C., Tsui K. L., Wu C. F. J., Economical Experimentation Method for Robust Design, *Technometrics*, 1991, **33**(4), 415-427.

Sholahudin S., Han H., Simplified Dynamic Neural Network Model to Predict Heating Load of a Building Using Taguchi Method, *Energy*, 2016, **115**(3), 1672-1678.

Su C. T., Tong L. I., Multi-Response Robust Design by Principal Component Analysis, *Total Quality Management*, 1997, **8**(6), 409-416.

Su C. T., Lin H. C., Teng P. W., Yang T., Improving the Reliability of Electronic Paper Display Using FMEA and Taguchi Methods: A Case Study, *Microelectronics Reliability*, **54**(6-7), 1369-1377.

Şanyılmaz M., Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirmeleri Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemiyle bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2006, 182197.

Şen B., Çelik B., Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı ve Bir Uygulama, *Endüstri Mühendisliği*, 1999, **10**(2), 3-9.

Şirvancı M., *Kalite İçin Deney Tasarımı*, Literatür Yayınları, İstanbul, 1997.

Şişman M., Turan S., *Eğitimde Toplam Kalite Yönetimi*, Pegem Yayıncılık, Ankara, 2001.

Taguchi G., *Introduction to Quality Engineering—Designing Quality into Products and Processes*, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1986.

Tabazık T., Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ (Adana) Kromlarının Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır, 2019, 564155.

Taguchi G., Jugulum R., Taguchi S., *Computer-Based Robust Engineering*, ASQ Quality Press, Wisconsin, 2005.

Taguchi G., Phadke M. S., *Quality Engineering Through Design Optimization*, Editors: Dehnad K., *Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method*, 1st Edition, AT&T Bell Laboratories, California, 77-96, 1989.

Taguchi G., *System of Experimental Design*, Unipub/Kraus International Publications, New York, 1987.

Taguchi G., *Taguchi Methods: Research and Development*, American Suppliers Institute, Dearborn, Michigan, 1993(a)

Taguchi G., *Taguchi on Robust Technology Development*, <http://ebooks.asmedigitalcollection.asme.org>, (Ziyaret Tarihi: 01.05.2016), 1993(b).

Taguchi G., *Taguchi on Robust Technology Development: Bringing Quality Engineering Upstream*, ASME Press, New York, 1993.

Takmaz A., Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, 2018, 509317.

Tanış M., Bitkisel İlaçlamada Sprey Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Tarımsal Makine Sistemleri Anabilim Dalı, Van, 2019, 574682.

Taşgetiren S., Gökçe B., Kalite İçin Deney Tasarımı, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2009, **6**(1), 71-83.

Tekin M., *Toplam Kalite Yönetimi*, Ankara, 2004.

Tekin M., *Üretim Yönetimi*, Arı Yayınevi, Konya, 1999.

Tengilimoğlu D., Atilla A., Bektaş M., *İşletme Yönetimi*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2009.

Tong L. I., Wang C. H., Chen H. C., Optimization of Multiple Responses Using Principal Component Analysis and Technique for Order Preference by Similarity to İdeal Solution, *The International Journal of Advanced Manufacturing Thecnology*, 2004, **27**(3), 407-414.

Tong L. I., Su C. T., Wang C. H., The Optimization of Multi-Response Problems in The Taguchi Method, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 1997, **14**(4), 367-380.

Tong L. I., Wang C. H., Houng J. Y., Cen J. Y., Optimizing Dynamic Multiresponse Problems Using the Dual-Response-Surface Method, *Quality Engineering*, 2001, **14**(1), 115-125.

Tong L.I., Chen C.C., Wang C.H., Optimization of Multi-Response Processes Using The VIKOR Method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007, **31**(11-12), 1049–1057.

Tong Y. P., Pei F., Li D. B., Multi-Level Welding Quality Fault Discovery of an Intelligent Production Line by Using Taguchi Quality Loss Function and Signal-Noise Ratio, *Journals and Magazines, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2018, **6**, 792-803.

Truong N. K. V., Shin S., Jeong S. H., Robust Design Modelling and Optimization Using Response Surface Methodology and Inverse Problem, *International Journal of Experimental Design and Process Optimization*, 2011, **2**(3), 202-220.

Tsai H. H., Wu D. H., Chiang T. L., Chen H. H., Robust Design of SAW Gas Sensors by Taguchi Dynamic Method, *Sensors*, 2009, **9**(3), 1394-1408.

Tsui K. L., An Overview of Taguchi Method and Newly Developed Statistical Methods for Robust Design, *IIE Transactions*, 1992, **24**(5), 44-55.

Tsui K. L., Modeling and Analysis of Dynamic Robust Design Experiments, *IIE Transactions*, 1999, **31**(12), 1113-1122.

Tuğral N., Beyaz Renkli Gerçek Mermerlerin CNC Makinesinde İşlenmesinde Kesme Genişliğinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi Kullanarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon, 2019, 559157.

Tunçel M. U., Polipropilen Lif ve Kevlar Katkılı Yol Betonlarının Taguchi Yöntemi Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, Ulaştırma Bilim Dalı, Erzurum, 2018, 528378.

Tzeng Y., C F., Multi-objective optimisation of high-speed electrical discharge machining process using a Taguchi fuzzy-based approach, *Materials&Design*, 2007, **28**(4), 1159-1168.

Uyguç N., *Hizmet Sektöründe Kalite Yönetimi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 2000.

Ülker A., Yüksek Yoğunluklu Polietilen Polimer Malzemenin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Mukavemeti Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ve Kaynak Parametrelerinin Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi ile Optimizasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2015, 420529.

Üstündağ S., Denim Kumaşlara Uygulanan Kaplama Proseslerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2018, 528326.

Ünal R., Dean E. B., *Taguchi Approach To Design Optimization for Quality and Cost: An Overview*, *Annual Conference of The International Society of Parametric Analysts*, <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp>, (Ziyaret tarihi: 16 Ekim 2019).

Ünal Y. A., Şanzıman Giriş Mili İmalatındaki Proses Parametrelerine Taguchi Metodunun Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001, 104657.

Vining G. G., A Compromise Approach to Multiresponse Optimization, *Journal of Quality Technology*, 1998, **30**(4), 309-313.

Wang X. F., Wang J. Q., Deng S. Y., A Method to Dynamic Stochastic Multicriteria Decision Making with Log-Normally Distributed Random Variables. *The ScientificWorld Journal*, 2013, **26**(1), 202085.

Wasserman G. S., Parameter Design with Dynamic Characteristics: A Regression Perspective, *Quality and Reliability Engineering International*, 1996, **12**(2), 113-117.

Welch, W. J., Yu T. K., Kang S. M., Sacks J., Computer Experiments for Quality Control by Parameter Design, *Journal of Quality Technology*, 1990, **22**(1), 15-22.

Wu C. F. J., Hamada M., *Experiments: Planning, Analysis and Parameter Design Optimization*, 1st ed. John Wiley & Sons, 2001.

Wu D., Chien W., Tsai Y., Applying Taguchi Dynamic Characteristics to the Robust Design of a Piezoelectric Sensor, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 2005, **52**(3), 480-486.

Wu F. C., Optimization of Multiple Quality Characteristics Based on Percentage Reduction of Taguchi's Quality Loss, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2002, **20**(10), 749-753.

Wu F. C., Robust Design of Mixing Static and Dynamic Multiple Quality Characteristics, *World Journal of Engineering and Thecnology*, 2015, **3**(3), 72-77.

Wu F. C., Yeh C. H., Robust Design of Multiple Dynamic Quality Characteristics, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2005, **25**(5-6), 579-588.

Wu Y., Wu A., *Taguchi Methods for Robust Design*, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 2000.

Wu F. C., Wang H. M., Fan T. Y., Quality Design of Taguchi's Digital Dynamic Systems, *International Journal of Industrial Engineering*, 2010, **17**(1), 36-47.

Yadav O. P., Bhamare S. S., Rathore A., Reliability-Based Robust Design Optimization: A Multi-Objective Framework Using Hybrid Quality Loss Function, *Quality and Reliability Engineering International*, 2010, **26**(1), 27-41.

Yaluk D., Çelik Sistemlerin Yüzey Özelliklerinin Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplamalara Etkisi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009, 244204.

Yang T., Chou P., Solving a Multiresponse Simulation-Optimization Problem with Discrete Variables Using a Multiple-Attribute Decision Making Method, *Mathematics and Computers in Simulation*, 2005, **68**(1), 9-21.

Yaprak R. E., Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Yeniden Kullanımının Taguchi Deneyisel Tasarım Metodu ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Bilim Dalı, İstanbul, 2019, 595996.

Yeniay Ö., An Overview of Genetic Algorithms, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2001, **2**(1), 37-49.

Yu W. L., Wu S. J., Shiah S. W., Experimental analysis of dynamic characteristics on the PEM fuel cell stack by using Taguchi approach with neural networks, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010, **35**(20), 11138-11147.

Yung-Tien L., Rong-Fong F., and Chun-Chao W., Application of the Nonlinear, Double-Dynamic Taguchi Method to the Precision Positioning Device Using Combined Piezo-VCM Actuator, *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control*, 2007, **54**(2), 240-250.

Yükçü S., *Yönetim Açısından Maliyet Muhasebesi*, Cem Ofset, İzmir, 2014.

Zahraee S. M., Rohania J. M., Firouzia A., Shahpanaha A., Efficiency Improvement of Blood Supply Chain System Using Taguchi Method and Dynamic Simulation, *Procedia Manufacturing*, 2015, **2**, 1-5.

Zeithaml V. A., Berry L. L., Parasuraman A., Communication and Control Processes in the Delivery of Service Quality, *Journal Of Marketing*, 1988, **52**(2), 35-48.

Zhiyu Z., Zhen H. E., Xiangfen K., A New Desirability Function Based Method for Multi-Response Robust Parameter Design, *International Technology and Innovation Conference*, 2006, 178-183.



EKLER

Ek-A

Tablo A.1. Yurt içi literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
1996	Aydın ve Öztemel	Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Deneyisel Tasarım Metodu ve Bir Endüstriyel Uygulama	Yapay Sinir Ağları ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
1998	Kağnıcıoğlu	Üretim Öncesi Kalite Kontrolünde Taguchi Yöntemi ve Kükürt dioksit Giderici Sitrata Yönteminin Uygulanması	Taguchi Yöntemi
1998	Bakır ve Ekni	Taguchi Kalite Kontrolü Sinyal-Gürültü Oranlarına Doğrusal Programlama Yaklaşımı	Doğrusal Programlama ve Taguchi Yöntemi
1999	Şen ve Çelik	Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı ve Bir Uygulama	Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2001	Yeniay	Deney Tasarım Problemlerinin Çözümü için Genmak	Genetik Algoritma ve Taguchi Yöntemi
2001	Ünal	Şanzıman Giriş Mili Halatındaki Proses Parametrelerine Taguchi Metodu'nun Uygulanması	Taguchi Yöntemi
2002	Fiğlalı ve Engin	Akış Tipi Çizelge Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Deney Tasarımı Uygulaması	Genetik Algoritma ve Taguchi Yöntemi
2003	Baynal	Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama	Çok Yanıtlı Statik Taguchi Yöntemi
2003	Canıylmaz ve Kutay	Taguchi Metodu'nda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım	Varyans Analizi ve Taguchi Yöntemi
2003	Ferah	Çok Yanıtlı Taguchi Deneyisel Tasarım Metodu ve Alüminyum Sanayinde bir Uygulama	Çok Yanıtlı Statik Taguchi Yöntemi
2003	Hamzaçebi ve Kutay	Taguchi Metodu: Bir Uygulama	Taguchi Yöntemi
2004	Baynal ve Terzi	Çoklu Kalite Başarım Özelliklerinin Hedef Programlama ve Taguchi Yöntemi Kullanılarak Eniyilenmesi	Bulanık Mantık ve Taguchi Yöntemi
2004	Baynal ve Boran	Taguchi Tekniği Tabanlı Çok Ölçütlü Yöntemle Üretim Parametrelerinin Eniyilenmesi	Çok Yanıtlı Statik Taguchi Yöntemi
2004	Motorcu ve Şahin	Sertleştirilmiş AISI 1040 Çeliğinin Seramik Kesici Takımla İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu ile Değerlendirilmesi	Regresyon Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2006	Dervişoğlu ve Muluk	Taguchi Tasarımının Uygulanması ve Klasik Kesirli Çok Etkili Tasarımla Karşılaştırılması	Taguchi Yöntemi

Tablo A.1. (Devam) Yurt içi literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
2006	Sakarya ve Göloğlu	Taguchi Yöntemi ile Cep İşlemede Kullanılan Takım Yolu Hareketlerinin ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2006	Bilişik ve Gençyılmaz	Hizmet Kalitesinin İyileştirilmesinde Deneysel Tasarım Metodu	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2006	Şanyılmaz	Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile bir Uygulama	Tam Faktöriyel Deney Tasarımı, Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2007	Gencel	Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe bir Uygulama	Çok Yanıtlı Statik Taguchi Yöntemi
2007	Kırış, Anagün ve Yüzügüllü	Bir Kalite Karakteristiğinin Deney Tasarımı ile İyileştirilmesi	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2008	Durmaz	Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması	Taguchi Yöntemi
2009	Aytaç, Yılmaz ve Deniz	Lastik Kordu Üretiminde Büküm Yönünün Etkilerinin Taguchi ve Tam Etkensel Deney Tasarımıyla İncelenmesi	Tam Faktöriyel Deney Tasarımı ve Taguchi Yöntemi
2009	Mezarcıöz ve Oğulata	Farklı İpliklerden Üretilen Süprem Kumaşlarda May Dönmesi Değerlerinin İncelenmesi	Taguchi Yöntemi
2009	Eşme, Kazaçoğlu, Özbek ve Zorlu	Galetaj ile İşlemede Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu Kullanılarak Eniyilenmesi	Taguchi Yöntemi
2009	Motorcu	Ç1050 ve Ç4140 Çeliklerinin Seramik Takımlarla İşlenmesinde Optimum Takım Ömrünü Sağlayan Parametrelerin Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi ve Takım Aşınımlarının İncelenmesi	Çok Yanıtlı Statik Taguchi Yöntemi
2010	Baynal ve Aksu	Shainin and Taguchi Methods and Their Comparison on an Application	Taguchi Yöntemi, Shainin Metodu
2010	Göloğlu ve Mızrak	Bulanık Mantık ve Taguchi Yaklaşımlı Müşteri İstemli Ürün Belirleme	Taguchi Yöntemi ve Bulanık Mantık
2010	Pınar ve Güllü	Sayısal Denetimli Hidrolik Pozisyonlama Sisteminin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu	Taguchi Yöntemi
2013	Altın	İnconel 600 Süper Alaşımının Tornalanmasında İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu	Çok Yanıtlı Statik Taguchi Yöntemi ve Varyans Analizi

Tablo A.1. (Devam) Yurt içi literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
2013	Aslan, Kayır ve Aytürk	AISI 316Ti Paslanmaz Çelik Malzemesinin Tornalamasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi ile Analizi	Taguchi Yöntemi ve Varyans Analizi
2015	Bayrak, Laçın ve Saraç	Ham Manyezit Cevherinin Glukonik Asit Çözeltilerinde Çözündürülmesinin Optimizasyonu	Taguchi Yöntemi
2015	Baynal ve Gencel	Taguchi Yönteminin Gıda Sektöründe Çok Yanıtlı Problemin Eniyilemesinde Uygulanması	Çok Yanıtlı Statik Taguchi Yöntemi
2015	Katmer ve Karataş	YYPE ve PP Parçalardaki Kalıntı Gerilmelere Enjeksiyon Kalıplama Şartlarının Etkileri	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2015	Okumuş	Taşıyıcı Üretim Tesisinde Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Taguchi Deney Tasarımının Birlikte Uygulanması	EFQM ve Taguchi Yöntemi
2015	Ülker	Yüksek Yoğunluklu Polietilen Polimer Malzemenin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Mukavemeti Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ve Kaynak Parametrelerinin Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi ile Optimizasyonu	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2016	Çetin	15-5 pH Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında İşleme Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu	Varyans Analizi ve Taguchi Yöntemi
2016	Keskin	Perlit ve Taban Külü Katkılı Harç Özelliklerinin Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi ile İncelenmesi	Varyans Analizi ve Taguchi Yöntemi
2016	Sağlam	Taguchi Deney Tasarım Yöntemi Kullanılarak Sementasyon Çeliğinin Teğetsel Silindirik Taşlama Yöntemi ile İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Araştırılması	Varyans Analizi ve Taguchi Yöntemi
2016	Ekincioglu	Ergonomik Risk Değerlendirme ve Gri Esaslı Taguchi Yöntemleri ile bir Smed Yaklaşımı Önerisi ve Uygulaması	Sue Rodgers Yöntemi ve Gri Esaslı Taguchi Yöntemi
2016	Himmetoğlu	Yüksek Dayanımlı Betonun Optimum Karışım Oranlarını Belirlemek için Rough-AHP ve MOORA Tabanlı Taguchi Optimizasyonu	Rough AHP ve MOORA Tabanlı Çok Yanıtlı Taguchi Yöntemi
2017	Ada	API Borularının Kaynaklı Birleştirmelerinde Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu	Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi
2017	Koçer	Püskürtülerek Kurutulmuş Mikro-İlaç Taşıyıcı Sistemler: Taguchi Yaklaşımıyla Optimizasyonu ve İn Vitro Anti-Kanser Etkinliklerinin Değerlendirilmesi	Taguchi Yöntemi

Tablo A.1. (Devam) Yurt içi literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
2017	Kaya	Yüzeyi Modifiye Edilmiş Ferritik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Direncinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu	Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi
2017	Dhannoon	Irak Karayolları için Taguchi Yöntemi Kullanarak Geri Kazanım Asfalt Malzemeleri ile Binder Tabakası Tasarımı	Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi ve Marshall Metodu
2018	Üstündağ	Denim Kumaşlara Uygulanan Kaplama Proseslerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2018	Özdemir	Kesirli Faktöriyel Tasarım ve Taguchi Yönteminin Kompozit Malzeme Üretimi Üzerine Uygulanması	Kesirli Faktöriyel Tasarım ve Taguchi Yöntemi
2018	Elfarah	Magnezyum Matrisli Karbür Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretiminin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2018	Öz	Doğal Taşların CNC Makinesi ile İşlenmesinde Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi Uygulanarak Yüzey Kalitesinin Araştırılması	Varyans Analizi, Taguchi Yöntemi, Regresyon
2018	Tunçel	Polipropilen Lif ve Kevlar Katkılı Yol Betonlarının Taguchi Yöntemi Optimizasyonu	Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2018	Takmaz	Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2018	Durmuş	Toz ve Sıvı Kahve Beyazlatıcısı Üretimi ve Taguchi Metodu ile Reçete Optimizasyonu	Taguchi Yöntemi
2019	Cabir	Kayıcı Pabuç Yüzey Tasarımının Taguchi ve Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile İncelenmesi	Taguchi Deney Tasarım Yöntemi ve Yapay Sinir Ağları
2019	İçen	Ferritik Paslanmaz Çeliğin Yüzey Modifikasyonunda Metal Karbürlerin Etkisinin Taguchi Metoduyla Analizi	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2019	Tuğral	Beyaz Renkli Gerçek Mermerlerin CNC Makinesinde İşlenmesinde Kesme Genişliğinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi Kullanarak Araştırılması	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2019	Çakmak	Pişiricilerde Kullanılan Yüksek Verimli Bekin Özelliklerinin Taguchi Deney Tasarımı Metodu ile Belirlenmesi	Taguchi Yöntemi
2019	Çelik	Smed-Taguchi Yöntemi Esaslı İş Sıralaması Yaklaşımı ile Toplam Ayar Süresinin Azaltılması	SMED ve Taguchi Yöntemi
2019	Tabazık	Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ (Adana) Kromlarının Zenginleştirilmesi	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2019	Yaprak	Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Yeniden Kullanımının Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ile Optimizasyonu	Varyans Analizi ve Taguchi Deney Tasarım Yöntemi
2019	Tanış	Bitkisel İlaçlamada Sprey Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu	Taguchi Yöntemi

Tablo A.2. Yurt dışı literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
1981	Khuri ve Conlon	Simultaneous Optimization of Multiple Responses Represented by Polynomial Regression Functions	TY ve Regresyon Analizi
1988	Logothetis ve Haigh	Characterizing and Optimizing Multi-Response Processes by the Taguchi Method	TY, Çoklu Regresyon ve Doğrusal Programlama
1989	Kackar ve Shoemaker	Robust Design: a Costeffective Method for Improving Manufacturing Processes	Taguchi Yöntemi
1990	Welch ve diğ.	Computer Experiments for Quality Control by Parameter Design,	Dinamik Taguchi Yöntemi
1991	Shoemaker ve diğ.	Economical Experimentation Method for Robust Design	Dinamik Taguchi Yöntemi
1996	Wasserman	Parameter Design with Dynamic Characteristics: A Regression Perspective	Dinamik TY ve Çoklu Regresyon
1996	Khattree	Robust Parameter Design: A Response Surface Approach	Dinamik TY ve Yanıt Yüzeyi Metodu
1996	Miller ve Wu	Parameter Design for Signal-Response Systems: A Different Look at Taguchi' s Dynamic Parameter Design	Dinamik TY ve Sinyal-Yanıt Sistemleri
1996	Miller ve Wu	Commentary on Taguchi's Parameter Design with Dynamic Characteristics	Dinamik TY' ne yeni öneriler
1997	Tong ve diğ.	The Optimization of Multi-Response Problems in The Taguchi Method	Çok Yanıtlı Statik TY
1997	Su ve Tong	Multi-Response Robust Design by Principal Component Analysis	TY ve Temel Bileşen Analizi
1997	Lunani ve diğ.	Graphical Methods for Robust Design with Dynamic Characteristics	Dinamik TY ve Grafik Metodu
1998	Vining	A Compromise Approach to Multiresponse Optimization	Çok Yanıtlı Statik TY
1998	Huang ve diğ.	Dynamic Parameter Optimization of an Automobile A/C Compressor Using Taguchi Method	Dinamik Taguchi Yöntemi
1998	Dovey ve Matthews	Taguchi and TQM: Quality Issues for Surface Engineered Applications	Taguchi Yöntemi
2001	Caleb Li	Optimising Operating Conditions by Selection of Optimal Threshold Value for Digital-Digital Dynamic Charateristic	Dijital-Dijital Model Dinamik TY

Tablo A.2. (Devam) Yurt dışı literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
2001	Wu ve Hamada	Experiments: Planning, Analysis and Parameter Design Optimization	Dinamik Taguchi Yöntemi Çalışmaları
2001	Tong ve diğ.	Optimizing Dynamic Multiresponse Problems Using the Dual-Response-Surface Method	Dinamik TY ve Çift Yanıt Yüzey Metodu
2002	Miller	Analysis of Parameter Design Experiments for Signal-Response Systems	DTY ve Ortak Etki Grafiği
2002	Roshan ve Wu	Robust Parameter Design of Multiple Target Systems	DTY ve Çoklu Hedef Sistemleri
2002	Lin ve diğ.	Optimization of The EDM Process Based on The Orthogonal Array with Fuzzy Logic and Grey Relational Analysis Method	TY, Bulanık Mantık ve Gri İlişki Analizi
2002	Wu	Optimization of Multiple Quality Characteristics Based on Percentage Reduction of Taguchi's Quality Loss	Çok Yanıtlı TY
2002	Lu ve Antony	Optimization of Multiple Responses Using a Fuzzy-Rule Based Inference System	Bulanık Tabanlı TY
2003	Lesperance ve Park	GLMs for the Analysis of Robust Design with Dynamic Characteristics,	DTY ve Regresyon
2003	Liao	Using PCR-TOPSIS to Optimise Taguchi's Multi Response Problem	TY ve TOPSİS
2003	Huang ve Liao	Optimization of Machining Parameters of Wire –EDM Based on Grey Relational and Statistical Analysis	TY ve Gri İlişki Analizi
2005	Tong ve diğ.	Optimization of Multiple Responses Using Principal Component Analysis and Technique for Order Preference by Similarity to İdeal Solution	TY, Temel Bileşen Analizi ve TOPSİS
2005	Wu ve Yeh	Robust Design of Multiple Dynamic Quality Characteristics,	DÇYTY
2005	Yang ve Chou	Solving a Multiresponse Simulation-Optimization Problem with Discrete Variables Using a Multiple-Attribute Decision Making Method	TY ve TOPSİS
2005	Chan ve Liang	Yield İmprovement for Blood Glucose Strip by Taguchi Dynamic Approach	Dinamik Taguchi Yöntemi
2005	Hsieh ve diğ.	Optimization of a Multi-Response Problem in Taguchi's Dynamic System	TY, Regresyon Analizi ve İstenilebilirlik Fonksiyonu
2005	Wu ve diğ.	Applying Taguchi Dynamic Characteristics to the Robust Design of a Piezoelectric Sensor	Sonlu Elemanlar Analizi ve DTY
2006	Rojas ve diğ.	Robust Experiment Design for System Identification	Dinamik Taguchi Yöntemi

Tablo A.2. (Devam) Yurt dışı literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
2006	Bahloul ve diğ.	Sheet Metal Bending Optimization Using Response Surface Method: Numerical Simulation and Design of Experiments	Yanıt Yüzeyi Metodu ve DTY
2006	Dixon ve diğ.	Application of Design of Experiment (DOE) Techniques to Process Validation in Medical Device Manufacture	Dinamik Taguchi Yöntemi
2006	Rojas ve diğ.	Robust Experiment Design for System Identification	Dinamik Taguchi Yöntemi
2006	Zhiyu ve diğ.	A New Desirability Function Based Method for Multi-Response Robust Parameter Design	İstenilebilirlik Fonksiyonu Temelli DTY
2006	Antony ve diğ.	Multiple Response Optimization Using Taguchi Methodology and Neuro-Fuzzy Based Model	TY ve Bulanık Mantık
2007	Yung-Tien ve diğ.	Application of the Nonlinear, Double-Dynamic Taguchi Method to the Precision Positioning Device Using Combined Piezo-VCM Actuator	SİMULİNK ve Lineer Olmayan DTY
2007	Tong ve diğ.	Optimization of Multi-Response Processes Using The VIKOR Method	TY ve VİKOR
2007	Tzeng ve Chen	Multi-objective optimisation of high-speed electrical discharge machining process using a Taguchi fuzzy-based approach	Bulanık Tabanlı DTY, Varyans Analizi
2008	Chang	A Data Mining Approach to Dynamic Multiple Responses in Taguchi Experimental Design	Dinamik TY ve Tavlama Benzetimi
2008	Anawi ve Olabi	Using Taguchi Method to Optimize Welding Pool of Dissimilar Laser-Welded Components	Taguchi Yöntemi
2008	Cheng ve diğ.	Simulation and Optimization of Silicon Thermal CVD Through CFD Integrating Taguchi Method	Dinamik Taguchi Yöntemi
2008	Oudjene ve Ben-Ayed	On the Parametrical Study of Clinich Joining of Metallic Sheets Using the Taguchi Method	Taguchi Yöntemi
2008	Kuo ve diğ.	The Use of a Grey Based Taguchi Method for Optimizing Multi Response Simulation Problems	Gri İlişki Tabanlı TY
2008	Rosa ve diğ.	Electrodeposition of Copper on Titanium Wires: Taguchi Experimental Design Approach	Taguchi Yöntemi
2008	Arvidson ve Gremyr	Principles of Robust Design Methodology	TY Literatür Taraması
2009	Gupta ve diğ.	Analysis of Signal-Response Systems Using Generalized Linear Mixed Models	DTY ve Split-Plot Yaklaşımı
2009	Kumar ve Khamba	Parametric Optimization of Ultrasonic Machining of Co-Based Super Alloy Using the Taguchi Multi-Objective Approach	TY ve Varyans Analizi

Tablo A.2. (Devam) Yurt dışı literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
2009	Biswas ve diğ.	Application of VIKOR Based Taguchi Method for Multi Response Optimization: A Case Study in Submerged Arc Welding (SAW)	VIKOR Tabanlı TY
2009	Lan	Taguchi Optimization of Multi Objective CNC Machining Using TOPSIS	TY ve TOPSIS
2009	Tsai ve diğ.	Robust Design of SAW Gas Sensors by Taguchi Dynamic Method	Dinamik Taguchi Yöntemi
2010	Dasgupta ve diğ.	Robust Design of Measurement Systems	DTY-Ölçüm Sistemleri
2010	Yadav ve diğ.	Reliability-Based Robust Design Optimization: A Multi-Objective Framework Using Hybrid Quality Loss Function	Dinamik Taguchi Yöntemi
2010	Chatsirirung	Application of Computer Aided Engineering with Genetic Algorithm and Taguchi Method in Nonlinear Double-Dynamic Robust Parameter	Genetik Algoritma, DTY
2010	Pal ve Gauri	Multi-Response Optimization Using Multiple Regression-Based Weighted Signal-to-Noise Ratio (MRWS/N)	Çok Yanıtlı TY, Ağırlıklı S/G Oranı
2010	Yu ve diğ.	Experimental analysis of dynamic characteristics on the PEM fuel cell stack by using Taguchi approach with neural networks	Yapay Sinir Ağları ve DTY
2010	Wu ve diğ.	Quality Design of Taguchi's Digital Dynamic Systems	DTY-Dijital Model
2011	Kumar ve diğ.	Optimization of Green Sand Casting Process Parameters of a Foundry by Using Taguchi's Method	Çok Yanıtlı Taguchi Yöntemi
2011	Truong ve diğ.	Robust Design Modelling and Optimization Using Response Surface Methodology and Inverse Problem	TY ve Cevap Yüzeyi Yöntemi
2011	Chang ve Chen	Neuro-Genetic Approach to Optimize Parameter Design of Dynamic Multiresponse Experiments	DTY, Üstel İstenilebilirlik Fonksiyonu ve Genetik Algoritma
2012	Jalili ve diğ.	A New Multivariate Process Capability Index Under both Unilateral and Bilateral Quality Characteristics	TY, Veri Zarflama Analizi ve Çoklu Regresyon
2012	He ve diğ.	A Robust Desirability Function Method for Multi-Response Surface Optimization Considering Model Uncertainty	TY ve İstenilebilirlik Fonksiyonu

Tablo A.2. (Devam) Yurt dışı literatür tarama listeleri

YAYIN TARİHİ	YAZAR ADI	BAŞLIK	YÖNTEM
2014	Gauri	Optimization of Multi-Response Dynamic Systems Using Principal Component Analysis (PCA)- Based Utility Theory Approach	DTY ve Temel Bileşen Analizi
2015	Zahraee ve diğ.	Efficiency Improvement of Blood Supply Chain System Using Taguchi Method and Dynamic Simulation	Dinamik Taguchi Yöntemi
2015	Wu	Robust Design of Mixing Static and Dynamic Multiple Quality Characteristics	Statik ve Dinamik TY
2016	Bashiri ve diğ.	Taguchi Design Optimization Using Multivariate Process Capability Index	TY ve Proses Kapasite İndeksi
2016	Abd ve diğ.	Multi-objective optimisation of dynamic scheduling in robotic flexible assembly cells via fuzzy-based Taguchi approach	Bulanık Tabanlı DTY
2016	Sholahudin ve Han	Simplified Dynamic Neural Network Model to Predict Heating Load of a Building Using Taguchi Method	Dinamik Sinir Ağı, TY ve Varyans Analizi
2017	Li ve Zhu	Optimisation of Product form Design Using Fuzzy İntegral-Based Taguchi Method,	Bulanık İntegral Tabanlı TY
2017	Pal ve Gauri	Optimization of Multi-Response Dynamic Systems Integrating Multiple Regression and Taguchi' s Dynamic Signal-to-Noise Ratio Concept	Dinamik TY ve Çoklu Regresyon
2018	Tong ve diğ.	Multi-Level Welding Quality Fault Discovery of an Intelligent Production Line by Using Taguchi Quality Loss Function and Signal-Noise Ratio	Dinamik Taguchi Yöntemi
2018	Iwamoto ve diğ.	Optimization of Fly Ash-Based Geopolymer Using a Dynamic Approach of the Taguchi Method	Dinamik Taguchi Yöntemi
2018	Omranı ve diğ.	Finding the Optimal Combination of Power Plants Alternatives: A Multi Response Taguchi-Neural Network Using TOPSIS and Fuzzy Best-Worst Method	TY, TOPSİS, Sinir Ağları
2019	Onoue ve diğ.	Optimization of the Design Parameters of Fly Ash-Based Geopolymer Using the Dynamic Approach of the Taguchi Method,	Dinamik Taguchi Yöntemi
2019	Kumar ve diğ.	Supplier Selection of an Indian Heavy Locomotive Manufacturer: An Integrated Approach Using Taguchi Loss Function, TOPSIS and AHP	TY, TOPSİS ve AHP

Ek-B

- İki seviyeli ve üç faktörlü OD:

Tablo B.1. $OD_4(2^3)$ ortogonal dizi

Deney No	FAKTÖRLER		
	1	2	3
1	0	0	0
2	0	1	0
3	1	0	1
4	1	1	0

- İki seviyeli ve yedi faktörlü OD:

Tablo B.2. $OD_8(2^7)$ ortogonal dizi

Deney No	FAKTÖRLER						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	1	1	1	0	0
5	1	0	1	0	1	0	1
6	1	0	1	1	0	1	0
7	1	1	0	0	1	1	0
8	1	1	0	1	0	0	1

- Biri altı seviyeli diğerleri üç seviyeli OD örnekleri:

Tablo B.3. $OD_{18}(6^1 \times 3^6)$ ve $OD_{18}(2^1 \times 3^7)^a$ ortogonal dizi

Deney No	FAKTÖRLER								
	1'	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	2	2	2	2	2	2
4	1	0	1	0	0	1	1	2	2
5	1	0	1	1	1	2	2	0	0
6	1	0	1	2	2	0	0	1	1
7	2	0	2	0	1	0	2	1	2
8	2	0	2	1	2	1	0	2	0
9	2	0	2	2	0	2	1	0	1
10	3	1	0	0	2	2	1	1	0
11	3	1	0	1	0	0	2	2	1
12	3	1	0	2	1	1	0	0	2
13	4	1	1	0	1	2	0	2	1
14	4	1	1	1	2	0	1	0	2
15	4	1	1	2	0	1	2	1	0
16	5	1	2	0	2	1	2	0	1
17	5	1	2	1	0	2	0	1	2
18	5	1	2	2	1	0	1	2	0

^a1',3,4,5,6,7 ve 8 nolu sütun formu $OD_{18}(6^1 \times 3^6)$ içindir.

1,2,3,4,5,6,7 ve 8 nolu sütun formu $OD_{18}(2^1 \times 3^7)$ içindir.

- $r=2,3,4,5,6$ seviyeli (2^r) satırlı iki elemanlı OD (r seviyeler olup sütun sayısını; 2^r ise deneme sayısını temsil etmektedir): İki seviyeli faktörlerde OD oluşturulurken aşağıdaki üç adım takip edilir.

1. Adım: Sütun numaraları $1,2,4,8,\dots,2^{r-1}$ şeklinde artan, her biri iki seviyeli olup 0 daha az değişecek şekilde yazılacak olan faktörleri temsil eder. Bu r sütunların girişleri diğer sütunların giriş numaralarını hesaplamak için kullanılır ve temel sütunlar olarak adlandırılır ve sırasıyla $x_1, x_2, \dots, x_r$ olarak kodlanır.
2. Adım: Bir önceki adımda oluşturulan temel sütunlar diğer sütunları oluşturmak için kullanılır. Sütunların oluşturulmasında $a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_rx_r$ formatı ile hesaplama yapılır. Bu formdaki $x_1, x_2, \dots, x_r$ değerleri temel sütunlardaki $a_1, a_2, \dots, a_r$ sütunlarındaki katsayı değerleridir. (Örneğin; $OD_8(2^7)$ için aşağıdaki tabloda görülen $a_1, a_2, \dots, a_r$ katsayıları 5. sütun için 5. satırda olup sırasıyla 1,0,1'dir.

Tablo B.4. 2^r satırlı iki elemanlı ortogonal dizi temel tasarım

***	$x_1, x_2, \dots, x_r$ Katsayıları					
Deney No	a_1	a_2	a_3	...	a_{r-1}	a_r
1	1	0	0			
2	0	1	0		İlk ($2^{r-2} - 1$)	
3	1	1	0		0 girilir	
4	0	0	1		Sonraki (2^{r-2})	İlk ($2^{r-1} - 1$)
5	1	0	1		1 girilir	0 girilir
6	0	1	1		Sonraki (2^{r-2})	Son (2^{r-1})
7	1	1	1		0 girilir	1 girilir
...	(0,1)'leri	(0,0,1,1)'leri				
...	Tekrar et	Tekrar et				
$2^r - 2$	0	1	1		Son (2^{r-2})	
$2^r - 1$	1	1	1		1 girilir	

3. Adım: Diğer sütun girişleri 2. adımda belirtilen kurallar uygulanarak hesaplanır. Hesaplamalar ikili modül aritmetiğine göre yapılır ($0+0=0$, $0+1=1$, $1+0=1$ ve $1+1=0$)

Örnek olarak, $OD_8(2^7)$ 'nin oluşturulması için ilk olarak Tablo B.5' teki temel sütunlar hazırlanır ($N = 8 = 2^3$ olup $r=3$ 'tür).

Tablo B.5. $r=3$ temel sütunları

Deney No	FAKTÖRLER						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0				
2	0	0	0				
3	0	1	0				
4	0	1	1				
5	1	0	0				
6	1	0	1				
7	1	1	0				
8	1	1	1				
Üreteç	x_1	x_2	x_3				

Tablo B.6. Üreteç listeleri (***)'ın 1. ve 7. satırları)

SÜTUN/FAKTÖR NO	ÜRETEÇ
1	x_1
2	x_2
3	$x_1 + x_2$
4	x_3
5	$x_1 + x_3$
6	$x_2 + x_3$
7	$x_1 + x_2 + x_3$

Tablo B.7. 2^7 satırlı ortogonal dizi temel tasarımı

Deney No	FAKTÖRLER						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	1	1	1	0	0
5	1	0	1	0	1	0	1
6	1	0	1	0	1	0	1
7	1	1	0	0	1	1	0
8	1	1	0	1	0	0	1

- İki seviyeli OD: $OD_{12}(2^{11})$

Tablo B.8. İki seviyeli ortogonal dizi

Deney No	FAKTÖRLER										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
3	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
4	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
5	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
6	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0
7	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
8	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0
10	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
11	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1
12	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0

- Üç seviyeli OD oluşturulması: 3^r olup $r=2,3$ ve 4

3^r Satırlı bir ortogonal dizi $(3^r - 1)/(3 - 1)$ adet sütuna sahiptir ve üç adımda oluşturulur.

1. Adım: $1, 2, 5, 14, \dots, (3^{r-1} - 1)/(3 - 1) + 1$ sütun numaralarıyla kodlanan r adet sütunun her biri sırasıyla 0,1,2 ile temsil edilen üç seviyeli faktöriyel bir plan oluşturulur. Plan, en soldaki sütunların girişlerinin en sağdaki sütunların girişlerinden daha az değişeceği şekilde hazırlanır. Bu sütunlar $x_1, x_2, \dots, x_r$ olarak isimlendirilir.

Tablo B.9. Üç seviyeli ortogonal dizi temel tasarım

Faktörler: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_r$					
Deney No	a_1	a_2	...	a_{r-1}	a_r
1	1	0		İlk $(3^{r-1} - 1)/(3 - 1)$	İlk $(3^{r-1} - 1)/(3 - 1)$
2	0	1		Girişler 0	Girişler 0
3	1	1		Gelecek (3^{r-2})	Son (3^{r-1})
4	2	1		Girişler 1	Girişler 1
·	(0,1,2)	(0,0,0,1,1,1,2,2,2)		Gelecek (3^{r-2})	
·	Tekrarla	Tekrarla		Girişler 1	
·	·	·		Gelecek (3^{r-2})	
$(3^r - 1)/(3 - 1)$	2	2		Girişler 1	
				Gelecek (3^{r-2})	
				Girişler 1	
				Son (3^{r-2})	
				Girişler 2	

2. Adım: $a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_rx_r$ formunda a değerleri temel sütun katsayıları olacak şekilde diğer sütun üreteçleri oluşturulabilir.
3. Adım: Kalan sütunların girişleri r temel sütunların ve uygun üreteçlerin girişlerini kullanarak hesaplanmaktadır. Tüm hesaplamalar modül 3 aritmetiğine göre yapılmalıdır (üç eşit veya daha büyük bir tam sayı üçe bölündükten sonra kalanı ile değiştirilerek uygulanmaktadır).

Örnek olarak $OD_9(3^4)$; $N = 9 = 3^2$ olup $r = 2$ ortogonal dizisini oluşturalım. Dokuz deneme sayısına sahip bu dizinde her biri üçer seviyeli toplam dört faktör vardır. İlk olarak iki seviyeli dokuz deneme sayısına sahip iki temel sütun oluşturulur. Bu sütunlar 1. ve 2. üreteç değerlerini göstermektedir. Üçüncü sütuna birinci ve ikinci sütunlardaki değerlerin sonlu eklemelere göre yapılan toplama değerlerinin karşılıkları yazılır.

Tablo B.10. $r=2$ olan iki temel sütun

Deney No	FAKTÖRLER			
	1	2	3	4
1	0	0		
2	0	1		
3	0	2		
4	1	0		
5	1	1		
6	1	2		
7	2	0		
8	2	1		
9	2	2		
Üreteç	X_1	X_2		

Tablo B.11. Üreteç listeleri.

Sütun / Faktör No	ÜRETEÇ
1	X_1
2	X_2
3	$X_1 + X_2$
4	$X_2 + 2X_1$

Tablo B.12. Üç seviyeli ortogonal dizi

Deney No.	FAKTÖRLER			
	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	0	1	1	1
3	0	2	2	2
4	1	0	1	2
5	1	1	2	0
6	1	2	0	1
7	2	0	2	1
8	2	1	0	2
9	2	2	1	0

- Dört seviyeli OD oluşturulması: $r=2$ ve 3 seviyeli ve 4^r adet satırlı diziler aşağıdaki adımlara göre oluşturulmaktadır.

1. Adım: Her biri 4 seviyeli olup 0,1,2,3 ile gösterilen r adet faktörü, sütun numaraları 1,2,6,..., $(4^{r-1}-1)/(4-1)+1$ olan faktöriyel plan hazırlanır. Dört seviyeli temel dizin tasarımı olarak hazırlanan listede seviyeler 0,1,2,3 olarak kodlanmış olup Tablo B.13'te görülmektedir.

Tablo B.13. Dört seviyeli ortogonal dizi temel tasarımı

Deney No	$x_1, x_2, \dots, x_r$ 'nin katsayıları				
	a_1	a_2	...	a_{r-1}	a_r
1	1	0	...	İlk $(4^{r-2}-1)/(4-1)$	İlk $(4^{r-2}-1)/(4-1)$ için
2	0	1	...	Girişler 0	Girişler 0
3	1	1	...	Sonraki (4^{r-2}) için	Son (4^{r-1}) için
4	2	1	...	Girişler 1	Girişler 1
5	3	1	...	Sonraki (4^{r-2}) için	
.	(0,1,2,3)	.	...	Girişler 0	
.	Tekrarla	.	...	Sonraki (4^{r-2}) için	
.	.	.	...	Girişler 1	
.	.	.	...	Sonraki (4^{r-2}) için	
$(4^{r-2})/(4-1)$	3	3	...	Girişler 2	
				En son (4^{r-2}) için	
				Girişler 3	

- Adım: $a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_rx_r$ formunda a değerleri temel sütun katsayıları olacak şekilde diğer sütun üreteçleri oluşturulur.
- Adım: r temel sütunlarının girdilerini kullanarak diğer sütun girişleri hesaplanır. Tüm hesaplamalar sonlu eklemeler ve çarpımlar tablosu kullanılarak yapılır.

Örnek olarak beş seviyeli ve 16 deneme sayısına sahip $OD_{16}(4^5)$ ortogonal dizisini oluşturalım: $N = 16 = 4^2$ ve $r = 2$ 'dir. Öncelikle r temel sütunları oluşturulur.

Tablo B.14. Dört seviyeli OD üreteç listesi

Deney No	FAKTÖRLER				
	1	2	3	4	5
1	0	0			
2	0	1			
3	0	2			
4	0	3			
5	1	0			
6	1	1			
7	1	2			
8	1	3			
9	2	0			
10	2	1			
11	2	2			
12	2	3			
13	3	0			
14	3	1			
15	3	2			
16	3	3			
Üreteç	x_1	x_2			

Tablo B.15. 1’den 5’e kadar üreteçler listeleri

Sütun No.	ÜRETEÇ
1	x_1
2	x_2
3	$x_2 + x_1$
4	$x_2 + 2x_1$
5	$x_2 + 3x_1$

4. Adım: 2. adımda tanımlanan üreteçler ile ortogonal dizi tamamlanır. Ekleme ve çarpma işlemleri tabloya uygun olarak gerçekleştirilir.

Tablo B.16. 4 seviyeli üreteç listeleri

Deney No	FAKTÖRLER				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1
3	0	2	2	2	2
4	0	3	3	3	3
5	1	0	1	2	3
6	1	1	0	3	2
7	1	2	3	0	1
8	1	3	2	1	0
9	2	0	2	3	1
10	2	1	3	2	0
11	2	2	0	1	3
12	2	3	1	0	2
13	3	0	3	1	2
14	3	1	2	0	3
15	3	2	1	3	0
16	3	3	0	2	1

- Beş seviyeli OD oluşturulması: $OD_{25}(5^6)$: Beş seviyeli dizilerin oluşturulması için 2,3 ve 4 seviyeli dizilerde kullanılan yöntem uygulanmaktadır. İlk iki sütun 0, 1, 2, 3, 4 ile gösterilen her biri beş seviyeli iki faktör için düzenlenir. Diğer sütunlar aşağıdaki üreteçler kullanılarak ayarlanmaktadır. Buradaki x_1, x_2 ’ler ilk iki sütun girdi değerleridir. Hesaplamalar modüler aritmetik 5’e göre yapılmaktadır.

Tablo B.17. Beş seviyeli OD üreteç listesi

Sütun No.	ÜRETEÇ
1	x_1
2	x_2
3	$x_2 + x_1$
4	$x_2 + 2x_1$
5	$x_2 + 3x_1$
6	$x_2 + 4x_1$

- Karma seviyeli OD oluşturma: $OD_{36}(2^{11} \times 3^{12})$, $OD_{36}(2^3 \times 3^{13})$ ve $OD_{36}(3^{12} \times 12^1)^a$

1. Adım: $12 \times 3 = 36$ satırlı, 12 sütunlu bir matris oluşturulur. Fark matrisi olarak adlandırılan bu matris $D_{12}(3)$ ile temsil edilmektedir. Matrisin 12 sütunu 12, 13, ..., 23 kodlanarak $OD_{36}(3^{12})$ matris formu oluşturulur.
2. Adım: $12 \times 3 = 36$ satırlı ve 11 sütunlu $OD_{12}(2^{11})$ ortogonal dizisinin her satırını üçer defa tekrar ederek yeni bir ortogonal dizi oluşturulur. Bu dizi 1, 2, ..., 11, 12, 13, ..., 23 nolu sütunlardan oluşan $OD_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ ortogonal dizisidir.
3. Adım: 12 satır ve 4 sütundan oluşan $OD_4(2^3)$ ortogonal dizisinin üçer kez tekrarı ve 0, 1, 2'lerin dörder kez tekrarından oluşan dört seviyeli bir sütun ilavesiyle yeni bir matris hazırlanır. Bu matris $OD_{12}(2^3 \times 3^1)$ ortogonal dizisidir. 36 satır ve 4 sütundan oluşan yeni bir matris oluşturmak için bu ortogonal dizisinin her satırı üçer kez tekrarlanır ve bu yeni matrise 1', 2', 3', 1'' sütunlarını da ilave ederek $OD_{36}(2^3 \times 3^{13})$ ortogonal dizisi elde edilir.

** Oluşturulan bu ortogonal dizisinde 1, 2, ..., 22, 23 sütunları $OD_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ ortogonal dizisini, 1'', 12, 13, ..., 22, 23 sütunları $OD_{36}(3^{12} \times 12^1)$ ortogonal dizisini ve 1', 2', 3', 4', 12, 13, ..., 22, 23 sütunları ise $OD_{36}(2^3 \times 3^{13})$ ortogonal dizisini oluşturur. Tablo B.18, karma seviyeli OD örneğini göstermektedir.

- 2 ve 3 seviyeli OD oluşturma: $OD_{54}(2^1 \times 3^{25})$

Bu dizi $OD_{54}(6^1 \times 3^{24})$ ortogonal dizisinin özel bir formudur. Altı seviyeli sütun biri iki seviyeli diğeri üç seviyeli olan iki sütunun yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. $OD_{54}(6^1 \times 3^{24})$ aşağıdaki tabloda görülen matrisin özel bir vektör formudur. Tablodaki 0, 1, 2, 3, 4, 5, a, b, c sırasıyla (0, 0, 0), (1, 1, 1), (2, 2, 2), (3, 3, 3), (4, 4, 4), (5, 5, 5), (0, 1, 2), (1, 2, 0) and (2, 0, 1) sütun vektörlerini temsil eder. Öncelikle $OD_{54}(6^1 \times 3^{24})$ ortogonal dizisi $OD_{18}(6^1 \times 3^6)$ dizininden üç adımda oluşturulur. Birinci adımda $OD_{18}(6^1 \times 3^6)$ dizisinin her satırı üç kez tekrarlanır. İkinci adımda (0, 1, 2) vektörünün sekiz kez tekrarlandığı bir sütun ilave edilir. Üçüncü adımda 17 adet ilave sütun oluşturulur. Bu sütunlar $OD_{18}(6^1 \times 3^6)$ OD' sinin sütunlarına 2. adımdaki sütunların ilave edilmesiyle oluşturulur. Tablo B.19, başlangıç tasarım; Tablo B.20 temel tasarımı göstermektedir.

Tablo B.18. Karma seviyeli OD temel tasarımı

**	Faktörler-($OD_{36}(2^{11} \times 3^{12})$, $OD_{36}(2^3 \times 3^{13})$ ve $OD_{36}(3^{12} \times 1^{21})$ için)																												
D.No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	1'	2'	3	4'	1''	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	0	1	1	0	1
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	
6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
7	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	2	0	1	2	2	2	0	1	1	2	1	0	1	0	2
8	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	0	1	2	0	0	1	2	2	0	1	0	1	0	2	
9	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	0	1	2	0	1	1	2	0	0	1	1	0	1	0	2	
10	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	2	1	0	2	1	2	1	0	2	1	1	1	0	0	3	
11	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	2	1	0	2	0	2	1	0	2	1	1	0	0	3	
12	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	2	2	1	0	2	1	0	1	0	2	1	0	1	1	0	0	3	
13	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	2	0	2	1	0	2	2	1	0	1	0	0	0	1	4	
14	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	2	0	1	0	2	1	0	0	2	1	2	0	0	0	1	4	
15	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	2	0	1	2	1	0	2	1	1	0	2	0	0	0	0	1	4	
16	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	2	1	0	0	2	1	2	2	1	0	0	1	1	1	5	
17	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	2	0	2	1	1	0	2	0	0	2	1	0	1	1	1	5	
18	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	2	0	1	0	2	2	1	0	1	1	0	2	0	1	1	1	5	
19	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	2	2	2	0	1	1	0	1	2	1	0	1	1	6	
20	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	2	1	0	0	0	1	2	2	1	2	0	1	0	1	1	6	
21	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	2	0	2	1	1	1	2	0	0	2	0	1	1	0	1	1	6	
22	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	2	2	0	1	0	0	2	2	1	1	1	0	1	7	
23	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	2	2	0	0	1	2	1	1	0	0	2	1	1	0	1	7	
24	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	2	0	0	1	1	2	0	2	2	1	1	0	1	1	0	1	7	
25	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	2	1	0	1	2	2	0	2	0	1	1	0	0	0	2	8	
26	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	2	1	2	0	0	1	0	1	2	2	0	0	0	2	8	
27	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	2	1	0	2	0	1	1	2	1	2	0	0	0	0	0	2	8	
28	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	2	1	1	1	0	0	2	1	2	0	2	0	1	1	2	9	
29	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	2	2	1	1	0	2	0	1	0	0	1	1	2	9	
30	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	2	2	1	0	1	2	1	0	1	1	2	9	
31	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	2	2	2	1	2	1	1	0	1	0	0	1	0	1	2	10	
32	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	2	2	1	2	1	1	1	0	1	2	10	
33	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	2	1	1	1	0	1	0	0	2	0	2	2	1	0	1	2	10	
34	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	2	0	1	2	1	2	0	1	1	2	0	1	1	0	2	11	
35	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	2	0	2	0	1	2	2	0	1	1	1	0	2	11	
36	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	2	1	2	0	1	0	1	2	0	0	1	2	1	1	0	2	11	

1. Adım: $OD_{18}(6^1 \times 3^6)$ ortogonal dizisinin her satırını üçer kez tekrar ederek 54×7 boyutunda bir matris oluşturulur. Bu adımda 1', 3, 4, 5, 6, 7, 8 numaralı sütunlar oluşturulur.
2. Adım: 1', 3, 4, 5, 6, 7, 8 numaralı sütunlara (0, 1, 2) kodlarının sekizer tekrarından oluşan üç seviyeli 9. sütun ilave edilir.

3. Adım: 10, 11, 12, ..., 25, 26 ile kodlanan 17 adet sütun 9. sütun ile 1', 3, 4, 5, 6, 7, 8 numaralı sütunların etkileşimlerini ifade eder. 1' sütunu altı seviyeli-serbeslik derecesi 5- ve 9 numaralı sütun ise 3 seviyeli- serbeslik derecesi 2- olduğu için etkileşim sütunu ve 9 numaralı sütunların serbeslik derecesi $5 \times 2 = 10$ olur. Böylece 1' ve 9 numaralı sütunların etkileşimi için 5 tane üç seviyeli sütun gereklidir. Bu beş sütun aşağıdaki matrisin 2, 3, 4, 5, 6 nolu sütunlarından oluşturulur. Bu sütunlar her satır üçer kez tekrarlanarak 18×5 'lik bir matrise dönüştürülür.

Tablo B.19. 2 ve 3 seviyeli OD başlangıç tasarımı

Satır No	Sütun No					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	2	2
3	0	1	0	2	1	2
4	0	2	2	1	1	0
5	0	1	2	0	2	1
6	0	2	1	2	0	1

(0, 1, 2) vektörlerinden oluşturulan 54 satırlı 5 sütunlu matris hazırladığımız matrise ilave edilir. Bu beş adet sütun 10, 11, 12, 13, 14 numaralı sütunları oluşturur ve 1' ve 9 numaralı sütunların etkileşimini temsil etmektedir.

Tablo B.20. 2 ve 3 seviyeli OD temel tasarımı

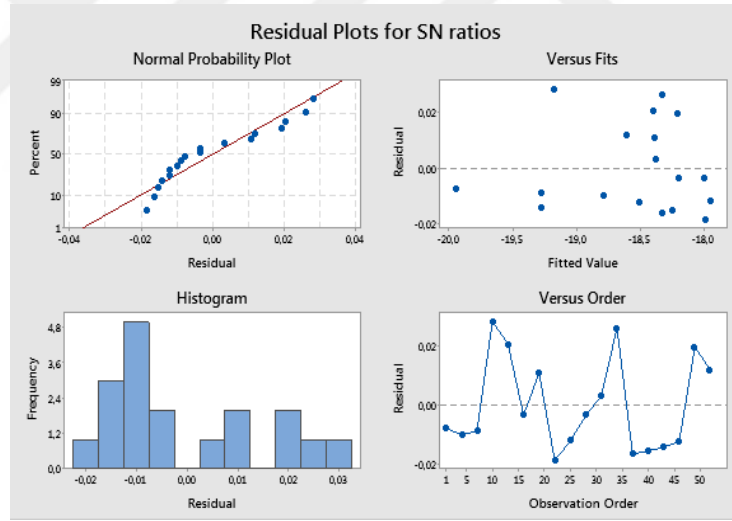
Faktörler (OD ₅₄ (2 ¹ × 3 ²⁵) için)																											
D. No	1'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4-6	0	0	0	1	1	1	1	1	1	a	a	a	a	a	a	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c
7-9	0	0	0	2	2	2	2	2	2	a	a	a	a	a	a	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b
10-12	1	0	1	0	0	1	1	2	2	a	a	b	b	c	c	a	a	a	a	b	c	b	c	c	b	c	b
13-15	1	0	1	1	1	2	2	0	0	a	a	b	b	c	c	b	c	b	c	c	b	c	b	a	a	a	a
16-18	1	0	1	2	2	0	0	1	1	a	a	b	b	c	c	c	b	c	b	a	a	a	a	b	c	b	c
19-21	2	0	2	0	1	0	2	1	2	a	b	a	c	b	c	a	a	b	c	a	a	c	b	b	c	c	b
22-24	2	0	2	1	2	1	0	2	0	a	b	a	c	b	c	b	c	c	b	b	c	a	a	c	b	a	a
25-27	2	0	2	2	0	2	1	0	1	a	b	a	c	b	c	c	b	a	a	c	b	b	c	a	a	b	c
28-30	3	1	0	0	2	2	1	1	0	a	c	c	b	b	a	a	a	c	b	c	b	b	c	b	c	a	a
31-33	3	1	0	1	0	0	2	2	1	a	c	c	b	b	a	b	c	a	a	a	a	c	b	c	b	b	c.
34-36	3	1	0	2	1	1	0	0	2	a	c	c	b	b	a	c	b	b	c	b	c	a	a	a	a	c	b
37-39	4	1	1	0	1	2	0	2	1	a	b	c	a	c	b	a	a	b	c	c	b	a	a	c	b	b	c
40-42	4	1	1	1	2	0	1	0	2	a	b	c	a	c	b	b	c	c	b	a	a	b	c	a	a	c	b
43-45	4	1	1	2	0	1	2	1	0	a	b	c	a	c	b	c	b	a	a	b	c	c	b	b	c	a	a
46-48	5	1	2	0	2	1	2	0	1	a	c	b	c	a	b	a	a	c	b	b	c	c	b	a	a	b	c
49-51	5	1	2	1	0	2	0	1	2	a	c	b	c	a	b	b	c	a	a	c	b	a	a	b	c	c	b
52-54	5	1	2	2	1	0	1	2	0	a	c	b	c	a	b	c	b	b	c	a	a	b	c	c	b	a	a

$OD_{54}(2^1 \times 3^{25})$ ve $OD_{54}(6^1 \times 3^{24})^a$

Ek-C

Tablo C.1. Tel çapı yanıtı varyans analizi ve model yeterliliği

S/G Oranı Varyans Analizi-TEL ÇAPI						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0,90682	0,07516	0,03758	17,89	0,053
B	2	0,54943	0,44825	0,22413	106,7	0,009
C	2	0,25943	0,09429	0,04715	22,45	0,043
D	2	0,2041	0,47176	0,23588	112,3	0,009
E	2	0,06707	0,396	0,198	94,27	0,01
F	1	0,18801	0,01789	0,01789	8,52	0,1
G	1	0,22085	0,00522	0,00522	2,49	0,256
H	1	2,49943	1,53871	1,53871	732,56	0,001
I	1	0,01917	0,00008	0,00008	0,04	0,866
J	1	0,0955	0,0955	0,0955	45,46	0,021
Residual Error	2	0,0042	0,0042	0,0021		
Total	17	5,014				
R-Sq	99,92%	R-Sq(adj)	99,29%			



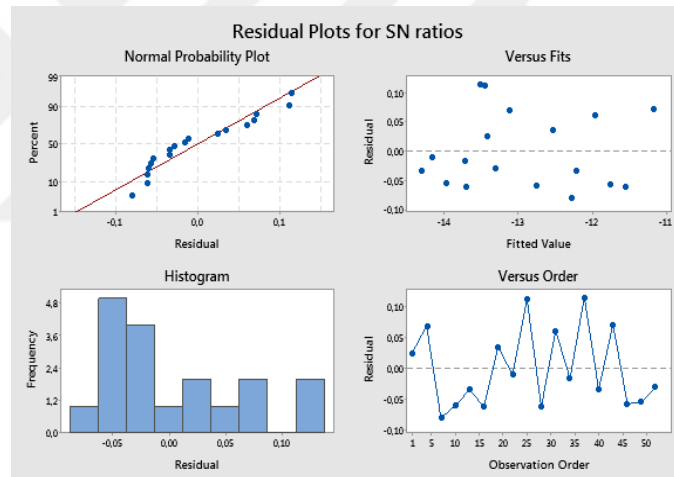
Şekil C.1. Tel çapı yanıtı grafikler

Tablo C.2. Tel çapı yanıtı S/G oranlarına göre faktör sıralamaları

Dinamik S/G Oranları SIRALAMA										
Level	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	-18,82	-18,75	-18,59	-18,46	-18,56	-18,65	-18,65	-19,18	-18,64	-18,56
2	-18,57	-18,33	-18,67	-18,49	-18,47	-18,45	-18,48	-18,24	-18,46	-18,54
3	-18,27	-18,57	-18,39	-18,70	-18,62					
Delta	0,55	0,43	0,29	0,24	0,15	0,20	0,17	0,94	0,19	0,02
Rank	2	3	4	5	9	6	8	1	7	10

Tablo C.3. Mukavemet yanıtı varyans analizi ve model yeterliliği

S/G Oranı Varyans Analizi-MUKAVEMET						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	1,2186	1,71044	0,85522	24,67	0,039
B	2	1,5342	0,74308	0,37154	10,72	0,085
C	2	0,5957	0,59128	0,29564	8,53	0,105
D	2	8,2551	2,95028	1,47514	42,55	0,023
E	2	0,7085	1,23031	0,61516	17,74	0,053
F	1	0,2071	1,05075	1,05075	30,31	0,031
G	1	0,0692	1,06381	1,06381	30,68	0,031
H	1	0,0072	0,22606	0,22606	6,52	0,125
I	1	2,7493	2,36123	2,36123	68,1	0,014
J	1	0,0092	0,00923	0,00923	0,27	0,657
Residual Error	2	0,0693	0,06934	0,03467		
Total	17	15,4235				
R-Sq	99,55%	R-Sq(adj)	96,18%			



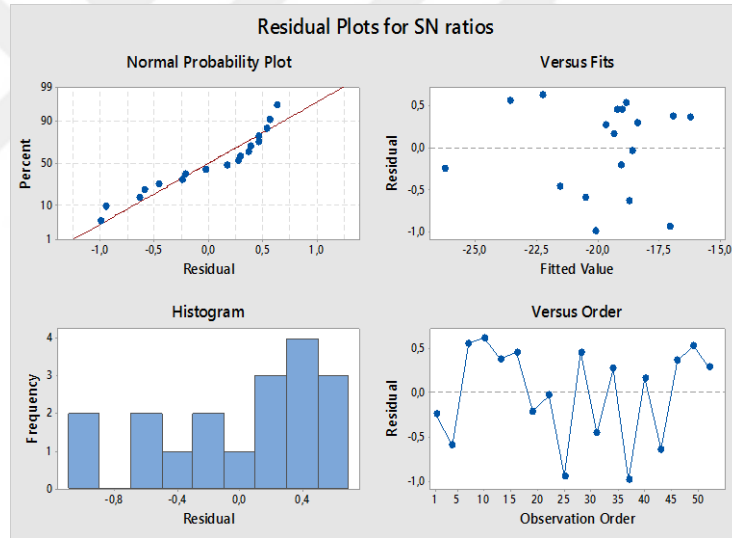
Şekil C.2. Mukavemet yanıtı grafikler

Tablo C.4. Mukavemet yanıtı S/G oranlarına göre faktör sıralamaları

Dinamik S/G Oranları SIRALAMA										
Level	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	-13,03	-12,95	-12,84	-13,39	-13,15	-12,83	-12,62	-12,67	-12,51	-13,18
2	-12,58	-13,29	-12,78	-13,44	-12,67	-13,05	-13,14	-13,07	-13,37	-12,75
3	-13,20	-12,58	-13,19	-11,98	-13,00					
Delta	0,62	0,71	0,41	1,46	0,48	0,21	0,52	0,40	0,86	0,43
Rank	4	3	8	1	6	10	5	9	2	7

Tablo C.5. Kaplama miktarı yanıtı varyans analizi ve model yeterliliği

S/G Oranı Varyans Analizi-KAPLAMA MİK.						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	43,325	5,54330	2,77160	1,15	0,466
B	2	5,3750	8,13200	4,06600	1,68	0,373
C	2	6,4510	11,1583	5,57920	2,31	0,302
D	2	3,9490	15,5707	7,78540	3,22	0,237
E	2	9,0810	0,92800	0,46400	0,19	0,839
F	1	6,8740	1,21030	1,21030	0,50	0,553
G	1	0,3840	1,99740	1,99740	0,83	0,459
H	1	18,011	15,5789	15,5789	6,44	0,126
I	1	2,4380	0,27720	0,27720	0,11	0,767
J	1	4,1550	4,15530	4,15530	1,72	0,320
Residual Error	2	4,8370	4,83660	2,41830		
Total	17	104,88				
R-Sq	95,39%	R-Sq(adj)	90,89%			



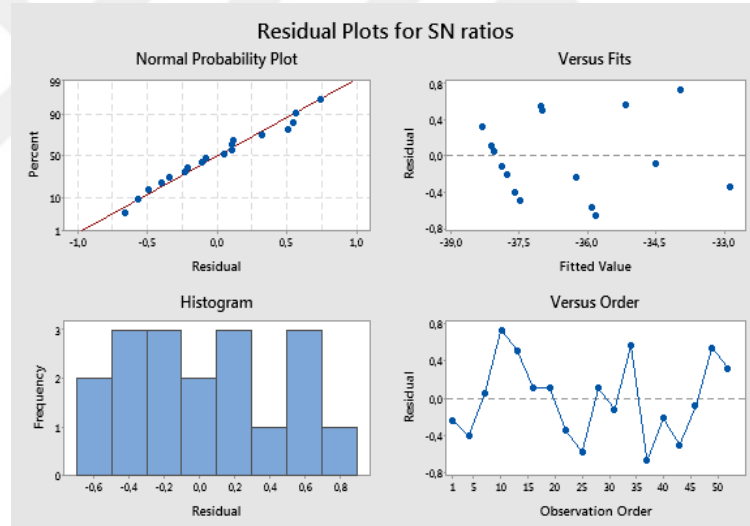
Şekil C.3. Kaplama miktarı yanıtı grafikler

Tablo C.6. Kaplama miktarı yanıtı S/G oranlarına göre faktör sıralamaları

Dinamik S/G Oranları SIRALAMA										
Level	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	-21,8	-20,52	-20,59	-20,41	-19,25	-20,37	-19,57	-21,62	-19,80	-19,92
2	-19,4	-19,31	-19,35	-19,48	-19,24	-19,13	-19,86	-18,81	-19,70	-19,61
3	-18,0	-19,41	-19,30	-19,36	-20,75					
Delta	3,75	1,21	1,29	1,05	1,51	1,24	0,29	2,81	0,10	0,31
Rank	1	6	4	7	3	5	9	2	10	8

Tablo C.7. Yüzey pürüzlülüğü yanıtı varyans analizi ve model yeterliliği

S/G Oranı Varyans Analizi-YÜZEY PÜR.						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	3,33550	1,91142	0,95571	0,63	0,612
B	2	3,33550	3,33673	1,66836	1,11	0,475
C	2	19,5320	2,00229	1,00115	0,66	0,601
D	2	5,83840	5,10525	2,55263	1,69	0,371
E	2	10,5598	9,54549	4,77274	3,17	0,240
F	1	1,01140	0,90554	0,90554	0,60	0,519
G	1	0,07540	0,09510	0,09510	0,06	0,825
H	1	0,65300	0,16033	0,16033	0,11	0,775
I	1	0,01410	0,42927	0,42927	0,28	0,647
J	1	1,60720	1,60716	1,60716	1,07	0,410
Residual Error	2	3,0155	3,01551	1,50775		
Total	17	48,9778				
R-Sq	93,84%	R-Sq(adj)	92,67%			



Şekil C.4. Yüzey pürüzlülüğü yanıtı grafikler

Tablo C.8. Yüzey pürüzlülüğü yanıtı S/G oranlarına göre faktör sıralamaları

Dinamik S/G Oranları SIRALAMA										
Level	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	-37,18	-36,12	-37,75	-35,87	-36,1	-36,43	-36,88	-36,95	-36,9	-37,24
2	-36,70	-36,70	-35,26	-36,95	-37,75	-36,90	-36,53	-36,52	-36,43	-36,20
3	-36,12	-37,18	-36,99	-37,18	-36,15					
Delta	1,05	1,05	2,49	1,31	1,65	0,47	0,35	0,42	0,47	1,04
Rank	4,5	4,5	1	3	2	8	10	9	7	6

Ek-D

Tablo D.1. Dinamik VİKOR karar matrisi alternatif listesi

Alternatif no	Derece no	KONTROL EDİLEBİLEN FAKTÖRLER'İN SEVİYELERİ									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1
5	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1
6	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1
7	3	1	3	3	3	3	1	2	1	2	2
8	3	1	3	3	3	3	1	2	1	2	2
9	3	1	3	3	3	3	1	2	1	2	2
10	4	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2
11	4	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2
12	4	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2
13	5	2	2	3	3	1	1	1	2	1	1
14	5	2	2	3	3	1	1	1	2	1	1
15	5	2	2	3	3	1	1	1	2	1	1
16	6	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1
17	6	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1
18	6	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1
19	7	3	1	1	3	2	1	1	2	2	2
20	7	3	1	1	3	2	1	1	2	2	2
21	7	3	1	1	3	2	1	1	2	2	2
22	8	3	2	2	1	3	1	1	2	2	2
23	8	3	2	2	1	3	1	1	2	2	2
24	8	3	2	2	1	3	1	1	2	2	2
25	9	3	3	3	2	1	1	2	2	2	2
26	9	3	3	3	2	1	1	2	2	2	2
27	9	3	3	3	2	1	1	2	2	2	2
28	10	1	1	3	2	2	2	2	2	1	2
29	10	1	1	3	2	2	2	2	2	1	2
30	10	1	1	3	2	2	2	2	2	1	2
31	11	1	2	1	3	3	2	2	2	1	2
32	11	1	2	1	3	3	2	2	2	1	2
33	11	1	2	1	3	3	2	2	2	1	2
34	12	1	3	2	1	1	2	2	2	1	2
35	12	1	3	2	1	1	2	2	2	1	2
36	12	1	3	2	1	1	2	2	2	1	2
37	13	2	1	3	1	3	2	2	2	2	1
38	13	2	1	3	1	3	2	2	2	2	1
39	13	2	1	3	1	3	2	2	2	2	1
40	14	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1
41	14	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1
42	14	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1
43	15	2	3	2	3	2	2	1	1	1	2
44	15	2	3	2	3	2	2	1	1	1	2
45	15	2	3	2	3	2	2	1	1	1	2
46	16	3	1	2	3	1	2	2	2	1	2
47	16	3	1	2	3	1	2	2	2	1	2
48	16	3	1	2	3	1	2	2	2	1	2
49	17	3	2	3	1	2	2	2	2	2	1
50	17	3	2	3	1	2	2	2	2	2	1
51	17	3	2	3	1	2	2	2	2	2	1
52	18	3	3	1	2	3	2	1	1	2	1
53	18	3	3	1	2	3	2	1	1	2	1
54	18	3	3	1	2	3	2	1	1	2	1

Tablo D.2. Dinamik VİKOR karar matrisi açıklanmalı alternatif listesi

KONTROL EDİLEBİLEN FAKTÖRLER ve SEVİYELERİ											
Alternatif no	Deney no	Ham madde g.m.	Tav fırın sıcaklığı	Ergimiş met. Sic.	Tel dalma boyu	Flux çık. Sık.	Verici tipi	Sararj tipi	Çinko sıy. T.	Kazan türü	Ocak İzol. Sıs.
1	1	900-1000	800	445	5	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Pad sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
2	1	900-1000	800	445	5	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Pad sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
3	1	900-1000	800	445	5	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Pad sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
4	2	900-1000	850	455	7	2	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
5	2	900-1000	850	455	7	2	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
6	2	900-1000	850	455	7	2	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
7	3	900-1000	900	465	9	3	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
8	3	900-1000	900	465	9	3	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
9	3	900-1000	900	465	9	3	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
10	4	1000-1100	800	465	7	2	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
11	4	1000-1100	800	465	7	2	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
12	4	1000-1100	800	465	7	2	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
13	5	1000-1100	850	445	9	3	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
14	5	1000-1100	850	445	9	3	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
15	5	1000-1100	850	445	9	3	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
16	6	1000-1100	900	455	5	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
17	6	1000-1100	900	455	5	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
18	6	1000-1100	900	455	5	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Çelik kazan	Tek katlı koruma
19	7	1100-1200	800	455	9	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
20	7	1100-1200	800	455	9	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
21	7	1100-1200	800	455	9	1	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
22	8	1100-1200	850	465	5	2	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
23	8	1100-1200	850	465	5	2	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
24	8	1100-1200	850	465	5	2	Döner tablalı	Rozet kangal	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
25	9	1100-1200	900	445	7	3	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
26	9	1100-1200	900	445	7	3	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
27	9	1100-1200	900	445	7	3	Döner tablalı	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Çift katlı koruma
28	10	900-1000	800	455	7	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
29	10	900-1000	800	455	7	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
30	10	900-1000	800	455	7	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
31	11	900-1000	850	465	9	1	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
32	11	900-1000	850	465	9	1	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
33	11	900-1000	850	465	9	1	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
34	12	900-1000	900	445	5	2	Çift poz	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
35	12	900-1000	900	445	5	2	Çift poz	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
36	12	900-1000	900	445	5	2	Çift poz	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
37	13	1000-1100	800	465	5	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
38	13	1000-1100	800	465	5	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
39	13	1000-1100	800	465	5	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
40	14	1000-1100	850	445	7	1	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
41	14	1000-1100	850	445	7	1	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
42	14	1000-1100	850	445	7	1	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
43	15	1000-1100	900	455	9	2	Çift poz.	Rozet kangal	Pad sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
44	15	1000-1100	900	455	9	2	Çift poz.	Rozet kangal	Pad sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
45	15	1000-1100	900	455	9	2	Çift poz.	Rozet kangal	Pad sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
46	16	1100-1200	800	445	9	2	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
47	16	1100-1200	800	445	9	2	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
48	16	1100-1200	800	445	9	2	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Çelik kazan	Çift katlı koruma
49	17	1100-1200	850	455	5	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
50	17	1100-1200	850	455	5	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
51	17	1100-1200	850	455	5	3	Çift poz.	Kayıslı rozet	Azot sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
52	18	1100-1200	900	465	7	1	Çift poz.	Rozet kangal	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
53	18	1100-1200	900	465	7	1	Çift poz.	Rozet kangal	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma
54	18	1100-1200	900	465	7	1	Çift poz.	Rozet kangal	Pad sıyırma	Tuğla kazan	Tek katlı koruma

Tablo D.3. Dinamik VİKOR karar matrisi kriter /ölçüt listesi

Taguchi Yöntemi YANITLAR	Kriter No	Taguchi Yöntemi Dış OD Gürültü Koşulları		
		Ham madde kim. kom.	İşçi	Yüzey tem. asit şartları
TEL ÇAPI	K11	1	1	1
	K12	1	2	2
	K13	2	1	2
	K14	2	2	1
MUKAVEMET	K21	1	1	1
	K22	1	2	2
	K23	2	1	2
	K24	2	2	1
KAPLAMA MİKTARI	K31	1	1	1
	K32	1	2	2
	K33	2	1	2
	K34	2	2	1
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	K41	1	1	1
	K42	1	2	2
	K43	2	1	2
	K44	2	2	1

Tablo D.4. Dinamik VİKOR karar matrisi açıklamalı kriter / ölçüt listesi

Taguchi Yöntemi YANITLAR	Kriter No	Taguchi Yöntemi Dış OD Gürültü Koşulları		
		Ham madde kim. kom.	İşçi	Yüzey tem. asit şartları
TEL ÇAPI	K11	Norma uygun	5 yıl den.	İyi
	K12	Norma uygun	Yeni eğitim al.	Kötü
	K13	Norm dışı	5 yıl den.	Kötü
	K14	Norm dışı	Yeni eğitim al.	İyi
MUKAVEMET	K21	Norma uygun	5 yıl den.	İyi
	K22	Norma uygun	Yeni eğitim al.	Kötü
	K23	Norm dışı	5 yıl den.	Kötü
	K24	Norm dışı	Yeni eğitim al.	İyi
KAPLAMA MİKTARI	K31	Norma uygun	5 yıl den.	İyi
	K32	Norma uygun	Yeni eğitim al.	Kötü
	K33	Norm dışı	5 yıl den.	Kötü
	K34	Norm dışı	Yeni eğitim al.	İyi
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	K41	Norma uygun	5 yıl den.	İyi
	K42	Norma uygun	Yeni eğitim al.	Kötü
	K43	Norm dışı	5 yıl den.	Kötü
	K44	Norm dışı	Yeni eğitim al.	İyi

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Taphasanoğlu S., Baynal K., Bayanlara Özel Spor Merkezinde Karşılaşılan Yeterli Kilo Verememe ve İncelememe Probleminin Deney Tasarımı ile Optimizasyonu, *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2016, 5(5), 211-227.

Taphasanoğlu S., Baynal K., Şahin Y., Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lüks Konut Projesi için Beyaz Eşya Seçimi, *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2019, 8(2), 1871-1888.

Taphasanoğlu S., Baynal K., Şahin Y., Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Bir İnşaat Projesi için Buzdolabı Seçimi, *5. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 4-6 Mayıs 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Kahramanmaraş ili Elbistan ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elbistan'da tamamladı, 1987 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Sakarya Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 1991 yılında birincilik derecesi ile Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. 1991-1995 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıllar arasında bir erkek giyim firmasında Üretim ve Planlama Müdürü olarak görev yaptı. 2001 yılından beri CSM Metalurji Limited Şirketi kurucu üyesi ve Genel Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır. Evli ve üç çocuk annesidir.